

JCEEA

Czasopismo
Inżynierii Lądowej,
Środowiska
i Architektury

Journal of Civil
Engineering,
Environment
and Architecture

Kwartalnik
tom XXXIII
zeszyt 63 (nr 4/2016)
październik-grudzień

(e-ISSN 2300-8903)

Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury jest kontynuacją
Zeszytów Naukowych Politechniki Rzeszowskiej - Budownictwo i Inżynieria Środowiska.

Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. Grzegorz OSTASZ

Rada Naukowa

prof. Hasan Arman (Zjednoczone Emiraty Arabskie), prof. Zinoviy Blikharskyy (Ukraina)
prof. Antonio João Carvalho de Albuquerque (Portugalia), prof. Marina Ciuna (Włochy)
prof. Volodymyr V. Cherniuk (Ukraina), prof. Maurizio d'Amato (Włochy)
prof. Endre Domokos (Węgry), prof. Mohamed Eid (Francja), prof. Maria Elektorowicz (Kanada),
prof. Haritha Malladi (USA), prof. Samuel Hudson (USA), prof. Dušan Katunsky (Słowacja)
prof. Krzysztof Knapik (Polska), prof. Ryszard L. Kowalczyk (Australia)
prof. Jozef Kriš (Słowacja), prof. Vincent Kvočák (Słowacja), prof. Stanisław Kuś (Polska)
prof. Mladen Radujkovic (Chorwacja), prof. Czesława Rosik-Dulewska (Polska)
prof. Francesca Salvo (Włochy), prof. João Antonio Saraiva Pires da Fonseca (Portugalia)
prof. Marco Simonotti (Włochy), prof. Nadežda Številová (Słowacja),
prof. Janusz A. Tomaszek (Polska), prof. David Valis (Czechy)
prof. António Avelino Batista Vieira (Portugalia), prof. Oksana Vovk (Ukraina)
prof. Tomasz Winnicki (Polska), prof. Jerzy Ziółko (Polska)

Komitet Redakcyjny

(afiliacja: Polska)

redaktor naczelny

dr hab. inż. Piotr KOSZELNIK, prof. PRz

redaktorzy tematyczni (naukowi)

dr hab. inż. Bartosz MILLER, prof. dr hab. inż. Janusz RAK

redaktor statystyczny

dr hab. inż. Szczepan WOLIŃSKI, prof. PRz

sekretarz redakcji

dr inż. Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK

członkowie

dr inż. Renata GRUCA-ROKOSZ, dr inż. arch. Anna SIKORA, dr inż. Michał JUREK,
dr hab. inż. Lucjan ŚLĘCZKA, prof. PRz, mgr inż. Artur SZALACHA

Przygotowanie matryc

Artur SZALACHA

p-ISSN 2300-5130

e-ISSN 2300-8903

Wersja drukowana Kwartalnika jest wersją pierwotną.

Redakcja czasopisma: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska
i Architektury, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/ (e-mail: kpiet@prz.edu.pl)

Wydawca: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12,
35-959 Rzeszów, www.oficyna.prz.edu.pl (e-mail: oficyna@prz.edu.pl)

Informacje dodatkowe i stopka – str. 617

SPIS TREŚCI

Jerzy BAKALARCZYK: Układy ładowania baterii w nowoczesnych systemach fotowoltaicznych	9
Jan BRÓDKA, Andrzej WOJNAR: Projektowanie wiązarów z ceowników i kątowników równoramiennych o węzłach typu K. Część 2: Węzły pasa górnego	17
Przemysław BRZYSKI, Stanisław FIC: Kondensacja w przegrodzie ściennej z kompozytu wapienno-konopnego – ocena możliwości wystąpienia.....	33
Dorota BZOWSKA: Ryzyko przegrzania budynków izolowanych cieplnie w okresie letnim	43
Bartosz CHWIEDUK: Wpływ wykorzystania instalacji fotowoltaicznej zasilającej pompę ciepła w okresie ogrzewczym na wskaźnik EK i EP charakterystyki energetycznej budynku	53
Dorota A. CHWIEDUK, Michał W. CHWIEDUK: Wybrane aspekty tworzenia charakterystyki energetycznej budynku niskoenergetycznego	61
Krystian CIEŚLAK, Alain FAVE, Mustapha LEMITI: Wpływ tylnego lustra dielektrycznego na działanie krzemowych, cienkowarstwowych ogniw słonecznych otrzymanych metodą epitaksji z fazy gazowej ..	71
Krzysztof CZECH, Wojciech GOSK: Wpływ masy podstaw pomiarowych na rejestrowane drgania powierzchniowe gruntu	79
Bernardeta DĘBSKA, Lech LICHOLAŁ: Porównanie wybranych właściwości zapraw żywicznych zawierających odpadowe tworzywa sztuczne ..	87
Michał DUDA, Daniel CHLUDZIŃSKI: Analiza możliwości ograniczenia zużycia energii elektrycznej systemu zaopatrzenia w wodę na przykładzie stacji uzdatniania wody „Karolin” w Olsztynie	97

Joanna DUDEK: Space for People in a Contemporary City – What Architectural and Town Planning Solutions Help in Shaping a Functional and Convenient Street?	105
Agnieszka DUDZIŃSKA-JARMOLIŃSKA: Nowe formy architektury krajobrazu kształtujące struktury miast przyszłości – wykorzystanie mikroalg	117
Leszek DULAK, Rafał ŻUCHOWSKI: Ochrona przed hałasem zewnętrznym w budynkach w kontekście wymagań związanych z izolacyjnością cieplną	125
Mariusz FILIPOWICZ, Estera PRZENZAK: Modelowanie hybrydowej instalacji kolektorowej w układzie chłodzenia słonecznego.....	133
Halina GARBALIŃSKA, Beata MARCINIAK: Wpływ składu mieszanek i wyjściowego zawilgocenia kruszywa lekkiego na sorpcyjność kapilarną betonu popiołoporytowego	141
Wojciech GORYL, Mariusz FILIPOWICZ: Metody wykorzystywane w suszeniu biomasy	151
Marek GOSZTYŁA, Łukasz GOŁDA: Problematyka budowlano-konserwatorska zabytkowych obiektów konstrukcji drewnianych na przykładzie kościoła pw. Św. Mikołaja Biskupa w Domaradzu ..	159
Sławomir GRABARCZYK: Zmienność obciążenia cieplnego systemu grzewczego szklarni z ekranem termoizolacyjnym.....	169
Tomasz GRUDNIEWSKI: Próba modyfikacji powierzchni czynnej ogniwa fotowoltaicznego poprzez zmianę parametrów podłoża	177
Tomasz GRUDNIEWSKI, Sławomir CZERNIK, Zofia LUBAŃSKA, Marta CHODYKA, Jerzy NITYCHORUK: Analiza własności warstw CDS w zależności od parametrów procesu wytwarzania z wykorzystaniem napylania plazmowego	185
Sławomir GUŁKOWSKI: Otrzymywanie cienkich warstw absorbera CIGS metodą rozpylania magnetronowego dla zastosowań fotowoltaicznych.....	193
Arkadiusz GUŻDA, Norbert SZMOLKE: Powietrzne pompy ciepła do ciepłej wody użytkowej z wbudowanym zasobnikiem wodnym	201

Dariusz HEIM, Dominika KNERA, Anna WIEPRZKOWICZ: Wieloaspektowy sposób badania efektywności ściany zewewnętrznej zero-energetycznego budynku biurowego	209
Wioleta ISKRA-KOZAK: Możliwości wykorzystania popiołów wysokowapniowych do otrzymywania zapraw tynkarskich	217
Vasyl IVANIV, Volodymyr CHERNIUK: Influence of Jet-To-Main Stream Turning Angle in Fluid Flow from Cylindrical Nozzle of Collector-Pipeline on Flow Coefficient	229
Agnieszka JABŁOŃSKA-KRYSIEWICZ, Marek KRYSIEWICZ: Projektowanie nowych i modernizacja istniejących obiektów mostowych w aspekcie ochrony przyrody i krajobrazu na przykładzie realizacji w regionie Podlasia, Warmii i Mazur	239
Jakub JURA, Małgorzata ULEWICZ: Wpływ dodatku materiałów odpadowych z tworzyw polimerowych na wybrane parametry mechaniczne zapraw cementowych	247
Galina KALDA, Ewa SKUBA: Analiza zanieczyszczeń wód powierzchniowych odpadami zakładów przemysłowych na terenie województwa podkarpackiego	255
Katarzyna KLEMM: Wykorzystanie wiązki laserowej do określenia parametrów szorstkości podłoża i ciepła jawnego.....	269
Justyna KOBYLARCZYK: Problem komfortu w środowisku mieszkaniowym na podstawie analizy dwóch krakowskich osiedli.....	277
Janusz KONKOL, Kamil MUSIAŁ: Wpływ wieku na wytrzymałość na ściskanie betonu modyfikowanego dodatkiem metakaolinitu	287
Janusz KONKOL, Grzegorz PROKOPSKI: Optymalizacja składu betonów z dodatkiem metakaolinitu	297
Piotr KOPEĆ: Czynniki chłodnicze o niskim współczynniku GWP stosowane w powietrznych pompach ciepła.....	305
Jan KRUPA, Andrzej MANTAJ, Piotr KOSZELNIK: Gospodarka energetyczna a ochrona środowiska w opinii różnych grup respondentów – część II	315

Lech LICHOLEŃ, Michał MUSIAŁ: Wpływ organicznych materiałów zmienno-fazowych na efektywność energetyczną przegrody przezroczystej.....	329
Adam MROZIŃSKI: Laboratoryjna instalacja fotowoltaiczna z magazynem energii	339
Artur NOWOŚWIAT, Marcelina OLECHOWSKA, Jan ŚLUSAREK: Projektowanie akustyczne wnętrz w świetle nowych wymagań.....	347
Paweł OBSTAWSKI, Michał CHABERSKI: Analiza techniczno-ekonomiczna zastosowania gruntowej i powietrznej pompy ciepła w budynku jednorodzinny – studium przypadku	355
Anita ORCHOWSKA: Architektoniczne rozwiązania z zastosowaniem „re-użycia” płyt prefabrykowanych.....	365
Bożena ORLIK-KOŹDOŃ, Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ, Paweł KRAUSE, Tomasz STEIDL: Analiza stanu wilgotnościowego ścian z cegły z izolacją cieplną od wewnątrz.....	375
Bożena ORLIK-KOŹDOŃ, Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ, Paweł KRAUSE, Tomasz STEIDL: Wybrane aspekty stanu ochrony cieplnej budynku plusenergetycznego "P-E-H"	383
Waldemar PARKITNY: Oczekiwania osób podróżujących a integracja parkingów z miejskim systemem transportu zbiorowego.....	391
Janusz PEŁCZYŃSKI, Bartłomiej TOMKOWICZ: Zagadnienia etapu projektowania zmiany sposobu użytkowania strychów kamienic na wybranych przykładach w strefie śródmiejskiej Rzeszowa.....	407
Adam Paweł PIECH, Anna BASZAK: Pierwiastki śladowe w wybranych wodach mineralnych dostępnych w handlu	419
Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK, Agnieszka NIEMIEC, Marek URBANIK: State of Water Supply Infrastructure in the Subcarpathian Cities	433
Patrycja PRAŻMO, Miłosz SZEWCZYK, Sławomir GUŁKOWSKI: Pomiar charakterystyki prądowo-napięciowej ogniwa fotowoltaicznego metodą pojemnościową w warunkach oświetlenia sztucznego.....	443

Angelika RACZAK, Barbara MARKIEWICZ, Magdalena BATKO: Kontrowersje wokół pierzei ulicy 3 Maja w Rzeszowie – analiza wybranych kamienic.....	451
Marta RUSNAK: Gdy okno zabytku przemysłu staje się oknem muzeum – streszczenie sytuacji prawnej	467
Elżbieta RYBAK-WILUSZ, Klaudia HOPP: Analiza energetyczno- ekonomiczna wykorzystania energii słonecznej.....	477
Adam RYBKA : Architektura i dostępność obiektów użyteczności publicznej dla osób z dysfunkcją wzroku.....	489
Adam RYBKA, Michał KRUPA: Współczesna architektura historycznego centrum Skawiny na tle dziedzictwa miasta – wybrane przykłady ...	495
Tomasz STEIDL, Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ, Bożena ORLIK-KOŹDOŃ, Paweł KRAUSE: Zawilgocenie ścian budynku mieszkalnego po dociepleniu	505
Agata STOLARSKA, Jarosław STRZAŁKOWSKI: Analiza rozwiązań połączenia ściana-podłoga na gruncie z wariantowym usytuowaniem izolacji krawędziowej.....	513
Andrzej STUDZIŃSKI: Ocena kosztów zakładów wodociągowych	523
Wojciech TERLIKOWSKI: Zrównoważona rewitalizacja budynków zabytkowych	531
Krzysztof TROJNAR, Aleksander DUDA: Monitoring of Displacement Abutments of Motorway Viaduct.....	539
Anna WACHOWICZ-PYZIK, Anna SOWIŹDŹAŁ, Leszek PAJĄK: Wykorzystanie modelowania numerycznego do określenia wpływu konfiguracji otworów na parametry eksploatacyjne dla dubletu geotermalnego w rejonie Choszczna	553
Michał WICHLIŃSKI, Rafał KOBYŁECKI, Zbigniew BIS: Badania zawartości rtęci w płytach gipsowo-kartonowych i gipsach.....	565
Robert ZIÓŁKOWSKI: Efektywność środków uspokojenia ruchu w miastach w kontekście zanieczyszczenia środowiska.....	573

Marcin ZYGMUNT, Dariusz GAWIN: Analiza zastosowania technik DSM w celu redukcji szczytowego zapotrzebowania mocy chłodniczej dla zespołu budynków użyteczności publicznej	581
Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ, Bożena ORLIK-KOŹDOŃ, Paweł KRAUSE, Tomasz STEIDL: Zmiany zawilgocenia przegród budynków historycznych przy zadanych warunkach klimatu zewnątrznego.....	589
Wojciech TERLIKOWSKI, Martyna GREGORIOU-SZCZEPANIAK, Ewa SOBCZYŃSKA, Kacper WASILEWSKI: Dokumentacja szczegółowa zabytków starożytnych na przykładzie oceny stanu technicznego rzymskich zabudowań w Aleksandrii	597
Ewa SOBCZYŃSKA, Kacper WASILEWSKI, Martyna GREGORIOU- -SZCZEPANIAK: Problematyka modelowania konstrukcji murowych na przykładzie kamienicy przy ulicy Szarej w Warszawie	607

Jerzy BAKALARCZYK¹

UKŁADY ŁADOWANIA BATERII W NOWOCZESNYCH SYSTEMACH FOTOWOLTAICZNYCH

Układy ładowania akumulatorów odgrywają ważną rolę w systemach fotowoltaicznych. Od nich zależy bezpieczna praca całego zespołu. Stanowią one element pośredniczący między panelami fotowoltaicznymi a pozostałą częścią systemu. Zawierają one obwody zwane popularnie kontrolerami ładowania. Kontrolery ładowania baterii akumulatorów zapewniają im wymaganą żywotność i zabezpieczają te urządzenia przed przeładowaniem oraz całkowitym rozładowaniem oraz zapewniają właściwy przebieg cyklu ładowania. W pracy tej przedstawiono dwa typy akumulatorów stosowanych obecnie w systemach fotowoltaicznych oraz podano ich krótką charakterystykę. W obecnym czasie zwraca się szczególną uwagę na ochronę środowiska naturalnego. Zagadnienie dotyczy również fotowoltaiki. Wskazano na możliwość szerszego wykorzystania akumulatorów niklowo - żelazowych Ni-Fe, których stosowanie nie jest jeszcze tak popularne w tych systemach, ale posiadają one wiele pozytywnych cech, jak ponad 20 letnia żywotność oraz odporność na trudne warunki eksploatacyjne i są one bardziej bezpieczne dla środowiska niż - kwasowo - ołowiowe. Różne typy akumulatorów wymagają różnych metod ładowania i różnych warunków eksploatacyjnych, co należy uwzględnić przy stosowaniu kontrolerów ładowania. Z uwagi na dużą różnorodność systemów fotowoltaicznych stosuje się w nich różne kontrolery ładowania różniących się budową wewnętrzną i zasadą pracy. Dokonano również klasyfikacji tych układów oraz przedstawiono najważniejsze topologie układów ładowania. Przedstawiono wersję symulowanego układu ładowania i wyniki badań. Artykuł zakończono wnioskami nasuwającymi się podczas realizacji tej pracy.

Słowa kluczowe: akumulatory niklowo – żelazowe Ni-Fe, typ akumulatora, falowniki, kontrolery ładowania, topologie kontrolerów

1. Wprowadzenie

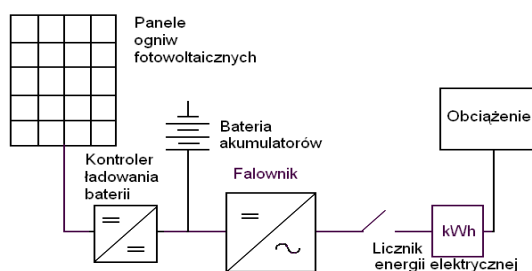
Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie energetyczne zainteresowanie fotowoltaiką również wzrasta. Potrzebne są urządzenia charakteryzujące się wysoką sprawnością, niezawodnością oraz – rozwiązania przyjazne dla środowiska.

¹ Jerzy Bakalarczyk, Wyższa Szkoła Gospodarki, Instytut Informatyki i Mechatroniki, ul. Garbary 2, 85-229 Bydgoszcz; tel. 503363281; jbakal1@wp.pl

W systemach tych wyposażonych w akumulatory należy zwrócić uwagę na zastosowanie właściwych układów ładowania.

2. System fotowoltaiczny

Podstawowy schemat blokowy systemu fotowoltaicznego, zawierającego akumulatory, został przedstawiony na Rys.1. Zawiera on panele fotowoltaiczne, blok ładowania akumulatorów, przekształtnik oraz obciążenie. Panele służą do



Rys.1. Podstawowy schemat blokowy systemu fotowoltaicznego

Fig.1. A basic block scheme of photovoltaic system

przekształcania energii słonecznej na energię elektryczną, która doprowadzana jest do akumulatorów poprzez obwody ładowania zawierające kontrolery ładowania baterii oraz - falowniki zamieniających napięcie stałe z akumulatorów na napięcie przemiennie. Kontrolery ładowania posiadają różne wykonania w zależności od wymagań użytkowników ceny oraz rodzaju zastosowanych akumulatorów.

3. Układy ładowania baterii akumulatorów

Układy ładowania baterii w systemach fotowoltaicznych złożone są z trzech podstawowych obwodów: paneli fotowoltaicznych jako źródeł napięcia zmieniającego parametry w zależności od natężenia promieniowania słonecznego - baterii akumulatorów oraz - kontrolerów ładowania baterii akumulatorów (Rys.1). W układach ładowania głównie występują różnice w topologii kontrolerów ładowania (Rys.2, a - f).

Panele fotowoltaiczne zostały szeroko opisane w literaturze [7], [8]. Z uwagi na szeroki dostęp informacji na ich temat, nie zostały one tu uwzględnione.

3.1. Akumulatory

Akumulatory stanowią jeden z elementów układu ładowania w systemie fotowoltaicznym. Porównanie akumulatorów ołowiono – kwasowych i niklowo – żelazowych stosowanych w układach fotowoltaicznych przedstawiono w Tabe-

li 1. Na szczególną uwagę zasługują akumulatory nikielowo-żelazowe Ni-Fe. Akumulatory te charakteryzują się odpornością na szerokie zmiany temperatury, - dużą pojemnością oraz - odpornością na zwarcia i przeładowania. Są bardziej przyjazne dla środowiska niż - ołowiowo- kwasowe. W akumulatorze Ni-Fe ujemną elektrodę stanowi żelazo a dodatnią - wodorotlenek niklu natomiast elektrolitem jest 21% (wagowo) roztwór wodorotlenku potasu KOH z małym dodatkiem soli litu. Siła elektromotoryczna takiego akumulatora wynosi 1,4 -1,2 V. W 2005 r. zostały przeprowadzone badania laboratoryjne na prototypie akumulatora szczelnego nikielowo - żelazowego Ni-Fe [1], które zakończyły się wynikiem pomyślnym.

Niektóre akumulatory stosowane także w systemach fotowoltaicznych to:

- szczelne ołowiowo-kwasowe (ang. Seald Lead - Acid),
- litowo - jonowe Li-Ion,
- litowo - polimerowe Li-Poly,
- ogniwa nikielowo-wodorkowe Ni-MH.

Istnieje również możliwość stosowania akumulatorów sodowo – siarkowych NaS. Głównym problemem jest tu utrzymanie temperatury pracy na poziomie ok. 350°C oraz - wysokiego stopnia szczelności. Podczas awarii może dojść do wybuchu i pożaru. Są one bez przerwy udoskonalane.

3.2. Kontrolery ładowania akumulatorów

Kontrolery ładowania stanowią zasadniczą część układów ładowania oraz zapewniają bezpieczną pracę akumulatorów i stanowią pośredniczący stopień pomiędzy panelami fotowoltaicznymi a baterią akumulatorów. Umożliwiają ładowanie akumulatorów, kontrolę stanu naładowania, chronią przed przeładowaniem, a czasami umożliwiają kompensację temperaturową. Metody ich sterowania opisuje szeroko literatura [6].

W pracy tej dokonano podziału istniejących topologii układów kontrolerów ładowania na dwa podstawowe rodzaje:

- O działaniu ciągłym (niska sprawność):
 - w układzie równoległym (obniżanie napięcia) - Rys.2.a,
 - w układzie szeregowym (obniżanie napięcia) - Rys.2.b.
- O działaniu impulsowym (wysoka sprawność):
 - w układzie szeregowo – równoległym (zarówno obniżanie i podwyższanie napięcia) - Rys.2.c,
 - w układzie szeregowym (obniżanie napięcia) - Rys.2.d,
 - w układzie równoległym (podwyższanie napięcia) - Rys.2.e.

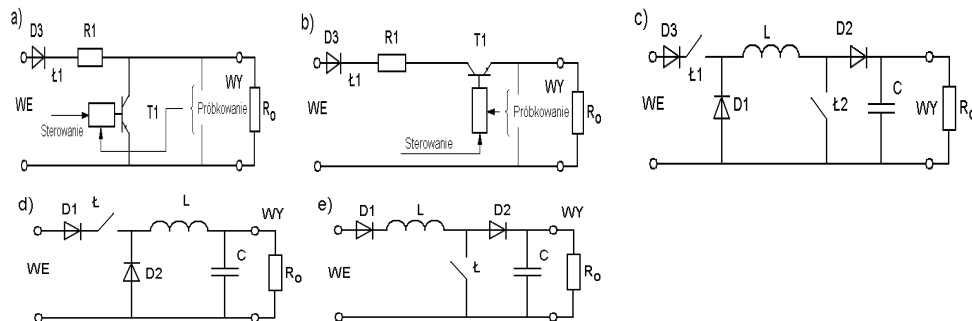
Wykorzystują one różne strategie sterowania [2], [4], [6], umożliwiając efektywne ładowanie akumulatorów oraz wykorzystanie energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych.

Tabela 1. Porównanie akumulatorów ołowiowo – kwasowych i niklowo – żelazowych

Table 1. Comparison of Lead – Acid and Nickel – Iron batteries

Akumulatory ołowiowo – kwasowe i niklowo - żelazowe	
Akumulatory ołowiowo- kwasowe z ciepłym elektrolitem w postaci wodnego roztworu kwasu siarkowego	Są tanie. Ich wadą jest duża masa, konieczność uzupełniania elektrolitu. Gazowanie podczas ostatniej fazy ładowania. Użytkowane muszą być w pomieszczeniach dobrze przewietrzanych. Zawierają ołów. Wydzielają się szkodliwe dla otoczenia opary kwasu siarkowego. Czas życia – około 10 lat.
Akumulatory niklowo-żelazowe Ni-Fe	Są dużo trwalsze od ołowiowo-kwasowych, są odporne na przeładowanie i nadmierne rozładowanie i zwarcia. Idealnie nadają się do systemów fotowoltaicznych. Występuje zjawisko gazowania podczas ich ładowania i wrasta ono wraz ze wzrostem prądu ładowania (należy zapewnić przewietrzanie). Podczas ładowania należy zapewnić napięcie 1,46 do 1,55V na ogniwo i uzupełniać elektrolit. Czas życia 30-40 lat.

Na Rys.2, a,b,c,d,e przedstawiono podstawowe topologie kontrolerów ładowania baterii akumulatorów wykorzystywanych w systemach fotowoltaicznych.



Rys.2. Topologie kontrolerów ładowania w systemach fotowoltaicznych: równoległy o działaniu ciągłym: a) szeregowy o działaniu ciągłym; b) obniżająco – podwyższający o działaniu impulsowym; c) obniżający o działaniu impulsowym; d) podwyższający o działaniu impulsowym; e) R_0 – obciążenie kontrolera (akumulator); WE – napięcie wejściowe z paneli fotowoltaicznych

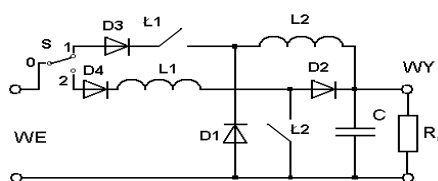
Fig.2. Topologies of charger controllers used in Photovoltaic Systems: Parallel continuous charger: a) serial continuous charger; b) buck – boost battery charger for on - off operation; c) buck battery charger for on-off operation; d) boost battery charger for on-off operation; e) R_0 – charger load (battery); WE –input voltage from photovoltaic panels

4. Opis procedury badawczej

Zastosowano badania symulacyjne tworzonego nowego rozwiązania konstrukcyjnego układu ładowania akumulatorów, w oparciu o program symulacyjny PSpice.

5. Metodyka i wyniki badań

Przeprowadzono badania symulacyjne, z wykorzystaniem programu PSpice, opracowanego układu o topologii układu dwustopniowego obniżająco - podwyższającego kontrolera ładowania baterii z Rys.3.



Rys.3. Topologia zasymulowanego kontrolera impulsowego dwustopniowego obniżająco – podwyższającego

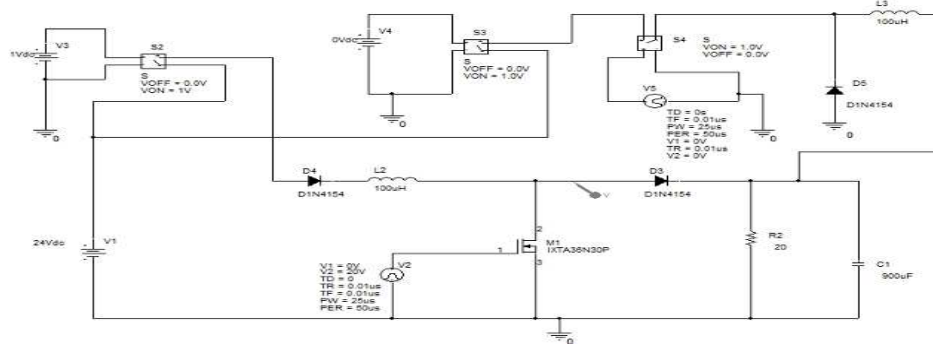
Fig.3. Topology of simulated of two – stage buck – boost battery charger for on-off operation

Schemat układu symulacyjnego przedstawiono na Rys.4. Do wejścia układu „WE” doprowadzane jest napięcie z paneli fotowoltaicznych. Wyjście układu „WY” połączone jest z baterią akumulatorów. Praca układu jest dwustopniowa ustalana przełącznikiem „S”. W położeniu „1” przełącznika „S” układ znajduje się w trybie podwyższania napięcia wejściowego. W położeniu „2” przełącznika „S” układ znajduje się w trybie obniżania napięcia wejściowego.

Zarówno obwody podwyższania jak i obniżania pracują impulsowo. Przełącznik „S” może być sterowany z mikrokontrolera lub obwodów FPGA. Łączniki $L1$ i $L2$ mogą być zasilane sygnałem prostokątnym z zewnętrznego generatora lub mikrokontrolera o częstotliwości 20kHz. W torach obniżania i podwyższania napięcia zastosowano odrębne indukcyjności $L1$ i $L2$.

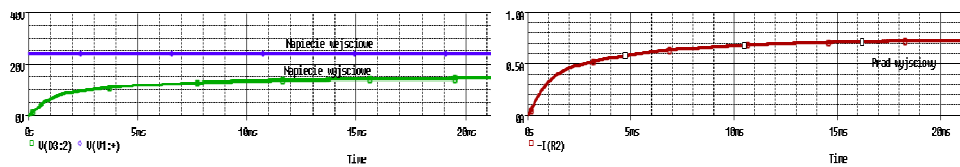
W miejsce akumulatora zastosowano obciążenie rezystancyjne $R2 = 20$ om. Napięcie z panelu fotowoltaicznego to ogniwo $V1 = 24V$. Na podstawie danych zebranych w Tabeli 1, przewidziano zastosowanie akumulatora nikielowo – żelazowego Ni-Fe, który spełnia wymogi niezawodności i żywotności oraz odporności na trudne warunki pracy.

Wyniki przedstawiono w postaci przebiegów i podano na Rys.5, Rys.6, Rys.7.



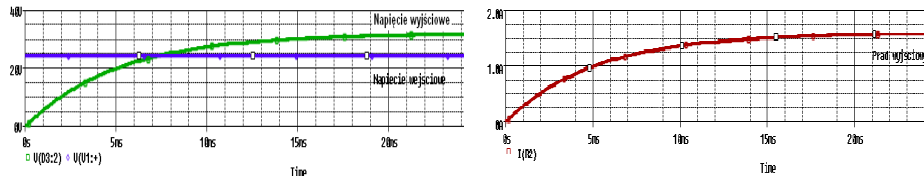
Rys.4. Schemat symulacyjny w programie PSpice zaproponowanego dwustopniowego kontrolera ładowania obniżająco - podwyższającego (patrz Rys.3)

Fig.4. PSpice simulation proposed scheme of two stages buck – boost battery charger (see Fig.3)



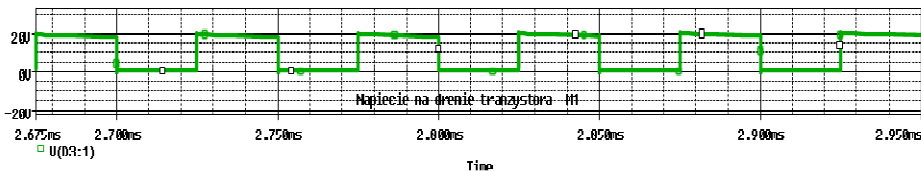
Rys.5. Przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego w zaproponowanym układzie kontrolera ładowania przy pracy w trybie obniżania napięcia (po lewej) oraz przebieg prądu wyjściowego tego układu (po prawej)

Fig.5. Input and output voltages (left) and output current (right) waveforms in proposed charging controller in buck – mode



Rys.6. Przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego (po lewej) oraz przebieg prądu wyjściowego (po prawej) w zaproponowanym układzie kontrolera ładowania pracującego w trybie podwyższania napięcia

Fig.6. Input and output voltages (left) and output current (right) waveforms in proposed boost mode of battery charger system



Rys.7. Przebieg napięcia na drenie tranzystora kluczującego M1 (patrz Rys.4)

Fig.7. Voltage waveform of M1 key transistor drain (see Fig.4)

6. Analiza wyników

Na podstawie uzyskanych przebiegów przedstawionych na Rys.5, Rys.6, oraz Rys.7. można stwierdzić, że przedstawiony dwustanowy (możliwość wyboru stanu pracy łącznikiem S) regulator ładowania baterii o topologii z Rys.3 może zostać zastosowany do ładowania baterii akumulatorów fotowoltaicznych. Może on reagować na zmiany wartości napięcia z paneli fotowoltaicznych. Umożliwia pracę zarówno w trybie obniżania wartości napięcia na zaciskach wyjściowych podłączonych do zacisków baterii jak jego podwyższania, w stosunku do napięcia wejściowego z paneli fotowoltaicznych. Możliwa jest zatem praca ze śledzeniem punktu mocy maksymalnej MPPT (ang. Maximum Power Point Tracking) [2]. Na Rys.6 przedstawiony przebieg napięcia na drenie tranzystora kluczującego pracującego ze stałą częstotliwością 20kHz.

7. Wnioski

Rozwój urządzeń w układach fotowoltaicznych idzie w kierunku poprawy ich sprawności jak i niezawodności i przedłużeniu czasu życia. Zastosowanie akumulatorów niklowo-żelazowych Ni-Fe daje możliwość spełnienia tego warunku oraz umożliwia tworzenie układów przyjaznych dla środowiska.

Zaproponowane rozwiązanie topologiczne dwustanowego kontrolera ładowania akumulatorów umożliwia zarówno sterowanie z modulacją szerokości impulsów PWM [6] jak i śledzenie punktu maksymalnej mocy MPPT [2] oraz daje możliwość dokonywania odrębnych nastaw (łącznik S) indukcyjności w torach obniżania i podwyższania napięć w kontrolerze ładowania. Rozwiązanie to umożliwia sterowanie z wykorzystaniem mikrokontrolera lub układu FPGA [3] oraz może być zastosowane w układach ładowania baterii w systemach fotowoltaicznych.

Literatura

- [1] Hariprakash B., Martha S.K., Hegde M.S., Shukla A.K.: A sealed, starved-electrolyte nickel-iron battery, *Journal of Applied Electrochemistry*, Springer, January 2005, Volume 35, Issue 1, pp. 27-32.
- [2] De Oliveira J.H., Carlette L.P., Cupertino A.F., Mendes V.F., Boaventura W.d.C., Pereira H.A.: Comparison of MPPT strategies in battery charging of photovoltaic systems, 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Buzios, 2015, pp. 1242-1247.
- [3] AbduAllah Z.M., Mahmood O.T., AL-Naib A.M.T.I.: Photovoltaic Battery Charging System Based on PIC16F877A Microcontroller, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, India, ISSN: 2249 – 8958, Volume-3, Issue-4, April 2014, pp. 27-31.

- [4] Shweta A.R., Kolte M.T., Hon S.P.: A solar - powered battery charging system using Levenberg-Marquard algorithm, International Journal of Scientific & Technology Research, Volume 2, Issue 9, September 2013, ISSN 2277-8616, pp. 59-61.
- [5] Kamala J., Janarthanan V., Santhosh K.: Power Mosfet based photo-voltaic battery charger analysis and implementation, International Journal of Circuits, ISSN: 1998-4464, Systems and Signal Processing, Volume 9, 2015, pp. 33-39.
- [6] Shoaib M., Nagaraj V.: Novel Battery Charging Control System for Batteries Using On/Off and PWM Controllers for Stand Alone Power Systems, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), India, e-ISSN: 2278-1676, ISSN: 2320-3331, Volume 6, Issue 3 (May - Jun. 2013), pp. 44-52.
- [7] Tiwari G.N., Swapnil Dubey S.: Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications, 2010, Springer.
- [8] Kalogirou S.: Solar Energy Engineering: Processes and Systems, Academy Press, 2014.

BATTERY CHARGING CIRCUITS IN MODERN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Summary

The charging circuit of the batteries plays an important role in the photovoltaic systems. Safe operation of the entire system depends on the circuits. They are intermediary parts between the photovoltaic panels and the rest of the PV systems. They consist of circuits which are popularly called the Solar Charge Controllers. Charge Controllers provide batteries with the required life and they protect batteries from overload and complete discharging and ensure them the proper charging cycles. One has presented two battery types for photovoltaic systems, and gave their brief description. At the present time one pays particular attention to ensuring the environmental protection. The problem also applies to the photovoltaics. One pointed to the possibility of wider use of nickel - iron Ni -Fe batteries as the use of them is not popular in these systems yet, but they have many positive attributes such as more than 20 year life and robustness to difficult operating conditions and they are safer for the natural environment than - acid - lead ones. NiFe batteries have many positive features over lead - acid batteries. Different types of the batteries require different charging methods and different operating conditions which must be taken into account when applying the charging controllers. In view of the wide variety of Photovoltaic Systems, the charging controllers may differ each other in terms of internal structure and the principle of operation. One also has done classification of such circuits and presented the most important their topologies. Simulated version of the charging circuit and test results has been presented. The article has been completed with conclusions raised during realisation of this work.

Keywords: NiFe nickel iron batteries, battery type, the inverters, charge controllers, the controllers topologies

DOI:10.7862/rb.2016.243

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Jan BRÓDKA¹
Andrzej WOJNAR²

PROJEKTOWANIE WIĄZARÓW Z CEOWNIKÓW I KĄTOWNIKÓW RÓWNORAMIENNYCH O WĘZŁACH TYPU K. CZEŚĆ 2: WĘZŁY PASA GÓRNEGO

W artykule przedstawiono sposób połączenia prętów skratowania z pasem górnym kratownicy. W połączeniu tym pręty łączy się za pomocą wkładki wykonanej z kątownika równoramiennego, przyspawanego do ceowego przekroju pasa. Nośność krzyżulców sprawdza się podczas oceny prętów kratownicy. Nośność styku krzyżulców ze ściankami wkładki ustala się w sposób analogiczny, jak omówiony w [12]. Nośność wkładki wyznacza się traktując ją, jako belkę zginaną i ściszaną (lub rozciąganą) umownymi siłami skupionymi.

Słowa kluczowe: kratownice stalowe, projektowanie węzłów kratownic z prętów o przekroju otwartym, mimośrodowe połączenie prętów skratowania z pasem górnym kratownicy

1. Wstęp

W pierwszej części artykułu [12] przedstawiono informacje ogólne, zasady kształtowania elementów, węzłów, a także omówiono projektowanie i obliczanie węzłów pasa dolnego i zestawiono cytowane piśmiennictwo.

2. Kształtowanie węzłów pośrednich

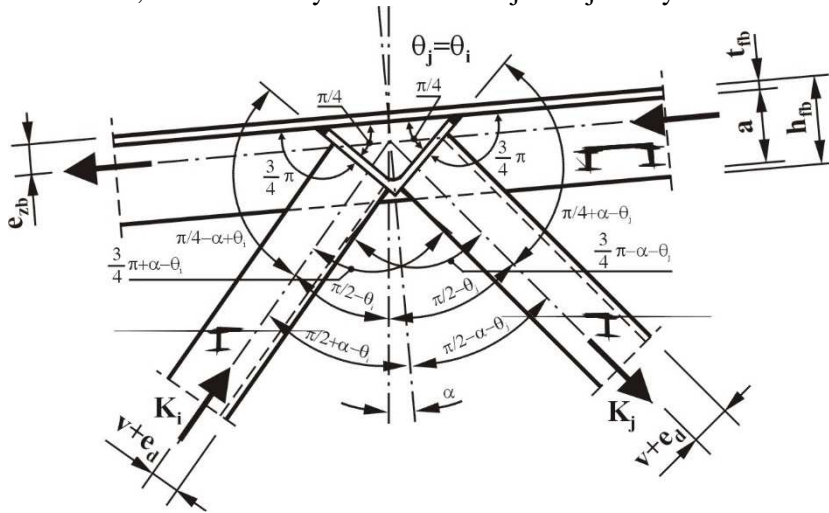
Na rysunku 1 pokazano kształt takiego węzła w wypadku krzyżulców, dołączanych do pasa górnego za pośrednictwem wkładki, przy czym obydwie kątowniki są rozmieszczone narożami od strony środka ceowego przekroju pasa. Zastosowanie takiej wkładki, wyciętej z równoramiennego kątownika o grubych ramionach, umożliwia dogodny dostęp podczas układania spoin pachwinowych

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Jan Bródka, 01-452 Warszawa, ul. Księcia Janusza 41/43 m. 152, jan.brodka@gmail.com

² Andrzej Wojnar, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, ul. Powstańców Warszawy 12, awojnar@prz.edu.pl

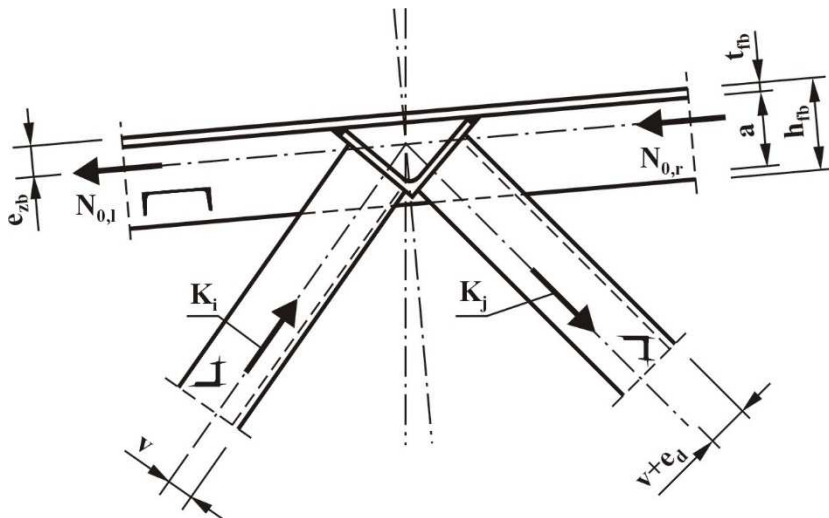
między krzyżulcami i wkładką. Bezpośrednie dołączanie krzyżulców do środniaka pasa, jak też stosowanie do ich mocowania blachy węzłowej prowadzi do niekorzystnych sytuacji podczas wytwarzania elementów.

Natomiast na rysunku 2 pokazano kształt węzła w wypadku krzyżulców o narożach, rozmieszczonych zawsze od tej samej strony.



Rys. 1. Połączenie krzyżulców z pasem górnym kratownicy - kątowniki rozmieszczone narożami od strony środniaka ceowego przekroju pasa

Fig. 1. Connection between brace members and upper channel section chord of truss



Rys. 2. Połączenie krzyżulców z pasem górnym kratownicy - kątowniki rozmieszczone narożami od tej samej strony

Fig. 2. Another connection between brace members and upper channel section chord of truss

Układ rozmieszczenia naroży krzyżulców jest wynikiem ukształtowania prętów skratowania w węzłach pasa dolnego (patrz pierwszą część artykułu).

Aby zapewnić hermetyczne zamknięcie wnętrza wkładki bez dodatkowych denek z cienkich pasków blachy wymiar zastosowanego kątownika powinien spełniać warunek

$$a = h_{fb} - t_{fb} - 10 \text{ mm} \quad (1)$$

w którym:

- a – wysokość wkładki, odkładana prostopadle do osi pasa górnego,
- h_{fb} – szerokość stopki ceownika, zastosowanego na pas,
- t_{fb} – grubość środka tego ceownika.

Aby wykonać taką wkładkę, trzeba ją wyciąć z kątownika równoramiennego, którego szerokość ramienia wynosi co najmniej $a_i = a\sqrt{2}$. Ten wymiar zwykle umożliwia dołączenie krzyżulców w sposób, pokazany na rysunkach 1 i 2. Jeżeli tak nie jest to można pręty skratowania dołączyć względem pasa, stosując nieduży mimośród, odkładany względem jego osi w stronę środka ceownika, zastosowanego na pas. Jednak w takiej sytuacji odstęp między ścianką pasa a narożem krzyżulca powinien pozwalać na ułożenie tam spoiny pachwinowej bez nakładania się na spoinę szerokobruzdową, łączącą wkładkę z pasem.

Na rysunku 1 wskazano zależności między kątami, które wynikają z geometrii węzła. Są one związane z geometrią węzła pasa dolnego i są wykorzystywane do dalszych obliczeń. Mają znaczenie:

θ_i – kąt nachylenia drugiego (czwartego lub szóstego) krzyżulca od podpory kratownicy względem pasa dolnego (patrz schemat kratownicy na rys. 1 w [12])

$\theta_i = \theta_j$,

θ_j – kąt nachylenia drugiego (czwartego lub szóstego) krzyżulca.

Ponadto występują symbole:

α – kąt nachylenia pasa górnego względem pasa dolnego (zwykle około 5% nachylenia spadku połaci dachowej),

e_{zb} – odstęp środka ciężkości ceownika pasa od zewnętrznego brzegu jego środka,

e_d – mimośród krzyżulca (patrz rys. 1 i 2),

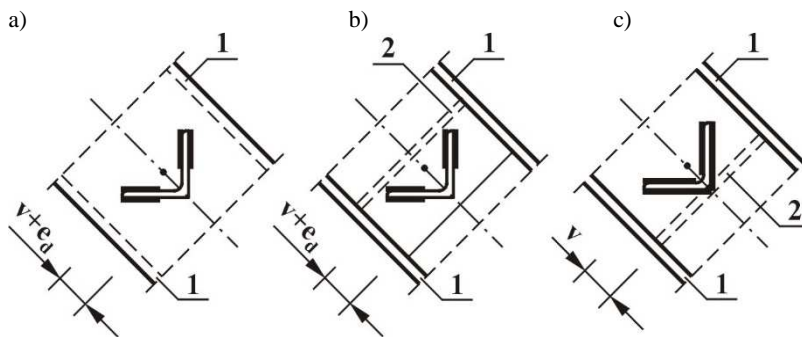
v – odstęp środka ciężkości kątownika krzyżulca od jego zewnętrznego naroża wzdłuż osi symetrii przekroju.

3. Nośność węzła pośredniego

Ustala się, rozpatrując nośności jego części składowych oraz ich złączy spoinami pachwinowymi lub czołowymi.

3.1. Nośność połączeń spawanych

Korzysta się z procedury, omówionej w [3], lecz dostosowanej do węzłów typu K w pierwszej części artykułu (patrz [12]). Aby ocenić podatność połączenia krzyżulców z wkładką, na rys. 3 pokazano trzy sytuacje projektowe położenia krzyżulców w węźle: (a) pasa dolnego, (b) pasa górnego według rys. 1 oraz (c) pasa górnego według rys. 2.



Rys. 3. Położenie krzyżulców z pasem dolnym (a) i górnym (b, c) kratownicy

Fig. 3. Connection between brace members and lower (a) and upper (b, c) channel section chord of truss

Sytuacja (a) jest wzorcowa, w odniesieniu do której podano procedurę oceny długości współpracujących spoin pachwinowych [12]. Patrząc w kierunku pasa dolnego, stwierdza się, że naroże kątownika dołączone do środka pasa jest elementem podatnym, a więc narażonym na podatność płytową ścianki pasa. Długość współpracującą odcinka spoiny ustalono, biorąc pod uwagę strefę ograniczonej podatności swobodnych brzegów ramion kątowników w pobliżu sztywnych podpór (stopek ceownika, oznaczonych jako 1).

Sytuacja projektowa (b) różni się od wzorcowej tym, że swobodne brzegi ramion kątowników mają dodatkowe podparcie ścianką wkładki (oznaczoną jako 2). To powoduje, że brzegi znajdują się w strefie zmniejszonej podatności płytowej. W celu uproszczenia dalszych działań proponuje się oceniać współpracującą długość odcinków spoin pachwinowych w taki sam sposób, jak w odniesieniu do węzłów pasa dolnego [12]. Będzie więc w wypadku krzyżulca obciążonego siłą K_j : $d_f = 1,1b/\sin(0,75\pi - \alpha - \theta_j)$ oraz w wypadku siły K_i : $d_f = 1,1b/\sin(0,75\pi + \alpha - \theta_i)$.

Natomiast w sytuacji projektowej (c) dodatkowe podparcie ścianką wkładki występuje w narożu kątownika, zastosowanego na krzyżulec. To czyni, że połączenie spawane tego pręta z wkładką jest prawie sztywne. Aby posługiwać się oceną połączenia, omówioną w [12], proponuje się przyjmować długość współpracującą odcinków spoin pachwinowych o wartości:

$$b_{eff} = b_j - t_j - r_j \text{ albo } b_{eff} = b_i - t_i - r_i \quad (2)$$

przy czym:

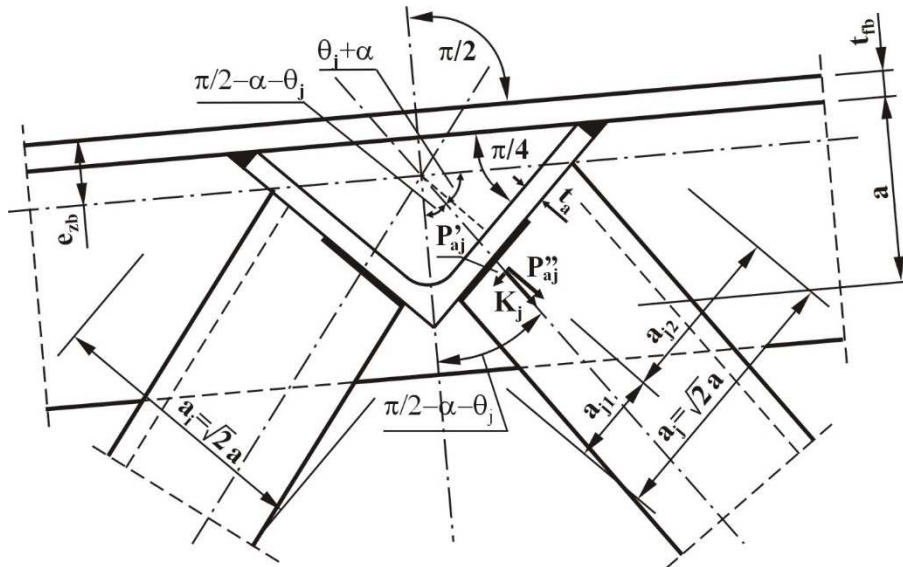
b_i lub b_j – szerokość ramienia kątownika, zastosowanego na krzyżulec,

t_i lub t_j – grubość ramienia tego kątownika,

r_i lub r_j – promień zaokrąglenia między ramionami kątownika.

Mając ustalone wartości odcinków b_{eff} spoin pachwinowych, nośność połączenia każdego z krzyżulców z wkładką oblicza się metodą uproszczoną, podaną w PN-EN 1993-1-8.

Natomiast połączenie ramion wkładki ze środkiem pasa górnego sprawdza się w wypadku czołowej spoiny szerokobruzdowej o grubości $a_w = t_a$ (gdzie t_a jest grubością ramienia kątownika równoramiennego, zastosowanego na wkładkę) w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego według rys. 1 lub rys. 2.



Rys. 4. Sposób połączenia prętów skratowania – opis w tekście

Fig. 4. Welded connection between brace members and upper chord of the truss – description in the text

W wypadku rysunku 1 wartości obciążenia złączy ustala się w sposób następujący (rys. 4):

a) Ustala się wartości składowych siły K_j równoległej i prostopadłej do ścianki wkładki:

$$P'_{aj} = K_j \cos(0,75\pi - \alpha - \theta_j) \quad (3a)$$

$$P''_{aj} = K_j \sin(0,75\pi - \alpha - \theta_j) \quad (3b)$$

b) Oblicza się położenie siły K_j w odniesieniu do naroża wkładki i spoiny szerokobruzdowej:

$$a_{j1} = (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 - \tan(\theta_j + \alpha - \pi/4)] \quad (4a)$$

$$a_{j2} = (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 + \tan(\theta_j + \alpha - \pi/4)] + (e_{zb} - t_{fb})\sqrt{2} \quad (4b)$$

c) Wyznacza się reakcje, powodowane siłą P''_{aj} w spoinie szerokobruzdowej i w ramieniu wkładki:

$$R_{ajw} = P''_{aj} (a_{j1} - 0,5t_a) / (a\sqrt{2} - t_a) \quad (5a)$$

$$R_{ajr} = P''_{aj} (a_{j2} - 0,5t_a) / (a\sqrt{2} - t_a) \quad (5b)$$

d) Podobnie postępuje się w odniesieniu do krzyżulca, obciążonego siłą K_i , uzyskując odpowiednio:

$$P'_{ai} = K_i \cos(0,75\pi + \alpha - \theta_j) \quad (6a)$$

$$P''_{ai} = K_i \sin(0,75\pi + \alpha - \theta_j) \quad (6b)$$

$$a_{i1} = (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 - \tan(\theta_j - \alpha - \pi/4)] \quad (7a)$$

$$a_{i2} = (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 + \tan(\theta_j - \alpha - \pi/4)] + (e_{zb} - t_{fb})\sqrt{2} \quad (7b)$$

$$R_{aiw} = P''_{ai} (a_{i1} - 0,5t_a) / (a\sqrt{2} - t_a) \quad (8a)$$

$$R_{air} = P''_{ai} (a_{i2} - 0,5t_a) / (a\sqrt{2} - t_a) \quad (8b)$$

przy czym a_{j1} i a_{j2} oraz a_{i1} i a_{i2} odkłada się od naroża wkładki ku spoinie szerokobruzdowej (rys. 4). Znaczenie pozostałych symboli wyjaśniono uprzednio.

Siły wyznaczone z (3a), (5), (6a) i (8) służą do ustalenia obciążeń, przypadających na połączenia spoinami szerokobruzdowymi, mocującymi wkładkę w styku ze środkiem pasa oraz na spoiny pachwinowe, ułożone wzdłuż ramion wkładki w styku ze stopką pasa. Wyznacza się w wypadku złączy:

a) szerokobruzdowych siły prostopadłe do ramion wkładki:

$$R_{aw} = R_{air} \quad \text{lub} \quad R_{aw} = R_{ajr} \quad (9)$$

b) pachwinowych siły styczne do ramion wkładki:

$$R_{ar} = R_{ajr} - P'_{ai} \quad \text{lub} \quad R_{ar} = R_{air} - P'_{aj} \quad (10)$$

Naprężenia styczne w spoinach szerokobruzdowych złączy ramienia wkładki, obciążonego siłą K_i lub ramienia wkładki, obciążonego siłą K_j , wynoszą odpowiednio:

$$\tau_1 = \frac{R_{aw}}{l_{w1} a_{w1}} \leq f_{vw,d} \quad (11a)$$

Naprężenia styczne w spoinach pachwinowych złączy ramienia wkładki, obciążonej siłą K_i , lub ramienia wkładki, obciążonej siłą K_j , wynoszą odpowiednio:

$$\tau_2 = \frac{R_{aw}}{2l_{w2} a_{w2}} \leq f_{vw,d} \quad (11b)$$

przy czym:

$a_{w1} = t_a$ – grubość spoiny szerokobruzdowej równa grubości ramienia wkładki,
 a_{w2} – grubość spoiny pachwinowej, ułożonej wzdłuż ramienia wkładki, ustalana w zależności od gatunku stali, zastosowanej na wkładkę i krzyżulec, zgodnie z wytycznymi, odnoszącymi się do elementów z kształtowników zamkniętych.

$l_{w1} = b_{fb} - 2(t_{wb} + r_{jb})$ – długość spoiny szerokobruzdowej,

$l_{w2} = a\sqrt{2} - t_a$ – długość spoiny pachwinowej,

b_{fb} – wysokość ceownika, zastosowanego a pas górny,

r_{jb} – promień zaokrąglenia między środkiem a stopką tego ceownika,

t_{wb} – grubość stopki tego ceownika,

$f_{vw,d}$ – obliczeniowa wytrzymałość spoiny pachwinowej na ścinanie według PN-EN 1993-1-8.

Naprężenia według (11a) lub (11b) ustala się dwukrotnie, gdyż wartości sił K_i oraz K_j są różne. Jednak aby unikać pomyłek podczas wykonania złączy w rozpatrywanym węźle, zwykle przyjmuje się jednakowe grubości spoin pachwinowych a_{w2} .

Jeżeli węzeł zaprojektowano według kształtu z rys. 2, to obciążenie złączy i ich naprężenia ustala się w sposób analogiczny. Jednak w takiej sytuacji projektowej należy zwrócić uwagę na to, że położenie spoin, łączących krzyżulce z wkładką, są różne, co wymaga zapewnienia im właściwego miejsca na ułożenie w pobliżu naroża wkładki. Odstęp wkładki od brzegu stopki ceownika powinien wynosić co najmniej 10 mm. Wspomniana różnica wynika przy takich sa-

mych wymiarach krzyżulców z faktu, że ich osie umieszcza się w stosunku do osi prętów kratownicy przy wartościach $v + e_d$ lub tylko v (patrz rys. 2).

3.2 Nośność części składowych węzła

Nośność krzyżulców w węźle jest sprawdzana podczas oceny prętów kratownicy. Ich nośność w styku ze ściankami wkładki ustala się w sposób analogiczny, omówiony w odniesieniu do węzłów pasa dolnego. Ponadto należy wyznaczyć nośność wkładki podczas jej obciążenia jako belek zginanych i ściskanych (lub rozciąganych) od umownych sił skupionych P''_{ai} lub P''_{aj} .

Pod działaniem każdej z tych sił rozpatruje się wkładkę jako belkę swobodnie podpartą o długości $l = \sqrt{a} - t_a$, przy przekroju uzyskanym z zastosowanego kątownika równoramiennego po przycięciu jego ramion do odpowiedniego wymiaru „a” (patrz rys. 4).

W takich belkach występują siły wewnętrzne:

$$M_r = 0,25P''_a (b_{fb} - 2t_{wb}) \quad (12)$$

oraz siły podłużne N_r i poprzeczne V_r .

Gdy rozpatruje się wkładkę jako belkę, której pas obciąża siła K_i , wówczas:

$$P''_a = P''_{ai} \quad (12a)$$

gdzie: siła podłużna $N_r = P_{ajr} - P''_{ai}$;

siła poprzeczna $V_r = 0,5P''_{aj}$.

Natomiast gdy rozpatruje się belkę, której pas jest obciążony siłą K_j , wówczas:

$$P''_a = P''_{aj} \quad (12b)$$

gdzie: siła podłużna $N_r = P_{air} - P''_{aj}$;

siła poprzeczna $V_r = 0,5P''_{aj}$.

Siły podłużne, ściskająca lub rozciągająca, wywołują w przekrojach każdej z belek dodatkowe zginanie od momentu na ramieniu e_r , równym odstępowi tej siły od środka ciężkości przekroju belki. Wartość tego momentu o znaku, zależnym od kierunku siły podłużnej, wynosi

$$\Delta M_r = \pm N_r e_r \quad (13)$$

W przekroju każdej belki wyznacza się naprężenia normalne we włóknie zewnętrznym:

$$\sigma_{max} = (M_r + \Delta M_r / W_{r,min} + N_r / A_r \leq f_{yr} \quad (14a)$$

$$\sigma_{min} = (M_r + \Delta M_r) / W_{r,max} + N_r / A_r \leq f_{yr} \quad (14b)$$

Przy czym:

A_r – pole przekroju wkładki,

$W_{r,min} = I_r / e_r$ – wskaźnik wytrzymałości przekroju wkładki od strony jej naroża,

$W_{r,max} = I_r / (a\sqrt{2} - e_r - t_a)$ – wskaźnik tego przekroju od strony spoiny szerokobruzdowej,

I_r – moment bezwładności tego przekroju,

f_{yr} – granica plastyczności stali, zastosowanej na wkładkę.

Siła poprzeczna powoduje powstanie naprężenia ścinającego w środku wkładki, które w przybliżeniu ocenia się jako:

$$\tau = \frac{V_r}{t_a (a\sqrt{2} - t_a)} < f_{yr} / \sqrt{3} \quad (15)$$

Wzorem Hubera należy ocenić bezpieczeństwo przekroju wkładki ze względu na naprężenia normalne i styczne. Tak ustalone naprężenie zredukowane należy brać pod uwagę podczas oceny wartości $n = \sigma_{red} / f_{yr}$ wtedy, kiedy wyznacza się współczynnik $k_m = 1,3(1 - n) \leq 1$ (patrz wymaganie w Tabelicy 7.13 PN-EN 1993-1-8).

Kątowniki równoramienne na wkładki należy dobierać o takiej grubości ich ramienia, aby współczynnik k_m miał wartość, przy której nie jest potrzebne wzmacnianie jego ścianki na miejscowe obciążenie siłami $K_i > |K_j|$.

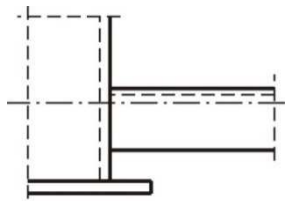
Nośność pasa górnego w węźle sprawdza się, biorąc pod uwagę ocenę, podana w PN-EN 1993-1-8 (Tabela 7.24). Szczegółowo zostało to omówione w [4].

4. Węzły podporowe

W wypadku układu prętów kratownicy według rys. 1a (patrz [12]) węzeł podporowy jest kształtowany, jak pokazano na rys. 5. Obciążenie węzła jest o wartościach zerowych sił wewnętrznych. Połączenie pasa dolnego ze słupkiem podporowym wykonuje się na spoiny pachwinowe, ułożone wzdłuż całego obwodu ceownika. Ich grubości przyjmuje się ze względów konstrukcyjnych.

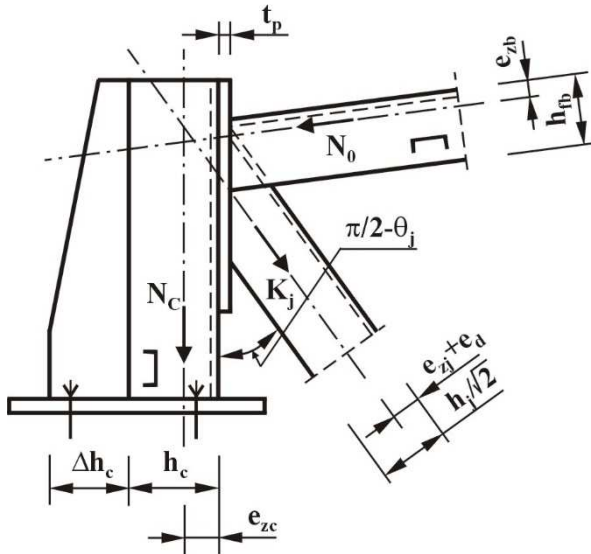
Natomiast węzeł podporowy w wypadku układu prętów kratownicy z rys. 1b jest kształtowany, jak pokazano na rys. 6. Geometria węzła typu K jest dostosowa-

wana do geometrii elementu kratowego, podpartego na słupie. Jako słupek podporowy zazwyczaj stosuje się ceownik takiego samego rozmiaru jak pas górny, lecz dodatkowo wzmocniony blachami na przedłużeniu stopek. To wynika z mimośrodowego obciążenia tego elementu i konieczności prawidłowego połączenia śrubami jego blachy poziomej ze słupem. Środek słupka trzeba wzmocnić blachą, połączoną spoinami pachwinowymi ułożonymi w jego narożach, gdyż przy dużej sile w krzyżulcu lokalne oddziaływanie występuje przy współczynniku $k_m < 1,0$. Wartość n ustala się przy $\sigma_{0,Ed} = N_c / (t_p b_p)$, przy czym N_c jest reakcją wiązara, b_p , wysokością blachy wzmacniającej oraz t_p jej grubością.



Rys. 5. Węzeł podporowy kratownicy jak na rys. 1a [12]

Fig. 5. The support node of the truss (according to fig. 1a [12])



Rys. 6. Węzeł podporowy kratownicy jak na rys. 1b [12]

Fig. 6. The support node of the truss (according to fig. 1b [12])

Połączenie krzyżulca z blachą wzmacniającą ocenia się zarówno w wypadku połączenia spawanego, jak też części składowych węzła w sposób omówiony w odniesieniu do węzła pośredniego pasa dolnego.

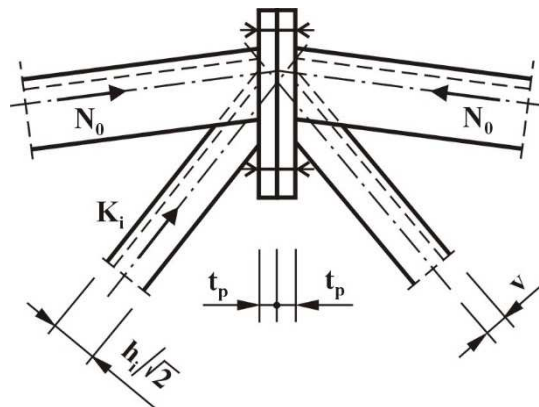
Połączenie pasa górnego z blachą wzmacniającą na spoiny pachwinowe ocenia się w sposób, odnoszący się do krzyżulców węzła pasa dolnego, omówiony w [4]. Siła ściskająca w skrajnym przedziale pasa górnego jest stosunkowo niedużej wartości tak, że grubość spoin pachwinowych może być zmniejszona w stosunku do grubości, przyjmowanych podczas obliczania krzyżulca skrajnego.

Słupek podporowy przenosi reakcję wiązara jako element ściskany mimośrodowo. Ze względu na jego małą długość pomija się wpływ stateczności.

Jednak w wypadku umieszczenia podpory według rys. 5, ten element wymaga uwzględnienia skutków niestateczności ogólnej. W takiej sytuacji projektowej słupki warto wykonać o przekroju zamkniętym. Stosuje się zwykle przekrój skrzynkowy z dwóch ceowników lub kształtownik zamknięty o przekroju kwadratowym.

5. Węzeł kalenicowy

Węzeł pasa górnego w kalenicy (zwykle montażowy) kształtuje się według układu części składowych, pokazanego na rys. 7 w wypadku krzyżulców, odpowiadających węzłowi pasa dolnego z rys. 2 (patrz [12]). Jeżeli umieszczenie krzyżulców odpowiada rys. 3 z [12], to rozwiązanie węzła kalenicowego nie zmienia się poza sposobem ułożenia tych prętów. Należy przyjmować dużą grubość blach styku, zwykle 16 do 20 mm, aby węzeł można było traktować jako niepodatny. Wówczas blachy czołowe, połączone śrubami, są wzajemnie dociskane. Obliczanie połączeń na spoiny pachwinowe przeprowadza się w sposób omówiony w wypadku węzła podporowego w poziomie pasa górnego, lecz w wypadku krzyżulców b_{eff} jest przyjmowane z zależności (2). Kątownik krzyżulca ze względu na ujednoczenie przekrojów prętów skratowania jest przyjmowany z nadmiarem.



Rys. 7. Styk montażowy pasa górnego kratownicy

Fig. 7. The connection of upper chord of the truss

6. Przykład obliczania węzła pośredniego

Rozpatruje się pierwszy od podpory węzeł według rysunku wiązara (patrz [12]). Siły podłużne w krzyżulcach wynoszą: $K_i = -360,5$ kN i $K_j = 202,6$ kN.

Pas górny zaprojektowano z ceownika o równoległych ściankach UP 360, którego cechy geometryczne są następujące: $b_{fb} = 360$ mm, $h_{fb} = 110$ mm, $t_{fb} = 12$ mm, $t_{wb} = 17$ mm, $e_{zb} = 29,4$ mm, $r_{jb} = 18$ mm.

Krzyżulce zaprojektowano z kątowników L120x120x12. Ich cechy geometryczne są następujące: $A_i = A_j = 27,5$ cm², $v = 4,8$ cm, $t_i = t_j = 12$ mm, $b_i = b_j = 120$ mm, $e_d = 8,27$ mm (patrz [12]).

Węzeł ma kształt pokazany na rys. 1 z wkładką, wyciętą z kątownika 180x180x16 mm., którego pole przekroju $A = 55,4$ cm². Cechy geometryczne wkładki ustalono o wartościach:

Szerokość boku po odcięciu pasm: $a = 110 - 12 - 10 = 88$ mm, pole przekroju zredukowanego $A_r = 5540 - 2 \cdot 16(180 - 88\sqrt{2} - 16) = 3249$ mm². Dalsze cechy obliczono, pomijając zaokrąglenie między ramionami kątownika: $e_r = 32,6$ mm, $I_r = 771,9$ cm⁴, $W_{r,\min} = 101,8$ cm³, $W_{r,\max} = 236,9$ cm³.

Funkcje kątów wynoszą:

$$\theta_i = \theta_j = 47^\circ 7' 6'', \quad \alpha = 4^\circ 49'$$

$$\sin(3\pi/4 + \alpha - \theta_j) = 0,9988,$$

$$\cos(3\pi/4 + \alpha - \theta_j) = -0,05,$$

$$\sin(3\pi/4 - \alpha - \theta_j) = 0,9923,$$

$$\cos(3\pi/4 - \alpha - \theta_j) = 0,1236,$$

$$\tan(\theta_j + \alpha - \pi/4) = 0,1246,$$

$$\tan(\theta_j - \alpha - \pi) = 0,05.$$

Pas górny, wkładkę i krzyżulce projektuje się ze stali S355 o $f_y = 355$ MPa i $f_u = 490$ MPa.

A. Rozpatruje się obciążenie krzyżulca $K_i = -360,5$ kN.

Ocena długości współpracującej odcinka spoiny pachwinowej (patrz [12]):

$$d_{f1} = 3,14 \cdot 120 / (4 \cdot 0,9988) = 94,3 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = 2 \cdot 120 / (\sqrt{2} \cdot 0,9988) = 169,9 \text{ mm}$$

$$d_f = 0,5(94,3 + 169,9) \cdot 132,1 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 0,6124 \cdot 132,1 = 80,9 \text{ mm}$$

Naprężenia składowe wynoszą:

$$\sigma = \frac{360500 \cdot 0,9988}{2 \cdot 12 \cdot 80,9} = 185,4 \text{ MPa}$$

$$\tau = 1,15 \frac{360500 \cdot 0,05}{2(120 - 0,5 \cdot 12)} = 6,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{185,4^2 + 3 \cdot 6,6^2} = 185,8 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

Sprawdzenie spoin pachwinowych o grubości $a_w = 5 \text{ mm}$:

$$A_w = 4 \cdot 5 \cdot 80,9 = 1618 \text{ mm}^2$$

$$V_1 = 360,5 \cdot 0,05 = 18 \text{ kN}$$

$$V_2 = 360,5 \cdot 0,9988 = 360,1 \text{ kN}$$

$$\tau_1 = 18000 / 1618 = 11,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = 360100 / 1618 = 222,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{11,1^2 + 222,6^2} = 222,9 \text{ MPa} < 490 / (\sqrt{3} \cdot 0,81,25) = 283,2 \text{ MPa}$$

W wypadku krzyżulca obciążonego siłą $K_j = 202,6 \text{ kN}$ naprężenia będą mniejsze, gdyż siła podłużna jest mniejsza, a wartości obliczeniowych przekrojów różnią się nieznacznie.

Sprawdzenie pod obciążeniem lokalnym ścianek wkładki (patrz [12]).

Wartość nośności $N_{i,Rd}^*$:

Uplastycznienie środnika wkładki i zginanie brzegów pasa są niemiernodajne, lecz jest przy:

- przebicciu pasa wkładki o jej szerokości $a\sqrt{2} - t_a = 88\sqrt{2} - 16 = 108,4 \text{ mm}$:

$$b_{ep} = \frac{10 \cdot 80,9}{\sqrt{2} \cdot 108,4 / 16} = 84,4 \text{ mm} > \frac{80,9}{\sqrt{2}} = 57,2 \text{ mm}$$

$$N_{i,Rd} = 2 \frac{355 \cdot 16}{\sqrt{3}} (2 \cdot 16 + 2 \cdot 57,2) = 961,3 \cdot 10^3 \text{ N} = 964,3 \text{ kN}$$

Wartość nośności $N_{i,Rd}^{**}$:

$$N_{i,Rd} = 2 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 16^2 (2 \cdot 80,9 / 108,4 + 4\sqrt{1 - 16 / 108,4}) = 871,5 \cdot 10^3 \text{ N} = 871,5 \text{ kN}$$

$$N_{i,Rd} = 0,5 (961,3 + 871,5) = 436,2 \text{ kN} > 360,1 \text{ kN}$$

W wypadku obciążenie wkładki siłą $K_j = 202,6 \text{ kN}$ jest:

$$N_{j,Rd} = 436,2 \text{ kN} > 202,6 \cdot 0,9963 = 201 \text{ kN}$$

B. Sprawdzenie nośności połączenia wkładki z pasem.

Sprawdzenie pod obciążeniem $K_i = -360,5 \text{ kN}$.

a) Ustala się wartości sił składowych (wzory (6)):

$$P'_{ai} = K_i \cos(3\pi/4 + \alpha - \theta_j) = -360,5(-0,05) = 18 \text{ kN}$$

$$P''_{ai} = K_i \sin(3\pi/4 + \alpha - \theta_j) = -360,6 \cdot 0,9988 = -360,1 \text{ kN}$$

b) Oblicza się odcinki w celu ustalenia położenia siły K_i (wzory (7)):

$$a_{i1} - (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 - \tan(\theta - \alpha - \pi/4)] =$$

$$(88 + 12 - 29,4) 0,7071 (1 - 0,05) = 47,4 \text{ mm} > 120 / \sqrt{3} - 48 - 8,27 = 28,6 \text{ mm}$$

$$a_{i2} = (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 + \tan(\theta_j - \alpha \pi/4)] + (e_{zb} - t_{fb}) \sqrt{2} - \\ (88 + 12 - 29,4) 0,7071(1 + 0,05) + (29,4 - 12) \sqrt{2} = 77 \text{ mm} > 48 + 8,27 = 56,27 \text{ mm}$$

c) Oblicza się reakcje od obciążenia siłą P''_{ai} (wzory (8)):

$$R_{aiw} = \frac{a_{i1} - 0,5t_a}{a\sqrt{2} - t_a} P''_{ai} = \frac{-47,4 - 0,5 \cdot 16}{88\sqrt{2} - 16} \cdot 360,1 = -130,9 \text{ kN}$$

$$R_{air} = \frac{a_{i2} - 0,5t_a}{a\sqrt{2} - t_a} P''_{ai} = \frac{-77,4 - 0,5 \cdot 16}{88\sqrt{2} - 16} \cdot 360,1 = -229,2 \text{ kN}$$

Sprawdzenie pod obciążeniem $K_j = 202,6 \text{ kN}$:

$$P'_{aj} = K_j \cos(3\pi/4 - \alpha - \theta_j) = 202,6 \cdot 0,1236 = 25 \text{ kN},$$

$$P''_{aj} = K_j \sin(3\pi/4 - \alpha - \theta_j) = 202,6 \cdot 0,9923 = 201 \text{ kN},$$

$$a_{j1} = (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 - \tan(\theta_j + \alpha - \pi/4)] = \\ (88 + 12 - 29,4) 0,7071 (1 - 0,1246) = 43,7 \text{ mm} > 28,6 \text{ mm},$$

$$a_{j2} = (a + t_{fb} - e_{zb}) \cos(\pi/4) [1 + \tan(\theta_j + \alpha - \pi/4)] + (e_{zb} - t_{fb}) \sqrt{2} = \\ (88 + 12 - 29,4) \cdot 0,7071 (1 + 0,1246) + 29,4 - 12) \sqrt{2} = \\ = 80,2 \text{ mm} > 56,27 \text{ mm},$$

$$R_{ajw} = \frac{a_{j1} - 0,5t_a}{a\sqrt{2} - t_a} P''_{aj} = \frac{43,7 - 0,5 \cdot 16}{88\sqrt{2} - 16} \cdot 201 = 66,2 \text{ kN}$$

$$R_{ajr} = \frac{a_{j2} - 0,5t_a}{a\sqrt{2} - t_a} P''_{aj} = \frac{80,2 - 0,5 \cdot 16}{88\sqrt{2} - 16} \cdot 201 = 133,9 \text{ kN}$$

Siły obciążające spoiny szerokobruzdowe wynoszą (wzory (9)):

$$R_{aiw} = R_{air} = -229,7 \text{ kN} \text{ lub } R_{aw} = R_{ajr} = 133,9 \text{ kN} < |-229,7| \text{ kN}$$

Długość spoiny ustala się jako:

$$l_{w1} = b_{fb} - 2(t_{wb} + r_{fb}) = 360 - 2(17 + 18) = 290 \text{ mm}.$$

Napężenie ścinające w spoinie szerokobruzdowej silniej obciążonej wynosi przy $a_{w1} = 16 \text{ mm}$ (wzór (11a))

$$\max \tau_1 = R_{aw} / (l_{w1} a_{w1}) = 229700 / (290 \cdot 16) = 39,9 \text{ MPa} < 283,2 \text{ MPa}.$$

Siły obciążające spoiny pachwinowe (wzory (10)):

$$R_{ar} = 130,0 \text{ kN} \text{ lub } R_{ar} = R_{air} - P'_{aj} = 222,9 - 25 = 197,6 \text{ kN} > 131,9 \text{ kN}.$$

Długość spoiny ustala się jako: $l_{w2} = a\sqrt{2} - t_a = 88\sqrt{2} - 16 = 108,4 \text{ mm}$,

Napężenie przy $a_{w2} = 5 \text{ mm}$:

$$\max \tau_2 = \frac{R_{ar}}{2 \cdot l_{w2} \cdot a_{w2}} = \frac{197600}{2 \cdot 108,6 \cdot 5} = 182,6 \text{ MPa} < 283,2 \text{ MPa}$$

C. Sprawdzenie nośności części składowych węzła

Sprawdzenie nośności ścianki pod obciążeniem $K_i = -360,5 \text{ kN}$.

Ustalenie wartości sił wewnętrznych od tego obciążenia przeprowadza się, korzystając z zależności:

$$M_{ri} = 0,25 P''_{ai} (b_{fb} - t_{wb}) = 0,25 \cdot 360,1 (360 - 17) = 30800 \text{ kNm}$$

$$N_{ri} = P_{ajr} - P'_{ai} = 131,9 \text{ kN}, \Delta M_{ri} = N_{rier} = 131,9 \cdot 32,6 = 4300 \text{ kNm},$$

$$V_{ri} = 0,5 \cdot 360,1 = 180 \text{ kN},$$

$$\Sigma M_{ri} = M_{ri} - \Delta M_{ri} = 30800 - 4300 = 26500 \text{ kNmm}.$$

Naprężenia w ściankach wynoszą:

- w przęśle (siła podłużna jest rozciągająca):

$$\sigma_{\max} = -\frac{\Sigma M_{ri}}{W_{y,\min}} + \frac{N_{ri}}{A_{ri}} = -\frac{26500 \cdot 10^3}{101800} + \frac{131900}{3249} = -219,3 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\Sigma M_{ri}}{W_{y,\max}} + \frac{N_{ri}}{A_{ri}} = -\frac{26500 \cdot 10^3}{236900} + \frac{131900}{3249} = 152,5 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

Naprężenie złożone wynosi:

$$\sigma_{\text{red}} = (\sigma_{\max}^2 + 3\tau^2)^{0,5} = (219,3^2 + 3 \cdot 90^2)^{0,5} = 269,1 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}.$$

- na podporze

$$\sigma_{\max} = \frac{\Delta M_{ri}}{W_{y,\min}} + \frac{N_{ri}}{A_{ri}} = \frac{4300 \cdot 10^3}{101800} + \frac{131900}{3249} = 82,8 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_{ri}}{t_a \cdot a \sqrt{2}} = \frac{180000}{16 \cdot 88 \sqrt{2}} = 90,6 \text{ MPa} < \frac{355}{\sqrt{3}} = 205,2 \text{ MPa}$$

Sprawdzenie nośności ścianek pod obciążeniem $K_j = 202,6 \text{ kN}$.

$$M_{ij} = 0,25 \cdot 200 \cdot (360 - 17) = 17150 \text{ kNmm},$$

$$N_{ij} = P_{\text{air}} - P'_{\text{aj}} = 198 \text{ kN}, \Delta M_{ij} = N_{\text{aj}} \cdot e_r = 198 \cdot 32,6 = 6452 \text{ kNmm},$$

$$V_{ij} = 0,5 P_{\text{aj}} = 200/2 = 100 \text{ kN},$$

$$\Sigma M_{ij} = M_{ij} + \Delta M_{ij} = 17150 + 6452 = 23600 \text{ kNmm}.$$

Naprężenia w przęśle wynoszą przy ściskającej sile podłużnej:

$$\sigma_{\min} = \frac{\Sigma M_{ri}}{W_{y,\min}} - \frac{N_{ri}}{A_{ri}} = \frac{23600 \cdot 10^3}{101800} - \frac{198000}{3245} = 171,8 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\Sigma M_{ri}}{W_{y,\min}} + \frac{N_{ri}}{A_{ri}} = \frac{23600 \cdot 10^3}{236900} + \frac{198000}{3249} = 291,8 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_{ri}}{t_a \cdot a \sqrt{2}} = \frac{100000}{16 \cdot 88 \sqrt{2}} = 62,2 \text{ MPa} < \frac{355}{\sqrt{3}} = 205,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{red}} = (\sigma_{\max}^2 + 3\tau^2)^{0,5} = (291,8^2 + 3 \cdot 62,2^2)^{0,5} = 311,1 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}.$$

Sprawdzenie wartości współczynnika k_m :

$$n = \sigma_{\max} / f_{yr} = 219,3 / 355 = 0,618$$

$$k_m = 1,3 \cdot (1 - n) = 1,3 \cdot (1 - 0,618) = 0,5 < 1,0.$$

Sprawdzenie środka wkładki pod obciążeniem lokalnym:

$$N_{i,Rd} = 436,2 \cdot 0,6724 = 293,3 \text{ kN} > 201 \text{ kN}.$$

Wcześniejsze sprawdzenie nośności wkładki było przeprowadzone prawidłowo.

Sprawdzana nośności pasa górnego w węźle dokonuje się w sposób omówiony w [4].

Literatura

- [1] Bródka J., Broniewicz M.: Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodów. PWT. Rzeszów 2013.
- [2] Bródka J., Broniewicz M.: Truss design with one-membered elements. and N-joints. XIII International Conference on Metal Structures. Zielona Góra. 15-17 June 2016.
- [3] Bródka J., Broniewicz M.: Projektowanie wiązarów z ceowników i kątowników równoramiennych o węzłach typu N. – Inżynieria i Budownictwo. 2016, nr 2.
- [4] Bródka J., Broniewicz M.: Design of trusses made of channel sections according to Eurocode rules. “Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture. JCEEA”, t. XXXII, z. 62 (3/II/15), 2015, pp. 37-61, DOI: 10.7862/rb.2015.139.
- [5] Bródka J., Kozłowski A., Ligocki I., Łaguna J., Ślęczka L.: Projektowanie i obliczanie połączeń i węzłów konstrukcji stalowych. PWT. Drugie wydanie. Rzeszów 2013.
- [6] Łubiński M., Filipowicz A., Żóttowski W.: Konstrukcje metalowe. Część 1. Arkady. Warszawa 2001.
- [7] PN-EN 1090-2: 2007 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące wykonania konstrukcji stalowych.
- [8] PN-EN 1993-1-1: 2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [9] PN-EN 1993-1-8: 2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 8: Projektowanie węzłów.
- [10] Wardenier J., Packer J. A., Zhao X.-L., van der Vegte G. J.: Hollow section in structural applications. Bouven met staal. Zoetemeer 2010.
- [11] Rykałuk K.: Konstrukcje stalowe. Podstawy i elementy. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2001.
- [12] Bródka J., Wojnar A.: Projektowanie wiązarów z ceowników i kątowników równoramiennych o węzłach typu K. Część 1: Węzły pasa dolnego. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXIII, z. 63 (3/16), 2016, s. 25-42, DOI:10.7862/rb.2016.183.

DESIGN OF TRUSSES WITH ANGLE BRACE MEMBERS AND CHANNEL SECTION CHORDS, K JOINTS. PART 2. UPPER CHORD TRUSS JOINTS

Summary

The method of connecting of brace members and upper chord of the truss was presented in the article. In the connection of this type, brace members and chord were connected used steel element made from angle section which was welded to the channel section of the chord. The resistance of brace members was calculated during checking of the stability of the truss. The resistance of the connection was calculated according the procedure presented in [12]. The resistance of angle section should be calculated on the assumption the static schema of angle as a simply supported beam under bending and compression (or tension) loaded by concentrated force.

Keywords: steel trusses, designing of trusses joints connecting angle brace members and upper channel section chords, gap K joints in trusses

DOI:10.7862/rb.2016.244

Przesłano do redakcji: 30.09.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Przemysław BRZYSKI¹
Stanisław FIC²

KONDENSACJA W PRZEGRODZIE ŚCIENNEJ Z KOMPOZYTU WAPIENNO-KONOPNEGO – OCENA MOŻLIWOŚCI WYSTĄPIENIA

Obecność składników organicznych w materiałach budowlanych, decyduje o ich wrażliwości na wilgoć, a dłuższej perspektywie na ich korozję biologiczną, jeśli nie zostaną odpowiednio zabezpieczone przed czynnikami atmosferycznymi. Przegrody powinny się projektować zwracając uwagę na ryzyko wystąpienia powierzchniowej oraz międzywarstwowej kondensacji pary wodnej. W artykule przedstawiono analizę przegrody ściennej, wykonanej z kompozytu wapienno-konopnego. Założono grubość ściany 40 cm oraz po 2 cm tynku po obu stronach. Kompozyt składa się z modyfikowanego spoiwa wapiennego oraz paździerzy konopnych pozyskanych z konopi przemysłowych. Parametry materiału, potrzebne do analizy (współczynnik przewodności cieplnej oraz paroprzepuszczalność) wyznaczono doświadczalnie w badaniach własnych. W części analitycznej artykułu przedstawiono obliczenia temperatury powierzchni koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej ściany oraz określono możliwość wystąpienia kondensacji międzywarstwowej w analizowanej ścianie. Obliczenia wykonano zgodnie z normą PN-EN 13788. Przyjęto warunki brzegowe dla lokalizacji Lublin. Miesiącem krytycznym, w którym przegroda jest najbardziej narażona na kondensację jest styczeń. Z uwagi na dobre parametry termoizolacyjne przegrody, jej budowę ryzyko rozwoju pleśni na wewnętrznej powierzchni ściany nie występuje. Kondensacja wewnętrzna występuje w przegrodzie w okresie grudzień – luty. Natomiast już w marcu zgromadzony kondensat ulega całkowitemu odparowaniu. Przegroda odpowiedniej grubości, wykonana z kompozytu wapienno-konopnego, z uwagi na swoją wysoką paroprzepuszczalność oraz niskie przewodnictwo cieplne nie jest narażona na długotrwałe i niszczące oddziaływanie skraplającej się wewnątrz pary wodnej.

Słowa kluczowe: paroprzepuszczalność, przewodnictwo cieplne, wypełniacze organiczne, wapno, ściana zewnętrzna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Przemysław Brzyski, Politechnika Lubelska, Katedra Budownictwa Ogólnego, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin; tel. 815384448; p.brzyski@pollub.pl

² Stanisław Fic, Politechnika Lubelska, Katedra Budownictwa Ogólnego, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin; tel. 815384443; s.fic@pollub.pl

1. Wstęp

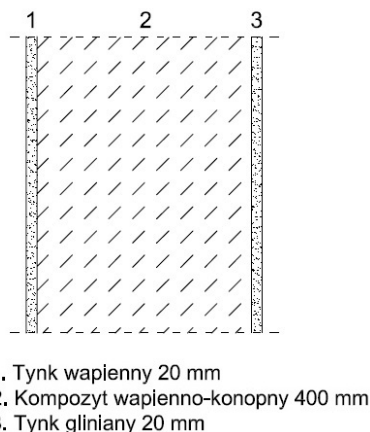
Zrównoważone budownictwo związane jest ściśle z ograniczeniem zużycia energii w tym sektorze gospodarki jakim jest budownictwo. Jednym z możliwych sposobów jest stosowanie materiałów pochodzenia roślinnego w produkcji materiałów budowlanych. Do grupy materiałów pochodzenia naturalnego można zaliczyć: słomę zbożową [1], paździerze lniane [2], sizał [3], które w czasie swego wzrostu pochłaniają dwutlenek węgla, a ich wykorzystanie w budownictwie zwykle nie jest energochłonne. W przeciągu ostatnich lat szeroko zaczęto wykorzystywać paździerze konopne w produkcji materiału budowlanego, pełniącego funkcję wypełnienia ścian szkieletowych [4,5]. Obecność składników organicznych w materiałach budowlanych, decyduje o ich wrażliwości na wilgoć, a w dłuższej perspektywie na ich korozję biologiczną, jeśli nie zostaną odpowiednio zabezpieczone przed czynnikami atmosferycznymi.

W pracy przedstawiono analizę przegrody ściennej budynku mieszkalnego, wykonanej z kompozytu wapienno-konopnego, obustronnie otynkowanej. Obliczono temperaturę powierzchni koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej ściany oraz określono możliwość wystąpienia kondensacji międzywarstwowej w analizowanej ścianie zewnętrznej.

2. Materiały wykorzystane w analizie

W analizie wykorzystano własne badania kompozytu wapienno-konopnego. Składał się on ze spoiwa (wapno hydratyzowane (70% wagowo) z dodatkiem pucolan (15%) i cementu portlandzkiego (15%)) oraz paździerzy konopnych, pochodzących z odmiany Białobrzeskie. Oprócz kompozytu, warstwami przegrody były tynki: wapienny – od zewnątrz, gliniany – od wewnątrz. Konstrukcję ściany stanowi szkielet drewniany – słupy 50x100mm rozstawione co 500mm, usytuowane centralnie względem grubości ściany. W obliczeniach wilgotnościowych pominięto wpływ drewnianych elementów konstrukcji na analizowane parametry. Na rysunku 1 przedstawiono schemat analizowanej przegrody, natomiast na rysunku 2 rzeczywisty model ściany.

Parametry kompozytu wapienno-konopnego takie jak współczynnik przewodności cieplnej, paroprzepuszczalność określono doświadczalnie, natomiast parametry tynków przyjęto na podstawie obowiązujących norm [6] oraz katalogu producenta [7].



Rys. 1. Schemat analizowanej przegrody ściennej (zewnętrznej)

Fig. 1. Scheme of analyzed external wall



Rys. 2. Model ściany z kompozytu wapienno-konopnego (archiwum autorów)

Fig. 2. Hemp-lime wall model

3. Wyznaczenie parametrów kompozytu wapienno-konopnego

3.1. Współczynnik przewodności cieplnej

Badanie współczynnika przewodności cieplnej λ kompozytu wykonano w oparciu o PN ISO 8302:1999 na próbkach o wymiarach 300x300x50 mm, po 28 dniach dojrzewania, przy pomocy aparatu płytowego Bocka – Fox 314. Przed umieszczeniem próbek w urządzeniu zostały one wysuszone do stałej masy w temperaturze 60°C.

Wynikiem testu był średni współczynnik przewodności cieplnej materiału z sześciu pomiarów.

3.2. Paroprzepuszczalność

Pomiar współczynnika paroprzepuszczalności wykonano na podstawie PN-EN 12086:2013 w warunkach izotermicznych, umieszczając badaną próbkę między dwoma różnymi środowiskami, różniącymi się wilgotnością względną otaczającego powietrza. Jednym z nich było powietrze w eksykatorze nad roztworem soli (K_2CO_3) zapewniającej określoną wilgotność względną (ok. 43%). Drugim środowiskiem było powietrze wewnątrz naczynia, w którym znajdował się żel krzemionkowy, który pozwolił uzyskać wilgotność względną 0%. Naczynie przekryte zostało badaną próbką i obwodowo uszczelnione. Poprzez ważenie naczynia w określonych odstępach czasu ustalono przyrost masy substancji higroskopijnej. Przedstawiona metodyka badania jest opisana także przez [8]. Wyznaczając współczynnik paroprzepuszczalności δ oparto się na prawie Ficka, wg wzorów:

$$\delta = g_{\vartheta} \cdot \frac{e}{\Delta P_{\vartheta}} \text{ [kg/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}] \quad (1)$$

$$g_{\vartheta} = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta T} \text{ [kg/(m}^2\cdot\text{s)}] \quad (2)$$

gdzie: e – grubość próbki [m]; g_{ϑ} – gęstość strumienia wilgoci [kg/(m²·s)]; ΔP_{ϑ} – gradient ciśnienia pary wodnej [Pa]; A – pole powierzchni próbki [m²]; ΔT – zmiana temperatury [°C]; Δm – zmiana masy [kg].

Na podstawie współczynnika δ określono współczynnik oporu dyfuzyjnego μ , co pozwoliło ustalić, ile razy opór stawiany przez dany materiał przepływowi pary wodnej jest większy od oporu powietrza, co wyrażono bezwymiarową zależnością:

$$\mu = \frac{\delta_0}{\delta} \quad (3)$$

gdzie: δ_0 – opór powietrza, równy $2 \cdot 10^{-10}$ kg/(m·s·Pa)

W tabeli 1 zestawiono wyznaczone (uśrednione) lub pobrane z literatury parametry materiałów wykorzystanych w analizowanej przegrodzie.

Tabela 1. Parametry materiałów wchodzących w skład analizowanej przegrody

Table 1. The parameters of materials included in the analyzed partition

Material	Współczynnik przewodności cieplnej	Współczynnik paroprzepuszczalności	Współczynnik oporu dyfuzyjnego
	[W/mK]	[kg/(m·s·Pa)]	[-]
Kompozyt	0,083	3.64×10^{-11}	5,5
Tynk wapienny	0,80	2×10^{-11}	10
Tynk gliniany	0,91	2.5×10^{-11}	8

4. Obliczenie temperatury powierzchni koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni

Przegrody zewnętrzne powinny być zaprojektowane z uwzględnieniem ryzyka wystąpienia powierzchniowej kondensacji pary wodnej. Na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie dopuszcza się wystąpienia kondensacji pary wodnej umożliwiającej rozwój grzybów pleśniowych. Opierając się na normie PN-EN ISO 13788 [9] warunek ten sprawdzono poprzez obliczenie współczynnika temperaturowego f_{Rsi} . Ściana zewnętrzna, wg zaleceń

w/w normy powinna charakteryzować się współczynnikiem temperaturowym nie większym niż jego wartość krytyczna $f_{Rsi,kryt}$. Współczynnik temperaturowy obliczono według wzorów:

$$f_{Rsi, \min} = \frac{\theta_{si, \min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (4)$$

$$f_{Rsi} = 1 - \frac{R_{si, \min}}{R_{T, \min}} \quad (5)$$

gdzie: $\theta_{si, \min}$ – temperatura powierzchni wewnętrznej [°C]; θ_i – temperatura powietrza wewnętrznego [°C]; θ_e – temperatura powietrza zewnętrznego [°C]; $R_{si, \min}$ – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody (0,25 m²·K/W); $R_{T, \min}$ – najniższy opór cieplny sekcji wydzielonej z komponentu budowlanego [m²·K/W]

Aby możliwe było sprawdzenie warunku $f_{Rsi} > f_{Rsi, kryt}$ konieczne jest wyznaczenie ciśnienia pary wodnej nasyconej p_{sat} , ciśnienia rzeczywistego pary wodnej na powierzchni zewnętrznej p_e i wewnętrznej p_i przegrody, oraz obliczenie minimalnej dopuszczalnej temperatury $\theta_{si, \min}$ będącą najniższą temperaturą powierzchni wewnętrznej, poniżej której zaczyna rozwijać się pleśń. Aby uniknąć rozwoju pleśni, wilgotność względna na powierzchni nie powinna przekraczać wartości 0,8. Wartości te obliczono wg wzorów:

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,26 \cdot \theta_e}{237,5 + \theta_e}} \quad \text{dla } \theta_e \geq 0^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta_e}{265,5 + \theta_e}} \quad \text{dla } \theta_e < 0^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$p_e = \varphi_e \cdot p_{sat} \quad (8)$$

$$p_i = p_e + 1,1 \cdot \Delta p \quad (9)$$

gdzie: Δp – nadwyżka ciśnienia zgodnie z oczekiwanym sposobem eksploatacji budynku [Pa];

$$p_{sta(\theta_{si, \min})} = \frac{p_i}{0,8} \quad (10)$$

$$\theta_{si,min} = \frac{237,5 \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} \text{ dla } p_{sat(\theta_{si,min})} \geq 610,5 \text{ Pa} \quad (11)$$

Analizy stanu wilgotności ściany w budynku mieszkalnym całorocznym dokonano przyjmując jako lokalizację miasto Lublin. W tabeli 2 przedstawiono dane wyjściowe oraz wyniki obliczeń.

Tabela 2. Warunki brzegowe do obliczeń oraz wyniki obliczeń

Table 2. The boundary conditions for calculation and the results of calculation

M-c	θ_e [°C]	φ_e [%]	φ_i [%]	p_e [Pa]	Δp [Pa]	p_i [Pa]	$p_{sat(\theta_{si,min})}$ [Pa]	$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi,min}$	f_{Rsi}
I	-2,6	87	61	428	915	1435	1794	15,8	0,814	0,95
II	-1,9	86	61	449	887	1424	1780	15,7	0,803	
III	3,2	81	59	624	680	1373	1716	15,1	0,709	
IV	9,2	73	57	844	437	1326	1657	14,6	0,496	
V	14,4	73	62	1205	227	1454	1818	16,0	0,287	
VI	16,2	78	68	1430	154	1599	1999	17,5	0,343	
VII	16,9	78	70	1495	126	1633	2041	17,8	0,301	
VIII	16,9	77	70	1487	126	1625	2032	17,8	0,277	
IX	12,8	83	66	1221	292	1542	1927	16,9	0,572	
X	8,5	84	62	928	466	1440	1800	15,8	0,639	
XI	1,3	89	61	598	757	1431	1789	15,8	0,773	
XII	-2,1	88	62	453	895	1438	1797	15,8	0,811	

Projektowaną temperaturę wewnętrzną przyjęto jako $\theta_i=20^\circ\text{C}$

Miesiącem krytycznym ze względu na poziom f_{Rsi} jest styczeń. Obliczony współczynnik temperaturowy dla miesiąca stycznia wyniósł 0,814, nieco mniejszą wartość współczynnika uzyskano dla grudnia 0,811. W tym przypadku współczynnik temperaturowy f_{Rsi} wyniósł 0,950. Jest on większy od współczynnika krytycznego, więc warunki dla rozwoju pleśni na powierzchni wewnętrznej ściany nie występują przez cały rok.

5. Określenie możliwości wystąpienia kondensacji międzywarstwowej

Opierając się na normie PN-EN ISO 13788 dla każdego miesiąca obliczono temperatury na styku warstw przegrody, ciśnienie pary nasyconej i rozkład pary w przegrodzie. Ścianę podzielono na szereg równoległych, jednorodnych warstw, dla których określono się opory cieplne R oraz równoważne dyfuzyjnie warstwy powietrza s_d wg wzoru:

$$s_d = \mu \cdot d \quad (12)$$

gdzie: μ – współczynnik oporu dyfuzyjnego [-]; d - grubość warstwy materiału [m].

Zgodnie z normą [9], warstwy o znacznym oporze cieplnym ($R > 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$) podzielono na pewną liczbę warstw o takim samym oporze cieplnym, nieprzekraczającym $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Następnie obliczono narastający opór cieplny i grubość warstwy nieruchomego powietrza o takim samym oporze dyfuzyjnym od strony zewnętrznej do każdej powierzchni stykowej n , wg równań:

$$R'_T = R_{si} + \sum_{j=1}^N R_j + R_{se} \quad (13)$$

$$s'_{d,T} = \sum_{j=1}^N s_{d,j} \quad (14)$$

Temperaturę na każdej powierzchni styku materiałów obliczono z równania:

$$\theta_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (15)$$

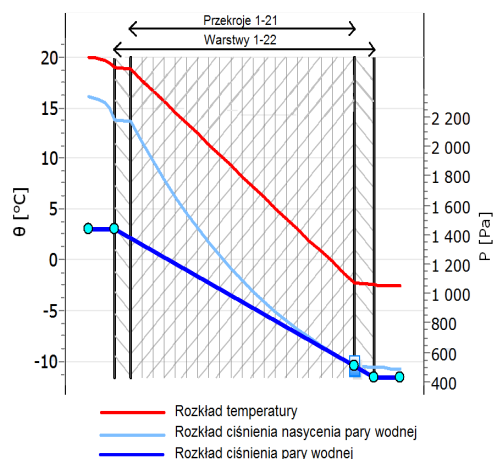
Strumień kondensacji jest różnicą między ilością wilgoci przenoszonej do powierzchni stykowej a ilością wilgoci przenoszonej od powierzchni stykowej, na której występuje kondensacja pary wodnej:

$$g_c = \delta_0 \cdot \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \quad (16)$$

Na rysunku 3 pokazano rozkład temperatury oraz ciśnienia pary wodnej w dwóch przegrodach w przykładowym miesiącu - styczniu. Kondensacja zachodzi wewnątrz warstwy kompozytu jedynie pomiędzy 21 a 22 warstwą stykową wytworzonych warstw obliczeniowych (styk kompozytu wapienno-konopnego z tynkiem zewnętrznym), czyli bliżej powierzchni zewnętrznej w przegrodzie. Temperatura ujemna utrzymuje się w obliczeniowych warstwach stykowych 19-21 (czyli w rzeczywistości w obszarze 60 mm grubości kompozytu od strony zewnętrznej) oraz w warstwie stykowej nr 22, czyli w obszarze tynku zewnętrznego. Na rysunku 4 pokazano wartości strumienia kondensacji oraz ilość zakumulowanego kondensatu w poszczególnych miesiącach. Najwyższy sumaryczny strumień kondensacji g_c występuje w miesiącu grudniu i jest równy $0,0157 \text{ kg/m}^2$, natomiast maksymalna ilość kondensatu pary wodnej

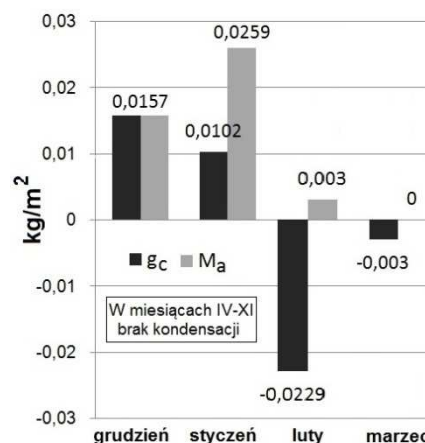
przypada na styczeń, w ilości $0,0259 \text{ kg/m}^2$. Kondensacja występuje w miesiącach grudzień-marzec.

Począwszy od miesiąca kwietnia skroplony kondensat ulega całkowitemu odparowaniu na skutek wzrostu temperatury zewnątrz rozpatrywanej przegrody.



Rys. 3. Rozkład ciśnienia pary wodnej w analizowanej przegrodzie w miesiącu styczniu

Fig. 3. Distribution of water vapor pressure in analyzed partition in January



Rys. 4. Strumień kondensacji (g_c) i zakumulowana wilgoć (M_a) w analizowanej ścianie

Fig. 4. Streams of condensation (g_c) and accumulated moisture (M_a) in analyzed wall

6. Podsumowanie

Kompozyt wapienno-konopny z uwagi na swoje dobre parametry termoizolacyjne jest w małym zakresie objęty strefą ujemnych temperatur oraz podwyższonej wilgotności. Za sprawą niskiego współczynnika oporu dyfuzyjnego, niebezpieczeństwa związane wzrostem wilgotności w wyniku kondensacji międzywarstwowej są niewielkie. Kondensacja w przegrodzie występuje, jednak w miesiącach wiosennych kondensat ulega całkowitemu odparowaniu. Ściana zewnętrzna wykonana z naturalnych materiałów, takich jak kompozyt wapienno-konopny może być wolna od ryzyka rozwoju pleśni i negatywnych skutków w wyniku kondensacji, która występuje w przegrodzie w małym stopniu. Przeprowadzone badania własne mogą być pomocne w praktycznych zastosowaniach w przypadku wykonywania przegród ściennych zewnętrznych na bazie kompozytu wapienno-konopnego.

Podziękowania: Badania zostały sfinansowane w ramach działalności statutowej S/14/2016.

Literatura

- [1] Minke G., Mahlke F.: Building with Straw, Birkhäuser Architecture, Germany 2005.
- [2] Fic S., Brzyski P.: Badanie kompozytu opartego na lekkich wypełniaczach (len i perlit) do zastosowań w budownictwie jako materiał ścienny, Przegląd Budowlany, vol.2, 2015.
- [3] Izquierdo I.S., Ramalho M.A.: Elements of structural masonry reinforced with sisal fibers, Journal of Civil Engineering and Architecture, vol.7, 2013.
- [4] Barnat-Hunek D., Smarzewski P., Fic S.: Mechanical and thermal properties of hemp-lime composites, Composites Theory and Practice, vol. 15/1, 2015, pp. 21-27.
- [5] Fic S., Barnat-Hunek D., Smarzewski P., Zadrożniak B.: Development of technology for the construction of clean and energy efficient house with composite filling timber frame, Biała Podlaska. Vol.1, 2015.
- [6] PN-EN ISO 10456: Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe.
- [7] www.tierrafino.pl, dostęp 15-05-2015.
- [8] Walker R., Pavía S.: Moisture transfer and thermal properties of hemp-lime concretes, Construction and Building Materials, vol. 64, 2014; pp. 270–276.
- [9] PN-EN ISO 13788:2003: Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku.

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF CONDENSATION PHENOMENON IN WALL MADE OF HEMP – LIME COMPOSITE

Summary

The presence of organic components in building materials, decides on their sensitivity to moisture, and the long-term impact on their biological corrosion, if they are not adequately protected against the weather. Partitions should be designed with attention to the risk of surface and interstitial condensation. The article presents an analysis of the external wall, made of hemp-lime composite with a thickness of 400 mm, plastered on both sides (a thickness of plaster was 20 mm). The composite consists of a modified lime binder and hemp shives obtained from the industrial hemp. The parameters of the material needed for analysis (thermal conductivity coefficient and water vapor permeability) was determined experimentally in the own research. In the analytical part of the paper presents the calculation of the internal surface temperature to avoid critical surface humidity and defines the possibility of interstitial condensation in the analyzed wall. For the calculations it was applied the methodology according to PN EN 13788 Standard. Analysis of the walls were made taking Lublin city as location (boundary conditions). The critical month, in which the partition is the most exposed to condensation was January. Due to the good thermal insulation of partition, its construction, the risk of mold growth on the inner wall surface does not occur. The interstitial condensation occurs in the period of December - February. The accumulated condensate is completely evaporated in March. The appropriate thickness of partition made of hemp-lime

composite, due to its high water vapor permeability and low thermal conductivity is not exposed to long-lasting and devastating impact of water vapor condensation.

Keywords: water vapor permeability, thermal conductivity, organic fillers, lime, external wall

DOI:10.7862/rb.2016.245

Przesłano do redakcji: 10.07.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Dorota BZOWSKA¹

RYZIKO PRZEGRZANIA BUDYNKÓW IZOLOWANYCH CIEPLNIE W OKRESIE LETNIM

Wyznaczono, dla okresu letniego, dobowe zakresy temperatur wewnętrznych oraz liczby wymian powietrza wentylacyjnego w budynkach, których przegrody zewnętrzne są zaizolowane cieplnie. Wyniki obliczeń odnoszą się do obecnych warunków pogodowych i tych przewidywanych po ociepleniu klimatu. Wg przedstawionych scenariuszy IPCC, zmiany te mają nastąpić w ciągu dwóch najbliższych dekad. W obliczeniach przyjęto jedynie scenariusz, wg którego przewidywany wzrost temperatury jest najniższy i wyniesie 4⁰ C.

Przebiegi temperatury wewnętrznej i naturalną wymianę powietrza wentylacyjnego symulowano numerycznie w budynku jednorodzinym o otwartym planie. Przepływ powietrza w budynku jest wynikiem jedynie działania parametrów pogody. W odniesieniu do wiatru, symulacje prowadzone są dla trzech trybów jego oddziaływania na system naturalnej wentylacji. Wiatr może intensyfikować przepływ powietrza przez budynek lub obniżyć strumień powietrza. W skrajnych wypadkach powoduje odwrotny przepływ powietrza wentylacyjnego. Obliczenia uwzględniają także pogodę bezwietrzną. Brak wiatru często występuje przy wysokich letnich temperaturach. Budynek nie jest zacieniony.

Informacje uzyskane z prezentowanych w pracy przebiegów temperatury wewnętrznej i liczby wymian powietrza wentylacyjnego (ACH) wskazują, że przyjmowanie wstępnych założeń projektowych bez uprzedniej analizy procesów cieplno-przepływowych zachodzących w budynkach jest działaniem nieuzasadnionym. Budynki obecnie projektowane, wznoszone i termomodernizowane będą musiały sprostać wymaganiom komfortu cieplnego nie tylko teraz, ale także w okresie spodziewanego ocieplenia klimatu. Z przegrzaniem wnętrza, w okresie letnim, borykają się obecnie mieszkańcy budynków, w tym także budynków niskoenergetycznych w sezonie grzewczym.

Słowa kluczowe: przegrzanie budynków, zmiany klimatu, naturalna wentylacja, przepływ odwrotny powietrza przez budynek, proces projektowy, symulacje numeryczne procesów wymiany ciepła i powietrza wentylacyjnego

1. Wprowadzenie

Asumptem to napisania pracy był europejski projekt o nazwie IDES-EDU: „Master and Post-Graduate education and training in multi-disciplinary

¹ Dorota Bzowska, Politechnika Warszawska, Instytut Budownictwa, Płock 09-400, Łukasiewicza 17; dor.bzowska@gmail.com

teams”[2]. Projekt stanowi wytyczne do tworzenia, w ramach programów studiów magisterskich i podyplomowych, w krajach członkowskich UE, interdyscyplinarnych zespołów badawczo-projektowych. Praca zespołu złożonego z inżynierów zajmujących się różnymi dyscyplinami związanymi z tworzeniem projektu budowlanego oraz, w razie potrzeby, z badaczy procesów zachodzących w obiektach budowlanych, mogłaby gwarantować poprawny tok procesu projektowego i w konsekwencji powstanie przyjaznego mieszkańcom i środowisku budynku. Według IDES-EDU, integracyjny proces kształcenia, na potrzeby projektu budowlanego, obejmowałby zarówno architektów jak i mechaników, inżynierów budowlanych, energetyków. Zespół ten miałby pracować wspólnie przez cały czas pracy nad projektem [2, 6]. Proponowane w IDES-EDU podejście do projektu, w praktyce należy do rzadkości. Dość powszechne jest zatrudnianie ekspertów w ostatniej fazie projektu, kiedy kluczowe decyzje projektowe są już podjęte [11]. A więc w fazie kiedy wszelkie decyzje energetyczne i te kształtujące komfort cieplny budynku są przesądzone. Bardzo często przyjęte rozwiązania architektoniczne redukują zużycie energii w okresie grzewczym natomiast generują jej pobór w okresie letnim. Obecnie, nie tylko wartość współczynnika przenikania ciepła „U” i współczynnik kształtu budynku wyznaczają straty ciepła z budynku. Stąd też ocena jakości zużycia energii we wszystkich porach roku jak i parametry komfortu w budynkach winny podlegać analizie.

Proponowane w projekcie IDES-EDU rozwiązanie jest tym bardziej naglące bo po roku 2021 rozwój budownictwa będzie związany z budownictwem blisko zero energetycznym zarówno w odniesieniu do budynków nowopowstających jak i tych termomodernizowanych. Zadaniem interdyscyplinarnych zespołów projektowych będzie zatem optymalizacja zapotrzebowania na energię tak dla okresu grzewczego jak i w okresie upałów. Obecnie wiele budynków zaizolowanych cieplnie, pozbawionych znaczącej masy akumulacyjnej i wyposażonych w naturalny system wentylacyjny, jest w okresie lata przegrzewane. Zapewnienie obecnie poprawnego mikroklimatu w budynku jest istotne, bo aktualnie wznoszone budynki będą musiały „odpowiedzieć” na przewidywane ocieplenie klimatu. Jeśli w obecnym klimacie występuje letnie przegrzanie to proces ten zaostrzy się po wzroście temperatury otoczenia. Według scenariusza A1F1 średnia temperatura w przeciągu XXI wieku wzrośnie o 4°C. Scenariusz A1F1 przewiduje najłagodniejsze zmiany klimatu, inny scenariusz przewiduje wzrost temperatury o 11°C [4, 13, 14].

Obecnie, kiedy pomieszczenia w budynkach, także niskoenergetycznych, są przegrzewane proponuje się montaż klimatyzatorów. Zasadność takiego rozwiązania powinny wykazać pomiary, które wykażą jak często i jak długa w czasie dnia temperatura w pomieszczeniu przekracza temperaturę komfortu cieplnego.

Przedstawione w pracy, zmienne w obrębie doby, przebiegi temperatury wewnętrznej i liczby wymian powietrza wentylacyjnego wyznaczono dla lipca. Symulacje numeryczne wykonano programem autorskim.

2. Bilans energetyczny i masowy budynku, założenia modelowe

Badanie procesów termodynamicznych, które zachodzą w obiektach budowlanych wymaga rozwiązania układu dwóch równań. Pierwsze (1), podane poniżej, opisują pełną wymianę ciepła i dyfuzję masy i jest uzupełnione równania (2), które pozwala obliczyć strumień objętości powietrza przepływającego przez budynek [8].

$$V \cdot \rho_i \cdot c_v \cdot \frac{dT_i}{d\tau} = \Phi + \sum_{l=1}^n h_{i_l} \cdot F_{l_i} \cdot (T_{s_l} - T_i) + \sum_{K=1}^m U_{ok_K} \cdot A_{ok_K} \cdot (T_o - T_i) + \dot{V}_m \cdot c_p \cdot (T_o - T_i) \quad (1)$$

$$\dot{V}_m = C_d \cdot A \cdot \rho_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_o}{T_o} \pm 2\Delta p_v} \quad (2)$$

Lewa strona równania (1) opisuje zmianę energii wewnętrznej powietrza wewnętrznego o temperaturze T_i w objętości V , gęstości ρ_i i ciepłe właściwym przy stałej objętości c_v . Po prawej stronie równania (1) człon $-Q_c$ jest wynikową sumą strumieni ciepła dopływających i traconych przez pomieszczenie, a mianowicie strumieni ciepła: z urządzeń cieplnych, z urządzeń zasilanych elektrycznie, od promieniowania krótkofalowego, głównie jest to promieniowanie słoneczne, pozyskiwane za pośrednictwem przegród przezroczystych, od użytkowników pomieszczeń oraz straty ciepła do podłoża. Drugi człon równania opisuje proces przejmowania ciepła w pomieszczeniu, gdzie T_s jest temperaturą powierzchni ściany. Trzeci dotyczy wymiany ciepła przez okno. Czwarty człon wyraża zmianę entalpii, związaną ze strumieniem masy powietrza wentylacyjnego, o natężeniu przepływu \dot{V}_m [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]. Powietrze wpływa do pomieszczenia przy temperaturze otoczenia T_o i opuszcza je przy temperaturze T_i .

Strumień wymiany konwekcyjnej, pomiędzy powietrzem w pomieszczeniu a każdą z otaczających go ścian, jest zależny od temperatury ich powierzchni, dla których bilans energetyczny przedstawia się następująco:

$$-\lambda \cdot \text{grad}T|_s = h_i \cdot (T_s - T_i) - \alpha_s \cdot \Phi_o + \Phi_{pr} \quad (3)$$

W równaniu (3) występują następujące współczynniki: λ – przewodzenia ciepła warstwy ściany bezpośrednio przy powierzchni, α_s – absorpcyjności ściany, h_i – przejmowania ciepła. Φ_{pr} , Φ_o – strumień promieniowania długofalowego i krótkofalowego, odpowiednio.

Spadek ciśnienia, w równaniu (2), wynikający z różnicy gęstości powietrza, który powstaje pomiędzy podłogą i stropem na wysokości h wynosi $(g'h)^{1/2}$, gdzie $g'=g \Delta T/T_o = g \Delta \rho/\rho_o$. Spadek ciśnienia, wywołwany wiatrem uwzględnia człon ciśnieniowy $\Delta p_v/\rho_o$. Dokładny opis i analizę równania 2, łącznie z wyznaczeniem bifurkacji przepływu, można znaleźć w [3, 8].

Zakłada się jednowymiarowe pole temperatur w stropie i ścianach budynku. Równanie przewodnictwa (4) rozwiązuje się z nieustalonymi warunkami brzegowymi III i IV rodzaju.

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (4)$$

- po stronie wewnętrznej temperatura w pomieszczeniu jest parametrem skupionym, będącym wynikiem wszystkich omawianych oddziaływań energetycznych, oraz spełniony jest warunek brzegowy:

$$h_i \cdot [T_{sc1} - T_i] = -\lambda_1 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_1 \quad (5)$$

gdzie indeks „1” oznacza pierwszą warstwę,

- dla przegrody wielowarstwowej warunek brzegowy na granicy warstw jest warunkiem IV rodzaju:

$$-\lambda_j \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_j = -\lambda_{j+1} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{j+1} \quad (6)$$

- po stronie zewnętrznej zastosowano warunek brzegowy III rodzaju, z dodatkowym członem, uwzględniającym padający na ścianę i przez nią pochłaniany strumień promieniowania słonecznego. Zarówno strumień promieniowania, jak i temperatura otoczenia, są funkcjami czasu.

$$\alpha_s \cdot G_\beta - h_o \cdot [T_{scn} - T_o] = -\lambda_n \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_n \quad (7)$$

gdzie indeks „n” oznacza ostatnią, zewnętrzną warstwę przegrody.

Wartości strumienia ciepła, pochodzące z promieniowania słonecznego, aproksymowane są z 15 minutowych danych tablicowych zliczanych przez stację IMGW w Warszawie.

Algorytm obliczeń oparty jest na metodzie różnic skończonych. Równania opisujące wymianę ciepła i wymianę powietrza są rozwiązywane równocześnie.

Temperatura wewnętrzna obliczona z równania wymiany ciepła jest wprowadzona do równań przepływu powietrza w następnym kroku czasowym. Zabieg ten pozwala na wyznaczenie w kolejnym kroku, temperatury wewnętrznej, która uwzględnia zarówno wymianę ciepła jak i wymianę powietrza.

Obliczenia wykonano dla następujących uśrednionych, po latach i miesiącu, wartości parametrów pogody w lipcu dla Warszawy. Przebieg dobowy obu parametrów pogody opisuje funkcja trygonometryczna. Jej wartość średnia dla temperatury otoczenia wynosi $-(17,27)^{\circ}\text{C}$, amplituda $-(4,04)^{\circ}\text{C}$ a przesunięcie w stosunku do godziny 6 rano (funkcja o tej godzinie się zeruje) równe jest $(-8,42)$ h. Oznacza to, że temperatura zewnętrzna w lipcu osiąga swoje maksimum o godzinie 14,42. Wiatr północny na wysokości 1m charakteryzuje się wartością średnią $-(1,03)$ m/s, amplitudą $-(0,25)$ m/s, przesunięciem w stosunku do minimum funkcji równym $(-9,5)$. Wiatr południowy na wysokości 4m ma wartość średnią $-(1,27)$ m/s, amplitudę $-(0,30)$ m/s, przesunięcie równe $(-7,0)$ h.

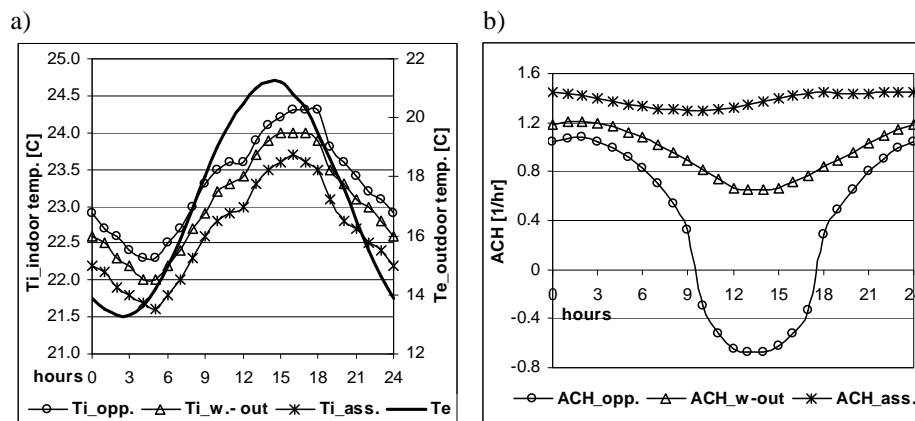
3. Charakterystyka obiektu budowlanego

Badanie zmienności temperatury powietrza wewnętrznego i intensywności wymiany powietrza wentylacyjnego przeprowadzono w budynku jednostrefowym o wymiarach 5m x 5m x 3m. Budynek jest wyposażony w wentylację naturalną. Budynek posiada wewnętrzną masę termiczną, która zwiększa akumulację ciepła. W okresie letnim do odprowadzenia ciepła z budynku wykorzystuje się kalibrowane otwory wentylacyjne. Otwory zostały umieszczone w przeciwnych ścianach. Otwory doprowadzające powietrze do budynku powinny być usytuowane w północnej ścianie. Taka lokalizacja, otworu w okresie letnim, pozwala uniknąć wpływu bezpośredniego promieniowania słonecznego. Przy innym umiejscowieniu otworu, okresowy wzrost temperatury zewnętrznej może przekroczyć wartość temperatury wewnętrznej, powodując tym samym zaburzenia w przepływie powietrza przez budynek. Otwór dopływowy, dolny, dla powietrza wentylacyjnego, poddawany jest zatem działaniu wiatru północnego (assisting [8]). Otwór górny stanowi wylot. Przy wietrze południowym, tzw. przeciwnym (opposing [8]), funkcje otworów są odwrotne, o ile wypór termiczny powietrza nie góruje nad spadkiem ciśnienia wywołwanym parciem wiatru południowego. W każdej sytuacji wiatr, działający na przegrodę budynku z dolnym otworem dopływowym, intensyfikuje przepływ powietrza. Parcie wiatru, na ścianę z otworem górnym, osłabia lub wręcz odwraca przepływ powietrza przez budynek. Testowany numerycznie budynek został zbudowany ok. 40 lat temu. Opór cieplny przegród zewnętrznych nie spełnia aktualnych wymogów ochrony cieplnej. Opór przenikania dla stropodachu murowanego, który został w międzyczasie ocieplony 4cm wełny mineralnej i ponownie pokryty papą, wynosi $1.144\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Ściany pionowe o grubości 38 cm, zbudowane z cegły, mają opór cieplny tylko $0.664\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Wewnętrzna warstwa akumulacyjna (masa termiczna) jest odpowiednikiem przegrody ceglanej o grubości 20 cm i jej po-

jemność cieplna osiąga wartość 1134kJ/kg·K. Pojemność cieplna całego budynku równa jest 4838kJ/kg·K. Przegrody zewnętrzne mają orientację: południową, północną, wschodnią i zachodnią. Okna zespolone o współczynniku przenikania ciepła równym 1.6W/(m²·K) mają powierzchnię 1,5 m² i znajdują się w ścianie: S, E i W. Udział powierzchni okien w powierzchni ściany wynosi 0,1. Przyjęta w obliczeniach moc cieplna, pochodząca z zainstalowanych urządzeń i od mieszkańców wynosi 300 W.

4. Analiza wyników i wnioski

Analizując powołaną w artykule literaturę znajdujemy szereg rozwiązań ograniczających przegrzewanie budynku o wysokim oporze cieplnym i niskiej pojemności cieplnej przegród nieprzezroczystych. Poczynając od najprostszego rozwiązania jakim jest zacielenie okien po rozwiązaniu, które wynikają z symulacji procesów cieplno-przepływowych specjalistycznymi programami numerycznymi. Programy te umożliwiają symulację komfortu cieplnego w budynkach termomodernizowanych pod kątem spodziewanych zmian klimatycznych. Na szeroką skalę, w celu zawansowanych badań nad komfortem cieplnym, tworzone są bazy danych dla budynków w okresie letnim. Pomiary poligonowe pozwalają zidentyfikować, w zależności od typu i lokalizacji budynku, czas i długość trwania wysokich temperatur w obiekcie. Wśród badaczy istnieje świadomość konieczności antycypowania tego zjawiska poprzez konstruowanie poprawnych



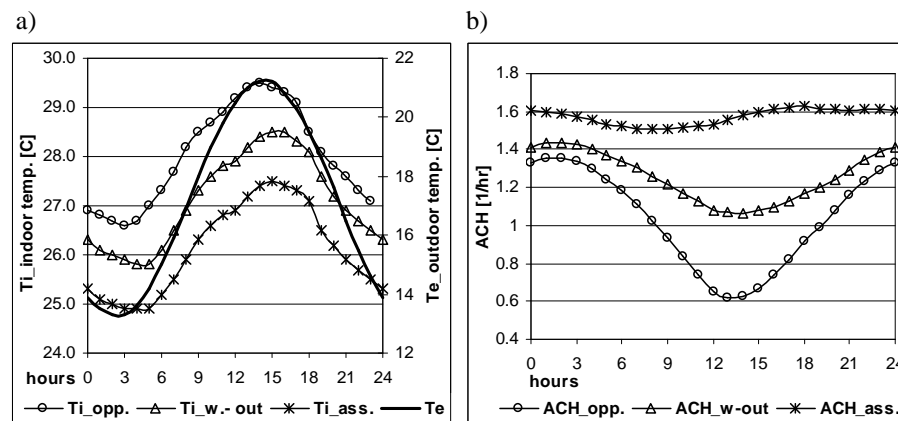
Rys. 1. Dobowe przebiegi dla lipca a) temp. zewnętrznej - Te i temp. wewnętrznej Ti; b) liczba wymian powietrza wentylacyjnego (ACH) dla trzech form aktywności wiatru. Ti_ass -wiatr wspomagający, północny, Ti_opp - południowy, przeciwny, Ti_w-out - bez wiatru. Budynek nie jest cieplnie izolowany

Fig. 1. Time history in July for the mean a) outdoor temp. -Te and indoor temp. -Ti; b)ACH at the three forms of wind appearance. Ti_ass - assistig wind - the north one, Ti_opposing, the south one, Ti_w-out - no wind. The building is not thermally insulated

założeń projektowych budynku. Założeń rozumianych nie tylko w sensie konstrukcyjnym ale także jako wymagań energetycznych dotyczących utrzymania komfortu cieplnego [1, 5, 7, 9, 10, 12]. Stąd program UE dotyczący szkolenia interdyscyplinarnych zespołów projektowych w dziedzinie budownictwa.

Przedstawione w pracy wstępne wyniki obliczeń wpisują się w ogólną tendencję badań nad zjawiskiem przegrzania. Wykresy na rys. 1 ilustrują bazowy proces ciepło-przepływowy budynku z okresu poprzedzającego zabiegi termomodernizacyjne. Wówczas nie występowało zjawiska przegrzania wnętrza budynku przy standardowych warunkach eksploatacyjnych. Zarówno temperatury wewnętrzne jak i wymiana powietrza przepływającego przez budynek była zadowalająca z wyjątkiem okresu kiedy występował przepływ odwrotny powietrza. Temperatury wewnętrzne osiągały swoje maksimum w godzinach popołudniowych i mieściły się w zakresie komfortu cieplnego. Najwyższe temperatury obserwuje się przy tłumieniu przepływu wiatrem przeciwnym, południowym. Odprowadzanie ciepła z budynku odbywało poprzez wentylację i przez przenikania przez obudowę budynku. Występował wówczas proces nocnego chłodzenia.

Rys. 2 ilustruje stan ciepło-przepływowy w budynku z 15 cm warstwą izolacyjną, której opór cieplny wynosi $3,57\text{m}^2\text{K/W}$. Z uwagi na wytłumienie strat ciepła przez zaizolowane cieplnie przegrody „ciężar” odprowadzenia ciepła spoczywa na wentylacji. Średnie wartości parametrów klimatu są takie same jak przy budynku niedocieplonym. Średnia, maksymalna wartość temperatury otoczenia w lipcu wynosi niewiele ponad 21°C . Z racji wyższej temperatury we-



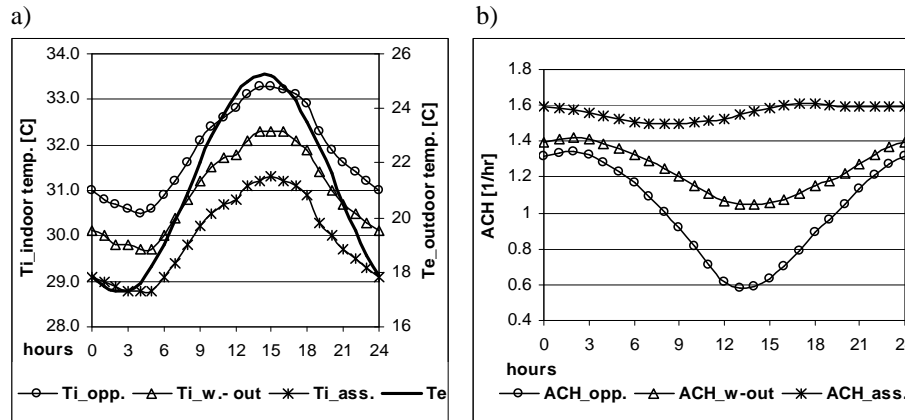
Rys. 2. Dobowe przebiegi dla lipca a) temp. zewnętrznej - Te i temp. wewnętrznej Ti; b) liczba wymian powietrza wentylacyjnego (ACH) dla trzech form aktywności wiatru. Ti_ass – wiatr wspomagający, północny, Ti_opp – południowy, przeciwny, Ti_w-out – bez wiatru. Budynek jest ocieplony 15 cm izolacji

Fig. 2. Time history in July for the mean a) outdoor temp. - Te and indoor temp. - Ti; b) ACH at the three forms of wind appearance. Ti_ass – assisting wind – the north one, Ti_opposing, the south one, Ti_w-out – no wind. The building is covered with 15 cm of thermal insulation

wewnętrznej, generowany jest większy wypór termiczny, który intensyfikuje przepływ powietrza przez budynek i uniemożliwia powstawanie przepływu odwrotnego. Intensywniejsza wentylacja nie jest jednak w stanie przeciwdziałać powstawaniu wyższych temperatur w budynku. Przekraczają one poziom komfortu cieplnego w godzinach popołudniowych. Najwyższa temperatura występuje przy wietrze południowym, bo wtedy wentylacja działa naj słabiej. Około godziny 14 temperatura w budynku sięga niemal 30°C przy czym, temperatury powyżej 29°C utrzymują się pomiędzy godziną 11 a 18. Komfort cieplny utrzymany jest przez całą dobę tylko przy wietrze wspomagającym. Powietrze ma w tym wypadku bardzo wyrównany przepływ przez budynek.

Natomiast symulacje przeprowadzone w okresie wzrostu temperatury otoczenia tj. ocieplenia klimatu wskazują, że nawet w najbardziej sprzyjających wietrznie warunkach, temperatura wewnętrzna w godzinach pomiędzy 12 a 18 przekroczy 31°C. Najniższa, w tym przypadku temperatura, tj. 28,8°C wystąpi jedynie nad ranem. O północy wyniesie aż 29°C. Wówczas przepływ powietrza przez budynek, przy wietrze północnym, będzie wyrównany i liczba wymian powietrza wentylacyjnego (ACH) wyniesie 1,6. W przypadku braku wiatru, wymiana powietrza wentylacyjnego będzie kształtowana jedynie wyporem termicznym i w środkowych godzinach doby będzie najniższa. W nocy wyniesie około 1,4 wymiany na godzinę. Stąd i temperatura wewnętrzna będzie wyższa w porównaniu do sytuacji kiedy wieje wiatr północny. W ciągu dnia temperatura przekroczy 32°C. Natomiast przy wietrze południowym, wyłumiany jest przepływ powietrza wentylacyjnego i temperatura w godzinach popołudniowych jest wyższa niż 33°C. Temperatura minimalna występuje nad ranem i przekracza 30°C. Są to wartości osiągnięte przy przewidywanym, najmniejszym wzroście temperatury. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 3.

Badany obiekt jest wyposażony w okna o powierzchni standardowej tj., udziale równym 0,15 powierzchni podłogi a przeszklenie nie jest pokryte powłoką niskoemisyjną. Wydawane są opinie, że jedynie wentylacja mechaniczna może rozwiązać problem przegrzania. Powstanie wówczas problem energetyczny. Wydaje się zasadne wyposażanie budynków w systemy zaawansowanej wentylacji naturalnej - AVN lub tylko elementy tego systemu. Systemy AVN pracują, z powodzeniem w obiektach, także użyteczności publicznej, nawet o wielotyśięcnej kubaturze. We wstępnych założeniach projektowych można także rozważyć gruntowy wymiennik ciepła, który we współpracy z rekuperatorem przynosi bardzo wymierne rezultaty energetyczne w sezonie grzewczym i schładza budynek w lecie. Obniżenie pojemności cieplnej przegród nieprzezroczystych oraz zwiększenie przeszkleń, w obecnie wznoszonych domach jednorodzinnych, bardzo „uważliwiło” wnętrze budynku na wysokie temperatury otoczenia.



Rys. 3. Dobowe przebiegi dla lipca a) temp. zewnętrznej - T_e wyższa 4°C i temp. wewnętrznej - T_i ; b) liczba wymian powietrza wentylacyjnego (ACH) dla trzech form aktywności wiatru. T_{i_ass} -wiatr wspomagający, północny, T_{i_opp} – południowy, T_{i_w-out} – bez wiatru. Budynek jest ocieplony 15 cm izolacji

Fig. 3. Time history in July for the mean a) outdoor temp. - T_e higher of 4 deg. and indoor temp. T_i ; b) ACH at the three forms of wind appearance. T_{i_ass} – assisting wind – the north one, $T_{i_opposing}$, the south one, T_{i_w-out} – no wind. The building is covered with 15 cm of thermal insulation

Literatura

- [1] Beizaee A., Lomas K., *National survey of summertime temperatures and overheating risk in English homes*, Building & Environment 65 (2013) 1-14.
- [2] Brunsgaard C., et al, *Integrated energy design - Education and training in crossdisciplinary teams implementing energy performance of buildings directive (EPBD)*, Building & Environment 72 (2014) 1-14.
- [3] Bzowska D. *Unsteady heat and air exchange processes in buildings with different material structure of partitions*, in Polish, Inst. of Fundamental Technological Research Reports, PAS 2/2007.
- [4] Bzowska D. *Changes in temperature in buildings in response to the changing climate*, in Polish, Technical Transactions, 2/B/2012 (3), 37-44.
- [5] Coley D., Kershaw T., *Changes in internal temperatures within the built environment as a response to a changing climate*, Building & Environment 45,(2010) 89-93.
- [6] Kim T., Todorovic M., *Tuning control of building glazing's transmittance dependence on the solar radiation wavelength to optimize daylighting and building's energy efficiency*, Energy & Buildings 63 (2013) 108-118.
- [7] Kisilewicz T., *The influence of resistive, dynamic and spectral features of the building walls on the thermal balance of the low energy buildings*, Monography, in Polish, Univ. press, PK, 2008.
- [8] Li Y., Delsante A., *Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces*, Building & Environment, 36 (2001), 59-71.
- [9] Porritt S.M. et al, *Ranking of interventions to reduce dwelling overheating during heat waves*, Energy & Buildings 55(2012)16-27.

- [10] Sailor D., Risks of summertime extreme thermal conditions in buildings as a result of climate change and exacerbation of urban heat islands, *Building & Environment* 78 (2014) 81-88.
- [11] Santos R. et al, Assessment of building operational energy at early stages of design. A monthly quasi-steady-state approach, *Energy & Buildings* 79(2014) 58-73.
- [12] Yingchun J. Assessing overheating of the UK existing dwellings. A case study of replica Victorian end terrace house, *Building & Environment* 77(2014) 1-11.
- [13] Intergovernmental Panel on Climate Change(www.ipcc.ch).
- [14] UKCIP (www.ukcip.org.uk/ukcp09ukcip02, dostęp maj 2016).

RISKS OF SUMMERTIME OVERHEATING IN BUILDINGS THERMALLY INSULATED

S u m m a r y

Thermally insulated buildings equipped with natural ventilation create overheating risk during summertime. However in these dwellings energy demand is reduced in heating season but in summer months thermal comfort can be hardly kept without additional cooling devices. In such a case the cooling energy can consume the energy profit gained from the reduction of heating energy. To examine thermal conditions in such a building the unsteady heat and air exchange processes were simulated for the hottest month that is July, in Warsaw. The climate in this part of Europe can be assumed as a moderate European climate. The examined building suits an open space single family house and is fitted with the heat accumulating mass. As the building is naturally ventilated three forms of ventilation airflow were considered - with assisting and opposing winds and no wind appearance. The algorithm of computations for the unsteady processes in the examined building was based on the finite differences method, where feedback between the thermal model and the airflow model was applied. The time history for indoor temperature and air exchange are presented in the paper. The results of computer simulation can help to designed the building well even for the hot periods.

Keywords: overheating in buildings, changing climate, natural ventilation, reversed flows, designing processes, numerical simulation of heat and air exchange

DOI:10.7862/rb.2016.246

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Bartosz CHWIEDUK¹

WPLYW WYKORZYSTANIA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ ZASILAJĄCEJ POMPEJ CIEPŁA W OKRESIE OGRZEW CZYM NA WSKAŹNIK EK I EP CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU

W artykule przeanalizowano wpływ działania instalacji fotowoltaicznej zasilającej pompę ciepła na zapotrzebowanie budynku na energię końcową i pierwotną do ogrzewania. W pierwszym kroku na podstawie znanego zapotrzebowania na energię elektryczną w rozpatrywanym budynku zwymiarowano system fotowoltaiczny. Na podstawie danych meteorologicznych zamieszczonych na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa oraz danych technicznych modułów fotowoltaicznych wyznaczono zyski energetyczne w kolejnych godzinach roku wynikające z pracy systemu fotowoltaicznego. Określono również czas trwania okresu grzewczego oraz ilość energii jaka musi zostać dostarczona do pompy ciepła w kolejnych dniach roku, aby utrzymać temperaturę wewnętrzną na stałym wymaganym poziomie. Uwzględniając moc pompy ciepła obliczono czas jej działania w kolejnych dniach roku. Porównując zyski energetyczne z instalacji fotowoltaicznej i zapotrzebowanie na energię do ogrzewania wyznaczono jaka część energii zasilającej pompę ciepła pochodzić będzie z systemu fotowoltaicznego, a jaka będzie pobrana z sieci elektroenergetycznej. Wyróżniono dwa przypadki. W pierwszym założono, że cała wyprodukowana przez system fotowoltaiczny energia może zostać wykorzystana do zasilania pompy ciepła. Jest to możliwe gdy w skład instalacji fotowoltaicznej wchodzi akumulatory. W drugim przypadku energia elektryczna wyprodukowana przez generator fotowoltaiczny nie jest magazynowana, a pompa ciepła działa w godzinach pracy systemu fotowoltaicznego. Posiadając wyniki tych obliczeń określono jaki wpływ na wskaźniki EK i EP obliczane w świadectwach charakterystyki energetycznej budynku ma wykorzystanie instalacji fotowoltaicznej.

Słowa kluczowe: charakterystyka energetyczna budynku, pompa ciepła, fotowoltaika

¹ Bartosz Chwieduk, Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Ciepłej, Zakład Chłodziactwa i Energetyki Budynku, ul. Nowowiejska 2/25, 00-665 Warszawa; tel. 606325523; bartosz.chwieduk@itc.pw.edu.pl

1. Wstęp

Od 2015 roku osoby, które budują dom na własny użytek nie muszą sporządzać świadectwa charakterystyki energetycznej. Wymagane są one podczas sprzedaży lub najmu domu lub jego części. Świadectwo takie musi być odnawiane co 10 lat lub w przypadku modernizacji budynku mającej wpływ na wskaźniki oceny charakterystyki energetycznej.

Podczas obliczeń prowadzących do wyznaczenia wskaźników rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU, końcową EK i pierwotną EP uwzględnia się zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, podgrzewania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia, jeśli jest stosowane. Na zużycie energii w danym budynku mają wpływ także inne czynniki np. oświetlenie czy urządzenia AGD i RTV. Zastosowanie urządzeń wykorzystujących odnawialne źródła energii takich jak kolektory słoneczne czy pompa ciepła, wyraźnie obniża zapotrzebowanie na nieodnawialną energię końcową i pierwotną. W przypadku instalacji z modułami fotowoltaicznymi jej działanie uwzględnić można jedynie przy zasilaniu urządzeń pomocniczych i pompy ciepła. Obniżenie zużycia energii pobieranej z sieci elektroenergetycznej bądź zyski ze sprzedaży energii nie są brane pod uwagę w charakterystykach energetycznych budynków mieszkalnych [1].

2. Charakterystyka rozpatrywanego budynku

Przeprowadzone obliczenia pokazują jak niewielki wpływ na charakterystykę energetyczną budynku mieszkalnego ma stosowanie instalacji fotowoltaicznych. Parametry urządzeń wchodzących w skład instalacji ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej zaczerpnięto z istniejącego systemu. Do rozważanego budynku jednorodzinne doprowadzone są jedynie energia elektryczna oraz zimna woda. Ciepła woda użytkowa przygotowywana jest za pośrednictwem kolektorów słonecznych wspomaganych okresowo przez grzałkę elektryczną. Do ogrzewania budynku wykorzystuje się pompę ciepła o mocy elektrycznej 1,8 kW i COP na poziomie 4,9. Na potrzeby obliczeń w okresie ogrzewczym do zasilania pompy ciepła służyć będzie energia z instalacji fotowoltaicznej oraz energia z sieci elektroenergetycznej. Pozwoli to na uwzględnienie energii z modułów fotowoltaicznych w obliczeniach wykorzystywanych do sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku.

3. Zyski energetyczne z instalacji fotowoltaicznej

Pierwszym etapem obliczeń jest wyznaczenie zysków energetycznych z instalacji fotowoltaicznej. Moc instalacji określono na podstawie zapotrzebowania na energię elektryczną w rozpatrywanym budynku. System fotowoltaiczny zaprojektowano tak, aby pokrywał zapotrzebowanie na energię elektryczną w czerwcu. Jest to miesiąc, w którym stosunek zapotrzebowania na energię elektryczną

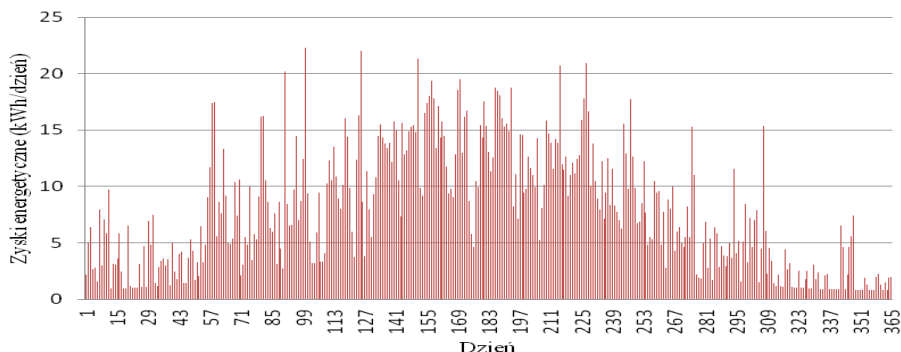
do zysków słonecznych jest najniższy. Dla rozpatrywanego budynku jednorodzinnej instalacja taka będzie miała moc nominalną na poziomie 2,7 kWp. Do wyznaczenia zysków energetycznych posłużyły dane meteorologiczne zaczerpnięte ze strony Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa [2]. Pochodzą one ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Warszawie. W tabeli 1 zebrano dane techniczne modułów fotowoltaicznych wykorzystane do obliczeń.

Tabela 1. Dane techniczne modułów fotowoltaicznych na podstawie [3]

Table 1. Technical data of PV modules based on [3]

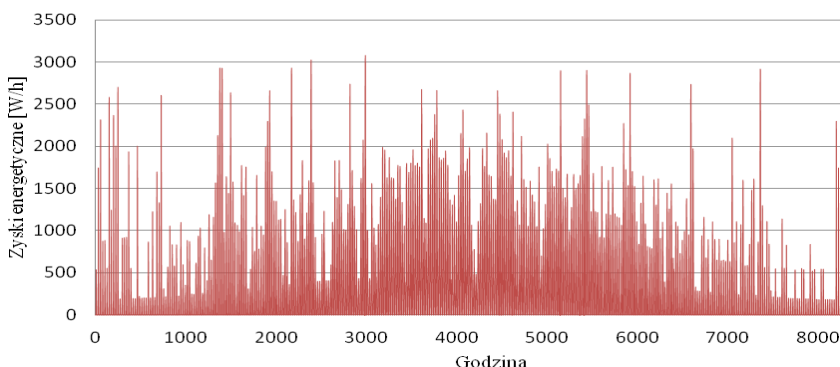
Typ	polikrystaliczne	
Ogniwa	60 sztuk 156x156 mm	
Waga	20 kg	
Wymiary	1640x990x40 mm	
Żywotność	0,9 wyjściowej sprawności po 10 latach 0,8 wyjściowej sprawności po 25 latach	
Współczynniki temperaturowe		
NOCT (°C)	nominalna temperatura pracy	45
NWT (°C)	napięciowy współczynnik temperaturowy	-0,003
PWT (°C)	prądowy współczynnik temperaturowy	0,0004
MWT (°C)	mocowy współczynnik temperaturowy	-0,004
Parametry elektryczne		
Pmax (W)	moc maksymalna	245
Imp (A)	prąd w punkcie mocy maksymalnej	8,19
Vmpp (V)	napięcie w punkcie mocy maksymalnej	29,9
TP (°C)	temperatura pracy	od -40 do +85
MNS (V)	maksymalne napięcie systemowe	1000

Uwzględniając zmianę sprawności modułów w zależności od ich temperatury oraz spadek sprawności w czasie wyznaczono zyski energetyczne na przestrzeni całego roku. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wyniki tych obliczeń. Energia wyprodukowana przez system fotowoltaiczny w czasie całego roku wynosi 2859 kWh.



Rys.1. Dienne zyski energetyczne z instalacji fotowoltaicznej

Fig.1. Energetic gain in the following days of the year

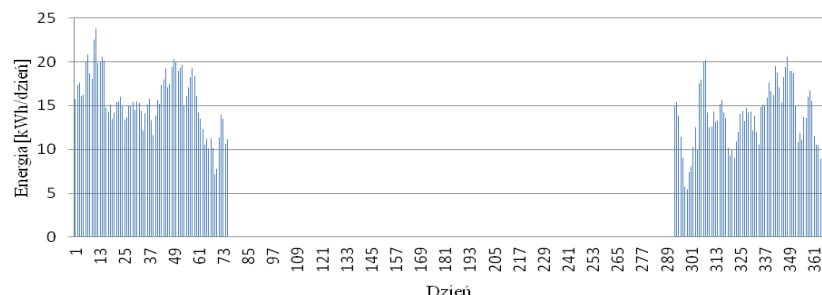


Rys.2. Godzinowe zyski energetyczne z instalacji fotowoltaicznej

Fig.2. Energetic gain in the following hours of the year

4. Zapotrzebowanie energii do zasilania pompy ciepła

Na podstawie rachunków za energię elektryczną określono czas trwania okresu ogrzewczego od 20 października do 15 marca. W kolejnym kroku wyznaczono czas pracy pompy ciepła w kolejnych dniach roku. W tych dniach działa pompa ciepła. Wyznaczając różnicę temperatur między otoczeniem, a wnętrzem budynku w kolejnych godzinach roku oraz znając całkowitą energię pobieraną przez pompę ciepła określono, jaką energię pobiera ona w każdej godzinie swojej pracy. Ponieważ pompa ciepła nie pracuje w trybie ciągłym zsumowano energię przez nią pobieraną i wyznaczono jej czas pracy z mocą znamionową. Na rysunku 3 przedstawiono zapotrzebowanie energii do zasilania pompy ciepła w kolejnych dniach roku. Całkowita energia potrzebna do zasilania pompy ciepła to 2185 kWh/rok.

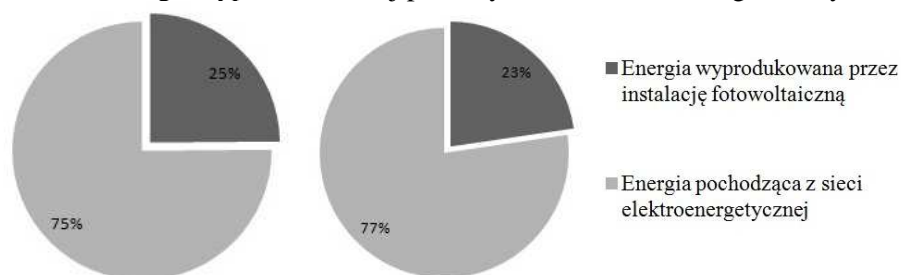


Rys.3. Zapotrzebowanie energii do zasilania pompy ciepła

Fig.3. Energy requirements to operate the heat pump

5. Wykorzystanie energii słonecznej do zasilania pompy ciepła

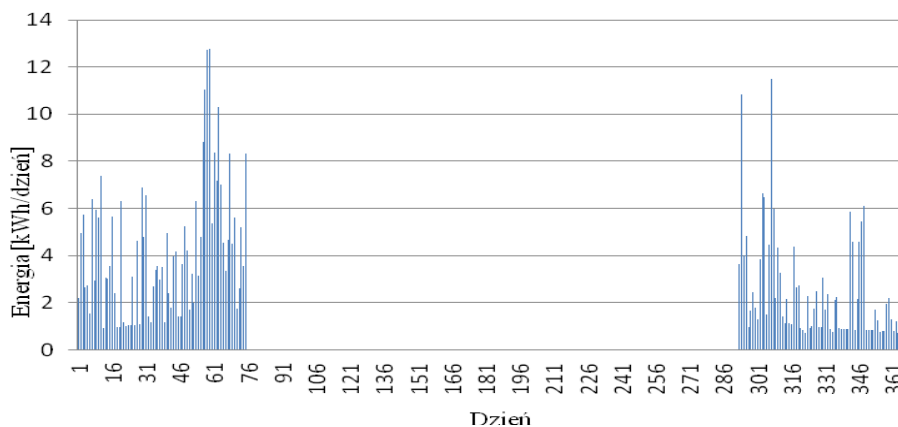
W przypadku instalacji fotowoltaicznej, w której skład wchodzi akumulatory, godziny w jakich pracuje pompa ciepła danego dnia nie mają znaczenia. Cała wytworzona energia może zostać wykorzystana do zasilania pompy ciepła. Jeśli system fotowoltaiczny składa się jedynie z modułów fotowoltaicznych oraz inwerterów rozwiązaniem idealnym jest praca pompy ciepła w godzinach, w których dostępne jest promieniowanie słoneczne i system PV produkuje energię elektryczną. Instalacja fotowoltaiczna w takim przypadku ma największy wpływ na wartości współczynników EK i EP w świadectwie charakterystyki energetycznej danego budynku. W czasie okresu grzewczego instalacja fotowoltaiczna wyprodukuje 559 kWh energii elektrycznej. Jest to energia z instalacji fotowoltaicznej wykorzystana do zasilania pompy ciepła w przypadku, gdy można ją akumulować. Jeśli energia z systemu fotowoltaicznego może być wykorzystywana jedynie na bieżąco, a godziny pracy pompy ciepła dostosowywane są do godzin działania instalacji, to energia jaką można wykorzystać to 495,6 kWh. Jest to 88,6% energii wyprodukowanej przez system PV w okresie grzewczym.



Rys.4. Źródła energii wykorzystywane do zasilania pompy ciepła (instalacja z akumulatorami - po lewej, instalacja bez akumulatorów - po prawej)

Fig.4. Sources of energy used to power the heat pump (pv installation with batteries - on the left , pv installation without batteries - on the right)

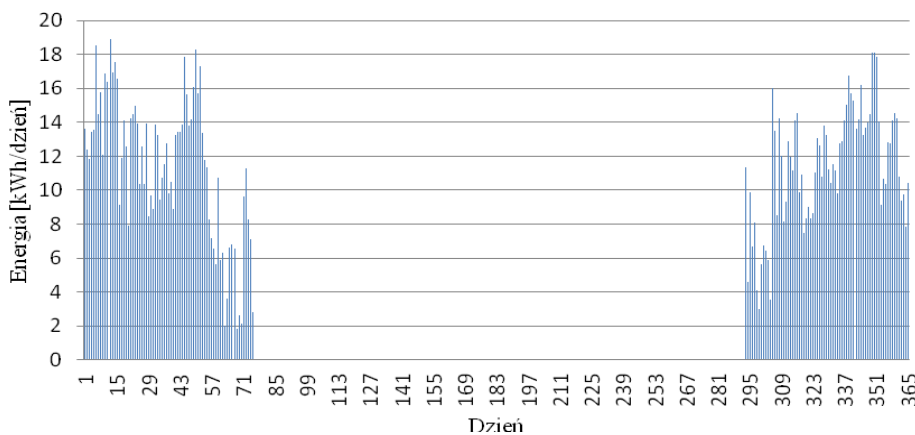
Rysunek 4 pokazuje, jaka część energii niezbędnej do zasilania pompy ciepła jest wyprodukowana przez system fotowoltaiczny (ciemny kolor), a jaka pochodzi z sieci elektroenergetycznej (jasny kolor). Nadmiarowa energia występuje, gdy zyski energetyczne z modułów fotowoltaicznych są większe od zapotrzebowania pompy ciepła na energię i wynosi ona 63,4 kWh w sezonie ogrzewczym.



Rys.5. Energia wyprodukowana przez system fotowoltaiczny w okresie grzewczym

Fig.5. The energy produced by the photovoltaic system during the heating season

Na podstawie wyników obliczeń, przedstawionych na rysunkach 3 i 5, wyznaczono energię, jaka w kolejnych dniach roku zostanie pobrana z sieci elektroenergetycznej do zasilania pompy ciepła, co przedstawia rysunek 6.



Rys.6. Energia pobrana z sieci elektroenergetycznej potrzebna do napędu pompy ciepła

Fig.6. Energy taken from the grid needed to drive the heat pump

6. Wpływ działania instalacji fotowoltaicznej na wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną

Na podstawie wyznaczonych podczas sporządzania charakterystyki energetycznej budynku strat ciepła przez przenikanie i wentylację oraz zysków ciepła, a także zapotrzebowania na energię do przygotowania c.w.u. obliczono roczne zapotrzebowanie na energię końcową i pierwotną do potrzeb cieplnych budynku.

Dla istniejącego budynku nie posiadającego mikroinstalacji fotowoltaicznej roczne zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania wynosi $Q_{K,H} = 2405,46$ kWh/rok. Przyjęto, że wyprodukowana energia nie jest wykorzystywana do przygotowania c.w.u. Wartość $Q_{K,H}$ po uwzględnieniu instalacji fotowoltaicznej spadnie o 559 bądź o 495,6 kWh w zależności od rodzaju systemu i wynosić będzie odpowiednio 1846,46 albo 1909,86 kWh/rok. Energia niezbędna do zasilania urządzeń pomocniczych $E_{el,pom,H}$ jest równa 1233,28 kWh/rok. Na podstawie obliczonych wartości $Q_{K,H}$, $E_{el,pom,H}$ oraz znanej wielkości współczynnika nieodnawialnej energii pierwotnej (równiej 3 dla energii elektrycznej) wyznaczono zapotrzebowanie na energię pierwotną do ogrzewania. Dla budynku bez instalacji fotowoltaicznej wynosi ono 8521,96 kWh/rok. Jeżeli jednak część energii pochodzić będzie z systemu fotowoltaicznego spadnie do poziomu 6772,66 lub 6962,86 kWh/rok w zależności, czy system fotowoltaiczny ma akumulatory czy nie.

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową jest sumą zapotrzebowania na energię do przygotowania c.w.u. oraz na ogrzewanie. Wskaźnik EK dla budynku bez mikroinstalacji fotowoltaicznej jest równy 22,56 kWh/m²rok. Natomiast gdy jest wykorzystywany system fotowoltaiczny o mocy nominalnej 2,7kWp to $EK = 20,11$ lub 20,28 kWh/m²rok.

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną wynosi, dla przypadku, gdy energia zasilająca pompę ciepła pochodzi jedynie z sieci elektroenergetycznej 9846,76kWh/rok. W drugim przypadku $Q_P = 8169,76$ lub 8359,96 kWh/rok. Wskaźniki EP dla odpowiednich przypadków są następujące: $EP = 25,58$ kWh/m²rok dla budynku bez mikroinstalacji fotowoltaicznej, $EP = 21,22$ lub 21,72 kWh/m²rok dla budynku z instalacją fotowoltaiczną.

7. Podsumowanie

Jak wynika z obliczeń wskaźnik zapotrzebowania budynku na energię końcową spadł o zaledwie 2,45 kWh/m²rok, a na energię pierwotną 4,36 kWh/m²rok. Wskaźniki EK i EP uwzględniają w tym przypadku jedynie część energii wyprodukowanej przez instalację fotowoltaiczną. System fotowoltaiczny w ciągu całego roku wyprodukuje 2859,1 kWh energii. Tylko 20% z tej energii wykorzystane jest do zasilania pompy ciepła. Pozostałe ponad 80% nie jest w żaden sposób uwzględniane podczas sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku.

Literatura

- [1] <http://www.dom.pl/budowa-domu-bez-swiadectwa-energetycznego-nowe-przepisy.html> {dostęp 23.05.2016 r.}.
- [2] <http://mib.gov.pl/> {dostęp 23.05.2016 r.}.
- [3] http://fotowoltaika.coral.com.pl/files/20130307161310_MODULY_FOTOWOLTAI_CZNE_VIESSMANN_dt_vitovolt_typ_typ_p245jb_comma__p250jb_comma__p255jb_pl.pdf {dostęp 23.05.2016 r.}.

THE IMPACT OF THE PV INSTALLATION POWERING HEAT PUMP DURING THE HEATING SEASON ON FINAL AND PRIMARY ENERGY DEMAND INDEX OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF A BUILDINGS

Summary

The article analyzes an impact of the PV installation powering a heat pump during a heating season on indexes of final EK and primary EP energy consumption. Those indexes depend on the way of providing energy for space heating and DHW. Based on demand for electricity of the considered building for summer conditions the size of the photovoltaic system has been determined. On the basis of meteorological data presented at the website of the Ministry of Infrastructure and Construction and technical data of PV modules the energetic gain in the following hours of the year were calculated. The duration of the heating season and the amount of energy that must be supplied to the heat pump in the following days of the year to keep the internal temperature constant have been calculated. After taking into account the heat pump output, the estimation of time of its operation in the following days of the year have been made. The share of PV energy and energy from the grid in total energy supplied to drive a heat pump were determined. Two cases of PV system configurations have been considered. The first assumes that all energy produced by PV system can be used to drive the heat pump. This is possible when the photovoltaic system contains batteries. In the second case, the heat pump works when PV system produces energy only. Last paragraph shows the impact of the working PV installation on the EK and EP indexes.

Keywords: energy efficiency of buildings certificate, heat pump, photovoltaic

DOI:10.7862/rb.2016.247

Przesłano do redakcji: 30.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Dorota A. CHWIEDUK¹
Michał W. CHWIEDUK²

WYBRANE ASPEKTY TWORZENIA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU NISKOENERGETYCZNEGO

W artykule przedstawiono wybrane wyniki obliczeń charakterystyki energetycznej budynku niskoenergetycznego zlokalizowanego w okolicach Warszawy. Wybrany do rozważań budynek jest budynkiem jednorodzinny, w którym zastosowano rozwiązania mające na celu zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń i zmniejszenie zużycia energii końcowej oraz pierwotnej do celów grzewczych. Budynek nie wymaga chłodzenia, ze względu na odpowiednią bryłę i strukturę oraz elementy zacieniające. Rozważania odnoszą się do części charakterystyki energetycznej budynku dotyczącej ogrzewania budynku i przedstawiają, jak znacznie mogą różnić się wskaźniki energochłonności w zależności od pochodzenia danych (teoretycznych – standardowych lub rzeczywistych - eksploatacyjnych) wykorzystywanych do wyznaczenia charakterystyki. Niestety obowiązująca metodyka obliczeniowa uniemożliwia uwzględnienie wszystkich rzeczywistych warunków eksploatacyjnych, zwłaszcza tych niekonwencjonalnych, co jest istotą tworzenia budownictwa niskoenergetycznego, a tym bardziej samowystarczalnego. Co więcej również samo wyznaczenie zapotrzebowania na energię użytkową także uniemożliwia uwzględnienie istotnych rozwiązań strukturalno-materiałowych budynku wpływających na rzeczywiste zmniejszenie zapotrzebowania na energię. Wskaźnik całkowitego zużycia energii pierwotnej dla analizowanego budynku, uzyskany na podstawie rzeczywistych danych (łącznie z zapotrzebowaniem na ciepło do c.w.u.) wyniósł 24,9 kWh/(m²rok), natomiast na podstawie danych teoretycznych 48,54 kWh/(m²rok). Oba wyniki wskazują na niskie zużycie energii w budynku, jednak wartości te różnią się dwukrotnie, chociaż dotyczą tego samego budynku. Zaleca się więc w przypadku budynków niskoenergetycznych wykorzystywania rzeczywistych danych eksploatacyjnych budynku.

Słowa kluczowe: budownictwo niskoenergetyczne, certyfikacja energetyczna budynków, charakterystyka energetyczna budynku, budownictwo energooszczędne, odnawialne źródła energii

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Dorota Anna Chwieduk, Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Ciepłej, Zakład Chłodnictwa i Energetyki Budynku, ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa; tel. 22 234 52 27; dchwied@itc.pw.edu.pl

² Michał Witold Chwieduk, Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Ciepłej, Zakład Chłodnictwa i Energetyki Budynku, ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa; mchwied@itc.pw.edu.pl

1. Wprowadzenie

W krajach Unii Europejskiej sektor budownictwa cechuje wysoka energochłonność. Komisja Europejska podjęła szereg działań na rzecz ograniczenia zużycia energii w budynkach. W 2002 roku weszła w życie Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [1], która zobowiązała państwa UE do wprowadzenia certyfikacji energetycznej budynków. W Polsce świadectwa charakterystyki energetycznej budynków zostały wprowadzone z dniem 1 stycznia 2009 roku. Metodyka sporządzania charakterystyki została określona w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [2] w 2008 r., a następnie zmieniona Rozporządzeniem [3] z 2015 roku. Zmiana ta była konsekwencją nowelizacji Dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków z 2010 roku [4], która zobowiązała kraje UE do realizacji budynków blisko-zero-energetycznych.

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie wybranych aspektów wyznaczenia, zgodnie z obecnie obowiązującymi zasadami, charakterystyki energetycznej budynku niskoenergetycznego wykorzystującego odnawialne źródła energii.

2. Charakterystyka ogólna budynku i jego instalacji

Budynek poddany ocenie energetycznej, zlokalizowany pod Warszawą, jest pokazany na rys. 1. Posiada on dwie kondygnacje użytkowe: parter i piętro oraz nieużytkowe poddasze. Budynek ma prostą zwartą bryłę, główna fasada przeszklona jest od strony południowej. Budynek jest rozciągnięty wzdłuż osi wschód – zachód na długości 17 metrów, a wzdłuż osi południe – północ 11 metrów. Od północy znajdują się pomieszczenia nieogrzewane - zimne: garaż, „kotłownia”, spiżarnia oraz pomieszczenie gospodarcze. Od południa znajduje się przeszklona „słoneczna” przestrzeń buforowa, wbudowana w budynek, której przeszklenie wraz z pozostałymi oknami stanowi około 70% powierzchni południowej fasady. Wbudowana przeszklona przestrzeń buforowa jest bardzo istotnym elementem nowoczesnych rozwiązań budownictwa słonecznego niskoenergetycznego [5]. Powierzchnia ogrzewana budynku wynosi 360 m².

Ściany zewnętrzne budynku zostały wykonane z pustaka ceramicznego o grubości 25 cm, są izolowane wełną mineralną o grubości 20 lub 25 cm, i pokryte tynkiem mineralnym. Współczynnik przenikania ścian zewnętrznych wynosi 0,14 W/(m²K). Dach jest dwuspadowy o konstrukcji drewnianej, połaciach zorientowanych na północ i południe, pochylonych pod kątem 38°, pokryty dachówką cementową. W budynku zastosowano stropy ceramiczne (Teriva) o grubość 26,5 cm. Na poddaszu są one izolowane wełną mineralną o grubości 25 cm na paroizolacji, ich współczynnik przenikania ciepła wynosi 0,19 W/(m²K). Podłoga na gruncie jest izolowana, współczynnik przenikania to 0,21 W/(m²K). Natomiast współczynnik przenikania okien wynosi 1,40 W/(m²K).



Rys.1. Rozważany niskoenergetyczny budynek jednorodzinny k/Warszawy

Fig. 1. Considered low-energy single family building located near Warsaw

Należy wspomnieć, że koncepcja architektoniczno – budowlana budynku została szczegółowo opracowana przez autorkę artykułu, a projekt wykonawczy powstał w wyniku jej współpracy z architektem. Koncepcja ta nie jest przedmiotem rozważań w tym artykule. Stosowanie obowiązującej metody obliczenia charakterystyki energetycznej budynku uniemożliwia uwzględnienie wszystkich niekonwencjonalnych rozwiązań koncepcji architektonicznej budynku, oraz rozwiązań strukturalnych i materiałowych. W tym przypadku dotyczy to przede wszystkim koncepcji słonecznej przeszklonej przestrzeni buforowej wbudowanej w budynek, oraz zastosowania materiałów zmienno-fazowych PCM wkomponowanych w materiał budowlany przegród nieprzezroczystych ograniczających przestrzeń buforową.

Do podstawowych rozwiązań instalacyjnych budynku należą:

- grzewcza instalacja kolektorów słonecznych typu kombi (c.w.u. + ogrzewanie pomieszczeń) współpracująca z pompą ciepła, kolektory słoneczne o powierzchni czynnej $10,92 \text{ m}^2$ zintegrowane z połacią dachu, system słoneczny działa cały rok, od kwietnia do października spełnia 85–100% potrzeb c.w.u.;
- zasobnik ciepła buforowy - pojemność 700 l, zasilany ciepłem z pompy ciepła i kolektorów, zasobnik ciepłej wody użytkowej – pojemność 150 l;
- gruntowa pompa ciepła – podstawowe źródło ciepła o mocy grzewczej 8,2 kW z gruntowym wymiennikiem ciepła – 4 odwierty pionowe o głębokości 50m każdy; pompa ciepła nie działa poza sezonem grzewczym;
- wentylacja nawiewno–wywiewna z rekuperatorem ciepła o zmiennej wydajności 300 - 900 $\text{m}^3/\text{godz.}$, o efektywności odzysku ciepła z powietrza wywiewanego na poziomie 70%, instalacja jest wykorzystywana w sezonie grzewczym;
- instalacja niskotemperaturowego wodnego ogrzewania podłogowego.

W budynku jest także kominek z zamkniętą komorą spalania z doprowadzeniem powietrza z zewnątrz do paleniska, który jest dodatkowym źródłem ciepła służącym do ogrzewania pomieszczeń (nie został on uwzględniany w obliczeniach). Dodatkowym źródłem ciepła wynikającym z odpowiedniego wykorzystania zysków z promieniowania słonecznego jest „przeszkłona wbudowana przestrzeń buforowa”, z otwieranymi przeszkleniami – oknami. Przestrzeń ta jest co prawda uwzględniona w obliczeniach charakterystyki, ale obowiązująca metodyka obliczeń uniemożliwia wyznaczenie rzeczywistych zysków ciepła. Przede wszystkim w przypadku stosowania takiej przestrzeni konieczne jest prowadzenie rozważań odnośnie do procesów wymiany ciepła z krokiem godzinnym, a nie uśrednionym do jednego dnia, czy miesiąca, a taka metoda obowiązuje. Co więcej idea stosowania przestrzeni buforowej wbudowanej w budynek polega na wprowadzeniu do wewnętrznej użytkowej części budynku przestrzeni, która jest ograniczona przegrodami przezroczystymi (tutaj z trzech stron), co oznacza stosowanie dwóch dwuszybowych okien w odniesieniu do głównej części mieszkalnej budynku (przestrzeń buforowa jest wykorzystywana, głównie w porach przejściowych, ale nie tylko). Stosowanie takiego rozwiązania ma miejsce wtedy, gdy zachodzi konieczność ograniczenia strat ciepła z budynku (zimną), jak i zmniejszenia dostępu promieniowania słonecznego (latem), dzięki zmniejszeniu transmisyjności dla promieniowania słonecznego. W przypadku rozważanej przestrzeni część przeszkleń zewnętrznych i wszystkie wewnętrzne są otwierane. Jeżeli wykorzystanie zysków słonecznych jest ważne w celu zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, wtedy wewnętrzny układ przeszkleń jest (powinien być) otwarty. Z kolei otwieranie zewnętrznej części chroni przed nadmiarem zysków słonecznych. Niestety metodyka wyznaczania charakterystyki nie uwzględnia możliwości zmiany parametrów cieplnych i optycznych obudowy w czasie, a w konsekwencji zmiany w czasie współczynników strat cieplnych i zysków, co coraz częściej charakteryzuje budownictwo niskoenergetycznego.

3. Zapotrzebowanie na ciepło do celów ogrzewczych

W tej części zestawiono wyniki obliczeń współczynników przenikania ciepła dla kolejnych przegród ocenianego budynku (tabela 1), strat wentylacyjnych i zysków ciepła. Następnie przedstawiono miesięczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania pomieszczeń. Całkowity współczynnik strat ciepła przez przenikanie wyniósł 220,15 W/K. Natomiast współczynnika strat ciepła w przypadku wentylacji nawiewno-wywiewnej z rekuperacją wyniósł 29,55 W/K. Gdyby zastosowano wentylację grawitacyjną współczynnik ten wyniósłby 98,5 W/K. Przy obliczaniu współczynników wentylacyjnych uwzględniono strumienie powietrza wymagane ze względów higienicznych oraz dostające się do pomieszczeń na skutek infiltracji (brak próby szczelności). Wewnętrzne zyski ciepła są stałe w czasie i wynoszą 27,7 kWh/dzień. Powierzchnie okien i ich orientacja wzglę-

dem stron świata są podane w tabeli 1. Tabela 2 zawiera miesięczne zyski słoneczne, współczynnik wykorzystania tych zysków i liczbę godzin sezonu grzewczego.

Tabela 1. Współczynnik przenikania ciepła i powierzchnie przegród obudowy

Table 1. Heat transfer coefficients and surfaces of partitions of envelope

Rodzaj przegrody	U [W/(m ² K)]	A S/N/W/E [m ²]
ściany zewnętrzne – konstrukcyjne	0,14	21,28/0/55,6/51,3
strop nad pierwszym piętrzem (pod poddaszem nieogrzewanym)	0,12	126,7
ściana oddzielająca garaż od części ogrzewanej	0,25	0/24,87/0/0
ściana oddzielająca spiżarnię oraz pomieszczenie gospodarcze od części ogrzewanej	0,28	0/19,13/0/0
ściana oddzielająca „kotłownię” od części ogrzewanej	1,15	0/22,25/0/0
dach – obliczenia metodą kresu górnego i dolnego	0,19	35,89/51,70/
podłoga na gruncie (wartość ekwiwalentna)	0,17	189,42
stolarka okienna	1,2/1,4	42,8+4,4*0+2,1*/ 8,4/18,32

Uwaga. W Tabeli nie uwzględniono przegród zewnętrznych pomieszczeń nieogrzewanych i mostków cieplnych (w obliczeniach tak)

Tabela 2. Sumaryczne zyski słoneczne Q_s [kWh/miesiąc], współczynnik wykorzystania zysków słonecznych $f_{H,m}$, liczba godzin grzewczych t_M w kolejnych miesiącach rokuTable 2. Summary solar gains Q_s [kWh/month], utilization of solar energy gains factor $f_{H,m}$, number of heating hours t_M in subsequent months

Msc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_s	1386	1522	2738	3508	4655	4818	4963	4493	3094	1980	968	809
$f_{H,m}$	1	1	0,14	-	-	-	-	-	-	0,11	1	1
t_M	744	672	105,6	-	-	-	-	-	-	83,1	720	744

Dość istotnym parametrem budynku, choć ciągle niedocenianym, jest stała czasowa. Jest ona miernikiem jakości energetycznej budynku, będąc zależna od jego izolacyjności cieplnej (oporności cieplnej), efektywności systemu wentylacji (w tym przypadku z rekuperacją ciepła), a także pojemności cieplnej ($C_m = 178045$ kJ/K). Stała ta wynosi 196 godzin, jest bardzo wysoka i świadczy o wysokiej jakości cieplnej budynku, czyli małym zapotrzebowaniu na ciepło do c.o.

W Tabeli 3 zestawiono sumaryczne miesięczne straty ciepła przez przenikanie i wentylację (z rekuperacją) i zyski ciepła wewnętrzne oraz z promieniowania słonecznego. Po wyznaczeniu współczynników efektywności wykorzystania zysków ciepła obliczono zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania.

Jak można zauważyć zapotrzebowanie na moc grzewczą w marcu i październiku jest na minimalnym poziomie. System ogrzewania praktycznie nie pracuje w tym czasie, co rzeczywiście potwierdza eksploatacja systemu ogrzew-

czego. Sezon ogrzewczy trwa nieco ponad cztery miesiące. Roczne zapotrzebowanie ciepła użytkowego dla budynku ocenianego wynosi 5671,22 kWh. Gdyby w rozważanym budynku nie było wentylacji z rekuperacją wtedy roczne zapotrzebowanie na ciepło wynosiłoby aż 9972,06 kWh.

Tabela 3 Miesięczne sumaryczne straty ciepła przez przenikanie i wentylację dla budynku $Q_{H,ht}$, sumaryczne zyski ciepła $Q_{H,gn}$, zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania $Q_{H,nd,n}$

Table 3. The monthly summary heat losses by transmission and ventilation for the building $Q_{H,ht}$, summary heat losses $Q_{H,gn}$, heat demand for heating $Q_{H,nd,n}$

	I	II	III	IV	V	VI
$Q_{H,ht}$	3827	3406	2787	2355	1338	413
$Q_{H,gn}$	2245	2298	3598	4339	5515	5650
$Q_{H,nd,n}$	1582	1111	17	-	-	-
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{H,ht}$	37	520	1186	2081	2966	3455
$Q_{H,gn}$	5822	5353	3926	2839	1800	1668
$Q_{H,nd,n}$	-	-	-	6,8	1167	1787

4. Zapotrzebowanie na energię końcową i pierwotną do celów ogrzewczych

Aby wyznaczyć zapotrzebowanie na energię końcową do celów ogrzewczych należy określić średnią sezonową sprawność całkowitą systemu ogrzewania, na którą składają się średnie sezonowe sprawności: wytwarzania ciepła z energii dostarczanej do źródła ciepła, regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej, przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej oraz sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewczego.

Wartość średniej sezonowej sprawności wytwarzania ciepła przyjmuje się w oparciu o dane zamieszczone w odpowiedniej tabeli w Rozporządzeniu [3] lub dane udostępnione przez producenta lub dostawcę źródła ciepła, jeśli w budynku są przeprowadzone kontrole okresowe, polegające na sprawdzeniu ich stanu technicznego. W przypadku stosowania sprężarkowej (napędzanej elektrycznie) pompy ciepła typu glikol/woda (parametry obiegu ogrzewczego 35/28°C), wg odpowiedniej tabeli wspomnianej sprawność (tak naprawdę efektywność) należałoby przyjąć jako równą 4. Jednakże dzięki posiadaniu danych z kontroli okresowej można ją przyjąć jako równą 4,9, a to istotna różnica.

W rozważanym budynku zastosowano ogrzewanie wodne podłogowe z regulacją centralną i miejscową z regulatorem proporcjonalnym. Na podstawie odpowiedniej tabeli z Rozporządzenia [3] przyjęto średnią sezonową sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej równą 0,89.

Przy wyznaczaniu średniej sezonowej sprawności przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej określa się sezonowe straty ciepła w systemie

ogrzewczym w wyniku niedoskonałej regulacji i przekazywania ciepła, i w rozważanym przypadku wynoszą one 700,94 kWh/rok. Następnie wyznacza się sezonowe straty ciepła w instalacji przesyłu ciepła. Uwzględnia się rzeczywistą długość kolejnych odcinków instalacji przesyłu ciepła i dodatek do długości ze względu na straty ciepła zainstalowanej armatury, oraz przyjmuje się wartości jednostkowej straty ciepła kolejnych odcinków instalacji przesyłu ciepła na podstawie danych stabelaryzowanych [3]. W rozważanym przypadku w przestrzeni nieogrzewanej zastępcza długość instalacji przesyłu równa się 4,5 m, a jednostkowe straty ciepła odpowiadają 2,1 W/m. Natomiast w przestrzeni ogrzewanej zastępcza długość instalacji przesyłu wynosi 11,5 m, a straty jednostkowe 1,1 W/m. Biorąc pod uwagę czas trwania sezonu ogrzewczego - 3000 godz., całkowite sezonowe straty ciepła w instalacji przesyłu ciepła wynoszą zaledwie 66,3 kWh/rok. Ostatecznie obliczona średnia sezonowa sprawności przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej budynku wynosi 0,99. Gdyby nie było danych do obliczeń wtedy wg danych tabelarycznych [3] średnia sezonowa sprawności przesyłu ciepła wynosiłaby 0,96.

W celu określenia średniej sezonowej sprawności akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania należy wyznaczyć sezonowe straty ciepła w elementach pojemnościowych tego systemu i uwzględnić czas pracy instalacji ogrzewania. W rozważanym przypadku pojemność zasobnika ciepła wynosi 700 litrów i jest on zlokalizowany w nieogrzewanej przestrzeni. Jednostkowa strata ciepła zasobnika ciepła przyjęta na podstawie odpowiedniej tabeli [3] wynosi 0,2 W/dm³. Natomiast czas pracy instalacji ogrzewania wynosi 3000 godz. W konsekwencji sezonowe straty ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania wynoszą 420 kWh/rok, a odpowiadająca im średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła odpowiada 0,94. W przypadku braku danych do obliczeń przyjęta wartość średniej sezonowej sprawności akumulacji ciepła wg odpowiedniej tabeli [3] wynosiłaby 0,93.

Uwzględniając wszystkie składowe sprawności/efektywności średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewczego wynosi 4,06. W konsekwencji roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku dla systemu ogrzewania wynosi 1396,85 kWh/rok. Biorąc pod uwagę dane teoretyczne stabelaryzowane w Rozporządzeniu [3] zapotrzebowanie to wynosiłoby 2405,46 kWh/rok, co jest 1,8 razy większe od rzeczywistego zużycia, co stanowi istotną różnicę w energochłonności instalacji ogrzewczej danego budynku.

Kolejne istotne różnice pomiędzy teoretycznym a rzeczywistym zużyciem energii występują przy wyznaczaniu zapotrzebowania na moc elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych w systemach technicznych oraz czasu działania urządzeń pomocniczych w systemach technicznych w ciągu roku. W rozważanym budynku system ogrzewania działa okresowo i czas działania urządzeń pomocniczych przyjęto na podstawie rzeczywistego sposobu ich działania. W systemie ogrzewania z grzejnikami podłogowymi pracuje jedna pompa obiegowa o mocy 60 W przez 3000 godzin w ciągu. W konsekwencji roczne zapotrzebo-

wanie na energię końcową dostarczaną do tej pompy wynosi 180 kWh/rok. Pompa ładująca zasobnik ciepła w systemie ogrzewania ma również moc 60 W, ale pracuje przez 1600 godzin w roku, jej roczne zapotrzebowanie na energię końcową wynosi 96 kWh/rok. Pompa obiegowa w obiegu dolnego źródła ciepła pompy ciepła ma taką samą moc i pracuje przez taki sam czas, w konsekwencji energia końcowa wynosi również 96 kWh/rok. Ostatecznie roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do wymienionych urządzeń pomocniczych wynosi zaledwie 372 kWh/rok. Gdyby nie był znany rzeczywisty sposób działania instalacji wtedy na podstawie danych odczytanych z odpowiednich tabel [3] energia końcowa do napędu urządzeń pomocniczych w systemie ogrzewania wynosiłaby 1682,1 kWh/rok, czyli byłaby aż cztery i pół razy większa. Sytuacja taka wynika z tego, iż korzystając z danych z Rozporządzenia czas działania niektórych urządzeń pomocniczych w systemach technicznych jest inny niż ten znany z rzeczywistej pracy tych urządzeń. Jest on zdecydowanie większy w przypadku pompy obiegowej instalacji ogrzewania podłogowego. Należy go bowiem przyjąć jako równy 6700 godzin, podczas gdy w rzeczywistości wynosi 3000 godzin. Natomiast w dolnym obiegu pompy ciepła czas pracy pompy obiegowej jest taki sam, a pompa ładująca zasobnik ciepła pracuje przez 1500 godzin. Podstawowa różnica wynika z konieczności stosowania wartości mocy pomp obiegowych w odniesieniu do powierzchni ogrzewanych pomieszczeń, która wynosi dla pomp obiegowych w systemie ogrzewania z grzejnikami podłogowymi $0,5 \text{ W/m}^2$ (przy wspomnianym czasie pracy równym 6700 h/rok), dla pompy ładującej zasobnik ciepła $0,2 \text{ W/m}^2$ (czas pracy 1500 h/rok), dla napędu pomocniczego pompy ciepła glikol/woda $0,45 \text{ W/m}^2$ (czas pracy 1600 h/rok).

W powyższych rozważaniach nie uwzględniono energii pomocniczej wymaganej do napędu urządzeń pomocniczych systemu wentylacji mechanicznej z rekuperacją, co niestety znacznie zmienia poziom zużycia energii pomocniczej. W rozważanym budynku w obiegu systemu rekuperacji pracują dwa wentylatory o mocy 250 W każdy. Ich teoretyczny czas pracy wynosi 3000 godzin. W rzeczywistości jest on mniejszy i wynosi 1500 godzin, bowiem instalacja nie pracuje w ciągu dnia przez 8 godzin (brak mieszkańców w domu) i przez 4 godziny w nocy. Energia elektryczna wymagana do napędu wynosi 780 kWh (przy 3000 godzinach pracy byłoby to 1560 kWh). Gdyby skorzystać z danych tabelaryzowanych wtedy należy przyjąć zapotrzebowanie mocy elektrycznej do napędu każdego z wentylatorów na poziomie $0,6 \text{ W/m}^2$ (powierzchni ogrzewanej i czas pracy równy 3000 godzin. Energia do napędu urządzeń pomocniczych – wentylatorów wynosiłaby wtedy 1296 kWh.

Ostatecznie roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku dla systemów ogrzewania wraz z zapotrzebowaniem na energię końcową urządzeń pomocniczych, w tym wentylatorów instalacji wentylacji wymuszonej z rekuperacją, wynosi: $1396,85 + 372 + 780 = 2548,85 \text{ kWh/rok}$. Gdyby wziąć pod uwagę wszystkie dane teoretyczne, wtedy zapotrzebowanie na ener-

gię końcową dla tego samego systemu ogrzewania rozważanego budynku wynosiłoby: $2405,46 + 1682,1 + 1296 = 5383,56$ kWh/rok. Co jest ponad dwukrotnie wyższą wartością. Pomimo to, wskaźnik zużycia energii końcowej (w odniesieniu do ogrzewanej powierzchni) jest na bardzo niskim poziomie i wynosi odpowiednio dla danych rzeczywistych $7,08$ kWh/(m²rok) i dla danych teoretycznych $14,95$ kWh/(m²rok). Gdyby nie zastosowano wentylacji wymuszonej z rekuperacją wtedy zużycie energii pomocniczej wynosiłoby 372 kWh/rok wg danych rzeczywistych i $1682,1$ kWh/rok wg danych teoretycznych. Natomiast wskaźniki energochłonności wynosiłyby $7,85$ kWh/(m²rok) i $16,42$ kWh/(m²rok).

Z kolei roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych ogrzewania pomieszczeń, biorąc pod uwagę współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla energii elektrycznej równy 3 , wynosi odpowiednio $7646,55$ kWh dla danych rzeczywistych i $16150,68$ kWh dla teoretycznych, co daje wskaźniki zużycia energii pierwotnej odpowiednio $21,24$ kWh/(m²rok) i $44,86$ kWh/(m²rok). Przy braku systemu wentylacji z rekuperacją wskaźniki te byłyby równe $23,55$ kWh/(m²rok) oraz $49,26$ kWh/(m²rok).

5. Podsumowanie

Uwzględniając roczne zapotrzebowanie budynku na energię pierwotną do podgrzewania c.w.u. (nie rozważane w tym artykule) równe $1324,79$ kWh/rok, wskaźniki całkowitego zużycia energii pierwotnej będą równe odpowiednio $24,9$ kWh/(m²rok) i $48,54$ kWh/(m²rok). Pierwszy wskaźnik wyraźnie wskazuje na budynek niskoenergetyczny, drugi na budynek o zmniejszonym zapotrzebowaniu na energię, ale nie tak „dobry energetycznie”, jak ten pierwszy. Jest to wyraźna różnica klasy energetycznej budynku. Co oczywiście nie jest prawdą, bowiem oba wskaźniki dotyczą tego samego budynku, a różnice wynikają z różnych danych przyjętych do wyznaczenia wskaźników energochłonności.

Wartość zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych ogrzewania pomieszczeń obliczone wg danych z Rozporządzenia w analizowanym budynku to $44,86$ kWh/(m²rok). Wartość obliczona w analogiczny sposób dla obiektu z wentylacją grawitacyjną wyniesie $49,26$ kWh/(m²rok). W związku z tym mogłoby wynikać, że stosowanie wentylacji z rekuperacją daje nieznaczne zmniejszenie energochłonności. Taki wniosek wynika przede wszystkim z wysokich wartości zapotrzebowania na energię pomocniczą do napędu wentylatorów, przy wykorzystaniu danych podanych w Rozporządzeniu. Dodatkowym czynnikiem, którego efektem są otrzymane wartości jest bardzo wysoka efektywność działania pompy ciepła, a w rezultacie średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewczego równa $4,06$. W przypadku innych źródeł ciepła korzyści ze stosowania rekuperacji będą bardziej wyraźne.

Rozważając przeprowadzone obliczenia można stwierdzić, iż w przypadku budynków niskoenergetycznych należy wykorzystywać rzeczywiste dane eksploatacyjne systemów energetycznych budynku przy tworzeniu jego charakterystyki

energetycznej. Jednocześnie stosowana metodyka nie odzwierciedla w odpowiedni sposób jakości energetycznej budynków niskoenergetycznych. Rozważany budynek wykorzystuje energię odnawialną dla potrzeb cieplnych, a energia elektryczna (napędowa) pochodzi z tradycyjnych nieodnawialnych źródeł. Gdyby można było wykorzystać energię odnawialną do wytwarzania energii elektrycznej wskaźniki energochłonności powinny ulec dalszemu zmniejszeniu.

Literatura

- [1] Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej. (Dz.U. 2008 nr 201 poz. 1240).
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376).
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [5] Chwieduk D, Energetyka Słoneczna Budynku. Arkady, Warszawa, 2011.

SOME ASPECTS OF DETERMINATION THE ENERGY CHARACTERISTICS OF LOW ENERGY BUILDINGS

Summary

The article presents selected results of calculations the energy performance of low energy building located near Warsaw. In the selected building solutions aimed at reducing the energy needs for space heating and demand for final and primary energy consumption are introduced. Considerations apply to the part of the energy performance characteristic of the building connected with space heating only. Results show, how much may the indices of energy consumption depend on the origin of the data (theoretical - standard or real – in-situ) used to determine the characteristics. Unfortunately actual methodology of calculation makes it impossible to cover all real operating conditions, especially these unconventional, what is the essence of creating low-energy buildings, and the more self-sufficient ones. Moreover, the determination of the demand for usable energy also makes it impossible to take into account relevant solutions of structure and materials used in a building. Total primary energy consumption for the building, obtained based on actual data (including domestic hot water demand) is 24.9 kWh/(m²year), and on the basis of theoretical data-48.54 kWh/(m²year). Both results indicate a low energy consumption in the building, but these values differ twice. It is therefore recommended in a case of a low energy building to use actual in-situ data of the building.

Keywords: Low-energy buildings, energy certification of buildings, energy performance of the building, energy efficiency in buildings, renewable energy sources

DOI:10.7862/rb.2016.248

Przesłano do redakcji: 31.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Krystian CIEŚLAK¹
Alain FAVE²
Mustapha LEMITI³

WPŁYW TYLNEGO LUSTRA DIELEKTRYCZNEGO NA DZIAŁANIE KRZEMOWYCH, CIENKOWARSTWOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH OTRZYMANÝCH METODĄ EPITAKSJI Z FAZY GAZOWEJ

Metoda epitaksji z fazy gazowej została użyta do wytworzenia krzemowych, cienkowarstwowych ogniw słonecznych. Emiter wyprodukowanych ogniw fotowoltaicznych był typu p i znajdował się po tylnej stronie ogniwa, a absorberem był krzem typu n. W celu obniżenia kosztów produkcji aktywnej warstwy, został użyty dwuwarstwowy krzem porowaty wytworzony na krzemie monokrystalicznym. Krzem porowaty składał się z warstwy o wysokim stopniu porowatości oraz warstwy o niskim stopniu porowatości, obecnej na powierzchni. Takie rozwiązanie pozwala na wzrost monokrystalicznej warstwy o wysokiej jakości oraz na odzyskanie jej od podłoża wzrostowego i ponowne jego użycie w kolejnym procesie wzrostu epitaksjalnego. Dodatkowo w celu zwiększenia odpowiedzi ogniw słonecznych na fale elektromagnetyczne w zakresie 700 nm – 1200 nm, zostało opracowane i naniesione lustro dielektryczne składające się z warstwy SiNx/SiOx lub pojedynczej warstwy SiNx. Warstwa aktywna wraz z naniesionym lustrem była podda badaniu na współczynnik odbicia światła o długości fali z w/w zakresu. W celach porównawczych zostały zbadane próbki z dwoma różnymi lustrami oraz próbka referencyjna bez lustra. Badania wykazały, że zastosowane lustro dielektryczne spełnia swoje zadanie i zwiększa współczynnik odbicia światła o ponad 70%. Oznacza to, że zastosowanie w/w lustra dielektrycznego będzie miało pozytywny wpływ na współczynnik absorpcji światła w ogniwie fotowoltaicznym, co będzie się bezpośrednio przekładało na jego parametry elektryczne.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, krzem porowaty, krzem cienkowarstwowy, właściwości optyczne

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Krystian Cieślak, Politechnika Lubelska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B 20-618 Lublin; k.cieslak@pollub.pl

² Alain FAVE, Université de Lyon, Institut des Nanotechnologies de Lyon INL - UMR5270, CNRS, Ecole Centrale de Lyon, INSA Lyon, Villeurbanne, F-69621, France

³ Mustapha LEMITI, Université de Lyon, France

1. Wprowadzenie

Dzisiejszy Świat staje przed dużym wyzwaniem związanym z utrzymaniem stabilności energetycznej. Wciąż zwiększające się zapotrzebowanie na energię elektryczną powoduje, że zasoby naturalne paliw kopalnych kurczą się w wysokim tempie, dlatego inwestycja w rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) wydaje się być dobrym rozwiązaniem. Takie podejście pozwala na dywersyfikację źródeł energii, co jest ważne z punktu widzenia bezpieczeństwa energetycznego, ale również jest to podejście proekologiczne – większość technologii OZE są to technologie bez emisyjne.

Jedną z alternatywnych metod pozyskiwania energii elektrycznej jest fotowoltaika – nauka badająca bezpośrednią konwersję energii promieniowania słonecznego na elektryczność. Biorąc pod uwagę, że ilość energii docierającej ze Słońca do powierzchni Ziemi przewyższa 10 000 razy zapotrzebowanie energetyczne świata [1] oraz, że z punktu widzenia ludzkości Słońce jest nieskończonym źródłem energii, ogniwa fotowoltaiczne stają się obiecującym odnawialnym, bez emisyjnym źródłem energii.

Rozwój technologii fotowoltaicznych jest bardzo dynamiczny [2] i podyktowany chęcią obniżenia kosztów wytworzenia energii elektrycznej z ogniw słonecznych. Można to osiągnąć na dwa sposoby: zwiększając wydajność baterii słonecznych, albo zmniejszając koszt ich produkcji. Ogniwa cienkowarstwowe wpisują się w ten drugi trend – poprzez zmniejszenie ilości materiału potrzebnego do wyprodukowania ogniwa słonecznego, maleje jego koszt produkcji. Oczywiście ma to swoje wady, krzem, jako najbardziej rozpowszechniony materiał w produkcji ogniw ma niski współczynnik absorpcji związany z ukośną przerwą energetyczną [3]. Oznacza to, że żeby efektywnie generować nośniki prądu, krzem potrzebuje większej grubości niż półprzewodniki z prostą przerwą energetyczną. Cienkowarstwowe ogniwa krzemowe mają grubość od kilku nanometrów do kilkudziesięciu mikrometrów, powoduje to, że przy projektowaniu należy wziąć pod uwagę zwiększanie drogi optycznej światła w warstwie aktywnej [4]. Można to osiągnąć przez teksturyzację powierzchni przedniej/tylnej ogniwa i/lub wytworzenie lustra na tylnej powierzchni odbijającego niskoenergetyczne fotony [5]. Taka modyfikacja pozwala na absorpcję fotonów, które w przeciwnym razie przeszłyby przez ogniwo bez interakcji [6].

Niniejszy artykuł prezentuje badania odbicia światła z zakresu 700 nm – 1200 nm od tylnej strony cienkowarstwowych, krzemowych ogniw słonecznych z dwoma rodzajami dielektrycznego lustra. Dla porównania zostały również przeprowadzone pomiary odbicia światła z w/w zakresu dla próbki bez lustro.

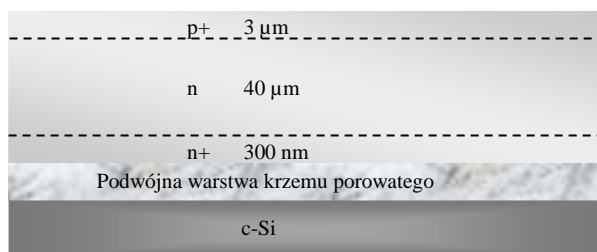
2. Opis procedury badawczej

2.1. Metody otrzymywania krzemowych, cienkowarstwowych ogniw słonecznych

Epitaksja z fazy gazowej (Vapor Phase Epitaxy – VPE) została wybrana jako metoda nanoszenia aktywnej warstwy krzemowej [7]. Jako podłoże wzrostowe został użyty krzem monokrystaliczny o orientacji krystalograficznej (100) z podwójną warstwą krzemu porowatego. Krzem o 20% porowatości obecny na powierzchni podłoża wzrostowego pod wpływem temperatury na poziomie 1100°C przed wzrostem epitaksjalnym, ulega restrukturyzacji i tworzy kilku nanometrową, monokrystaliczną warstwę na powierzchni podłoża. Umożliwia to wzrost aktywnej, krzemowej warstwy o parametrach krzemu monokrystalicznego. W tym samym czasie krzem o wysokiej porowatości (75%) pod wpływem wysokiej temperatury ulega degradacji, co w późniejszym procesie umożliwia odłączenie naniesionej warstwy od podłoża wzrostowego [8]. Po odpowiedniej procedurze czyszczenia, podłoże wzrostowe może być wykorzystane w kolejnej epitaksji.

W trakcie wzrostu epitaksjalnego zostały naniesione następujące warstwy (Rys. 1):

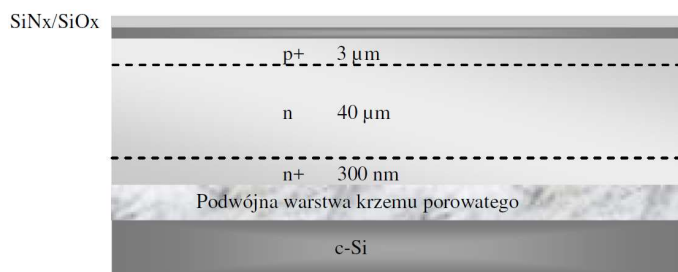
- 300 nm krzemu n+, domieszkowanego fosforem, pełniącego rolę *front surface field* (FSF),
- 40 μm krzemu typu n, domieszkowanego fosforem – pełniącego rolę bazy,
- 3 μm krzemu typu p+, domieszkowanego borem – pełniącego rolę emitera.



Rys. 1. Struktura aktywnej warstwy po procesie epitaksji

Fig. 1. The structure of an active layer after the epitaxy process

Aby zwiększyć drogę optyczną w cienkowarstwowym ogniwie słonecznym, korzystając z symulacji przeprowadzonych za pomocą oprogramowania IMD [9] zostało opracowane lustro dielektryczne z kombinacji dwóch materiałów – SiN_x oraz SiO_x [10, 11]. Następnie w reaktorze, który umożliwia nanoszenie cienkich warstw z wykorzystaniem plazmy PECVD – Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, zostały naniesione odpowiednie grubości w/w dielektryków (Rys. 2).



Rys. 2. Struktura próbki po procesie naniesienia lustra dielektrycznego

Fig. 2. Structure of the sample after dielectric mirror deposition

Jednocześnie korzystając z wyżej opisanej procedury, została przygotowana próbka referencyjna bez lustra dielektrycznego.

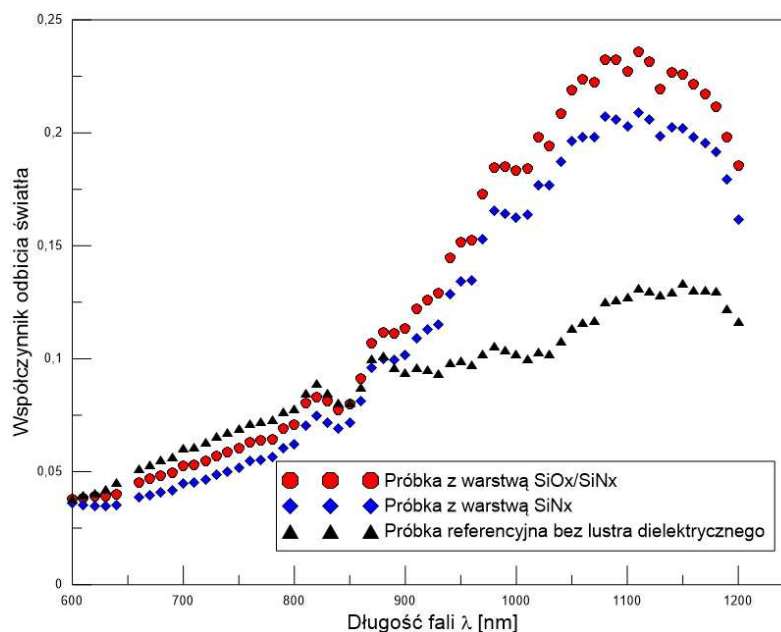
Następnie próbki zostały poddane badaniu na współczynnik odbicia światła o długości λ z zakresu 700 nm – 1200 nm. Po porównaniu wyników, pozwoliło to na określenie wpływu lustra na współczynnik odbicia światła z badanego zakresu.

3. Metodyka i wyniki badań

Przed naniesieniem lustra dielektrycznego zostały przeprowadzone obliczenia za pomocą programu IMD, pozwalającego na symulowanie optycznych właściwości cienkich warstw. Użycie danych opisujących współczynnik załamania światła dla używanych materiałów pozwoliło na zoptymalizowanie grubości SiOx i SiNx w celu uzyskania maksymalnego współczynnika odbicia światła z zakresu 700 nm – 1200 nm od powyższej struktury. Zgodnie z wynikami symulacji zostały zbadane dwie różne warstwy:

- pojedyncza warstwa SiNx o grubości 70 nm,
- warstwa SiOx/SiNx o grubości odpowiednio 110 nm/10 nm.

Po naniesieniu warstwy dielektryków na wcześniej przygotowane struktury krzemowe zostały przeprowadzone pomiary współczynnika odbicia światła dla w/w próbek. Wyniki zostały zaprezentowane na rysunku 3.



Rys. 3. Współczynnik odbicia światła od lustra dielektrycznego naniesionego na krzem w zależności od długości fali λ

Fig. 3. Reflectance from a dielectric mirror deposited on silicon

4. Analiza wyników

Z wykresu widocznego na Rys. 3 wynika, że wytworzone lustro dielektryczne odbija światło z zakresu długości fali 870 nm – 1200 nm, a maksimum współczynnika odbicia osiąga dla długości fali 1110 nm. Dla struktury SiOx/SiNx (110 nm/10 nm) maksymalny współczynnik odbicia światła osiąga wartość 0.23, dla pojedynczej warstwy SiNx maksimum wynosi 0.2. Próbka referencyjna bez lustra dielektrycznego w opisywanym zakresie długości fali maksimum odbicia osiąga również dla 1110 nm, a maksymalna wartość współczynnika odbicia światła przyjmuje wartość 0.13. Z analizy przedstawionych wyników wynika, że struktura SiOx/SiNx (110 nm/70 nm) naniesiona na tylną powierzchnię cienkowarstwowego ogniwa krzemowego będzie powodowała znaczący wzrost współczynnika odbicia światła z zakresu długości 870 nm – 1200 nm, a maksymalna różnica pomiędzy próbką z lustrem i bez lustra sięga 76% na korzyść próbki ze strukturą dielektryczną. Oznacza to, że fotony o długości fali z badanego zakresu po przejściu przez aktywną warstwę krzemowego ogniwa cienkowarstwowego, odbijają się od tylnej powierzchni, na której został naniesiony dielektryczny reflektor i zostaną skierowane z powrotem do warstwy aktywnej baterii słonecznej zwiększając tym samym prawdopodobieństwo absorpcji fotonów niskoenergetycznych. Oczywiście 76% wzrost współczynnika odbicia

światła nie przełoży się na 76% wzrost prądu zwarcia ogniwa słonecznego, ale z pewnością będzie miał pozytywny wpływ na polepszenie parametrów elektrycznych cienkowarstwowych ogniw słonecznych. Dokładny wpływ prezentowanej struktury na parametry opisujące ogniwa słoneczne będzie przedmiotem kolejnych badań.

5. Wnioski

W zaprezentowanych badaniach zostały wytworzone za pomocą epitaksji z fazy gazowej warstwy aktywne cienkowarstwowych, krzemowych ogniw słonecznych (Rys. 1). Następnie zostały przeprowadzone symulacje komputerowych mające na celu ustalenie grubości i składu optymalnej warstwy zbudowanej z SiOx/SiNx oraz SiNx w celu zmaksymalizowania odbicia niskoenergetycznych fotonów z zakresu długości fali 700 nm – 1200 nm. Kolejnym krokiem, wykorzystując parametry ustalone podczas symulacji, było naniesienie warstw dielektrycznych za pomocą techniki PECVD mających pełnić rolę tylnego reflektora w baterii słonecznej. W celach porównawczych została również przygotowana próbka bez lustra dielektrycznego. Tak przygotowane struktury zostały poddane badaniu na współczynnik odbicia światła z zakresu 700 nm – 1200 nm.

Analiza wyników wykazała, że struktura złożona z SiOx/SiNx o grubościach odpowiednio 110 nm/10 nm charakteryzuje się największym współczynnikiem odbicia światła z zakresu 870 nm – 1200 nm i osiąga maksimum 0.23 dla długości fali 1110 nm. Jednocześnie maksymalna różnica współczynnika odbicia światła pomiędzy strukturą z SiOx/SiNx, a próbką bez naniesionej struktury dielektrycznej sięga 76% na korzyść próbki z lustrem dielektrycznym. Oznacza to, że obecność wewnętrznego lustra dielektrycznego wewnątrz baterii słonecznej będzie skutecznie zwiększało współczynnik absorpcji dla fotonów niskoenergetycznych, co będzie miało pozytywny wpływ na parametry elektryczne cienkowarstwowych ogniw słonecznych.

Uwagi

Zaprezentowane badania zostały przeprowadzone dzięki francuskiemu programowi OSEO o akronimie „FASIL” oraz dzięki European KIC Innoenergy (projekt „Powcell”)

Literatura

- [1] Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers, architects and engineers, second edition. German Solar Energy Society (2008). Berlin: Routledge, 2008.
- [2] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/renewable-energy-data/renewable-energy-data#title-a996f24a58e8a95dd6842ca79fd0d698> {dostęp 23.05.2016}.
- [3] Gray J.: The Physics of the Solar Cell. A. In A. Luque and S. Hegedus Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. West Sussex: Wiley 2003.

- [4] Jóźwik I., Kraiem J., Olchowik J. M., Fave A., Szymczuk D., Zdyb A.: Epitaxial Lateral Overgrowth of Si on Patterned Si Substrates by Liquid Phase Epitaxy, *Molecular Phys. Rep.* 39, 2004, s. 85-89.
- [5] <http://pveducation.org/pvcdrom/design/surface-texturing> {dostęp 23.05.2016}.
- [6] Ivanov I., Nychyporuk T., Skryshevsky V., Lemiti M.: Thin silicon solar cells with SiO_x/SiN_x Bragg mirror rear surface reflector. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 12, 2009, s. 406.
- [7] Levy F.: Film Growth and Epitaxy: Methods. *Encyclopedia of Condensed Matter Physics*, 2005, 210.
- [8] Radhakrishnan H., Martini R., Depauw V., Nieuwenhuysen K., Bearda T., Gordon I., Szlufcik J., Poortmans J.: Kerfless layer-transfer of thin epitaxial silicon foils using novel multiple layer porous silicon stacks with near 100% detachment yield and large minority carrier diffusion lengths, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 135, 2015, s. 113.
- [9] Windt D. L.: IMD–Software for modeling the optical properties of multilayer films. *Comput. Phys.* 12, 1998, s. 360.
- [10] Heiss W., Schwarzl W., Roither T., Springholz J., Aigle G., Pascher M., Biermann H., Reimann K.: Epitaxial Bragg mirrors for the mid-infrared and their applications. *Progress in Quantum Electronics* 25, 2001, s. 193.
- [11] Olchowik J.M., Gułkowski S., Cieślak K., Jóźwik J., Kaminski A., Fave A.: Analysis of internal reflectivity of silicon ELO PV cells obtained by LPE, *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 2010 35th IEEE, s. 3546 – 3548.

INFLUENCE OF A BACK SIDE DIELECTRIC REFLECTOR ON THE THIN SILICON SOLAR CELLS PERFORMANCE

Vapor phase epitaxy (VPE) method was used to fabricate thin film silicon solar cells. Active layer was build with p type back side emitter, n type absorber and n+ type front surface field (FSF). In order to reduce costs of production double porous silicon structure was fabricated on a monocrystalline silicone. Porous silicon had a one low porosity layer on the top of a growth substrate and high porosity area just underneath the low porosity film. That kind of structure enabled to perform growth of a monocrystalline epitaxial silicon layer. During growth, the high porosity area was degraded due to a high temperature treatment and after the process detachment of an active layer was possible. After additional cleaning seed substrate can be reused in another VPE process. In order to increase spectral response of fabricated solar cells to low energy photons from a wavelength range 700 nm – 1200 nm, dielectric mirror was developed and deposited. Two structures were checked – double layer build with SiO_x/SiN_x and one layer of SiN_x. Active layer grown by means of VPE with a dielectric mirror deposited was examined in order to establish reflectivity from a given structures. In order to make comparison, reference sample was fabricated. It had the same structure of an active layer but there was no dielectric mirror deposited. Analysis of the results showed that the dielectric mirror works as expected and reflectivity in a wavelength range 700 nm – 1200 nm, is more than 70% higher for the structure with the dielectric mirror compared to the reference sample. It means that proposed solution would increase the absorbance inside the material and would have a positive influence on the thin silicon solar cells performance.

Keywords: photovoltaic, porous silicon, thin film silicon, optical properties

DOI:10.7862/rb.2016.249

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Krzysztof CZECH¹
Wojciech GOSK²

WPŁYW MASY PODSTAW POMIAROWYCH NA REJESTROWANE DRGANIA POWIERZCHNIOWE GRUNTU

Rzetelna ocena wpływu drgań propagowanych w ośrodku gruntowym na projektowane budynki i ich użytkowników powinna bazować na wiarygodnych pomiarach terenowych realizowanych przez doświadczony zespół badawczy przy wykorzystaniu sprzętu pomiarowego o parametrach dostosowanych do poziomu i częstotliwości rejestrowanych drgań. Jak wynika z ostatnich prac badawczych związanych z propagacją drgań powierzchniowych istotny jest również sposób, w jaki czujniki są „związane” z gruntem (typ podstaw pomiarowych, ilość i długość prętów kotwiących, itp.). Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu masy wybranego typu podstaw pomiarowych i montowanych do niej czujników na poziom i wiarygodność rejestrowanych przyspieszeń drgań powierzchniowych ośrodka gruntowego. W badaniach wykorzystany jest system pomiarowy LAN-XI firmy Brüel&Kjær z 24-bitowymi modułami typu 3050-B-060 oraz zróżnicowane pod względem czułości i mas czujniki pomiarowe wiodących producentów. Akcelerometry montowano do trójpunktowo zakotwionych w gruncie pierścieniowych podstaw pomiarowych rozmieszczonych w odległości 5 m i 10 m od powtarzalnego źródła drgań, jakim była lekka płyta dynamiczna typu ZFG-01. W pracy analizowane są uśrednione wartości szczytowe przyspieszeń drgań z sześciu powtórzeń oraz wartości odpowiadających im odchyłeń standardowych. W wyniku przeprowadzonych badań i analiz porównawczych potwierdzono istotność wpływu masy podstaw pomiarowych z zamontowanymi do nich czujnikami na rejestrowane wartości przyspieszeń drgań.

Słowa kluczowe: drgania powierzchniowe, przyspieszenia drgań, podstawy pomiarowe, wiarygodność pomiaru

1. Wprowadzenie

Jednym z wymogów współczesnej ochrony środowiska jest konieczność podejmowania działań mających na celu minimalizację negatywnych oddziały-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Krzysztof Czech, Politechnika Białostocka, Katedra Mechaniki Konstrukcji, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok; tel. +48 604662660; k.czech@pb.edu.pl

² Wojciech Gosk, Politechnika Białostocka, Zakład Geotechniki, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok; tel. +48 501704894; w.gosk@pb.edu.pl

wań wpływu drgań i hałasu na środowisko [1], [2]. Istotnym ich elementem jest przeprowadzenie wiarygodnych pomiarów terenowych. W przypadku propagacji drgań w gruncie i konieczności oceny ich wpływu na istniejące obiekty budowlane, komfort ich użytkowania, czy też wpływ drgań na urządzenia i maszyny stanowiące wyposażenie budynków, kwestia realizacji wiarygodnych pomiarów nie nastręcza większych problemów. Czujniki pomiarowe w zależności od rodzaju prowadzonej oceny powinny być montowane w miejscach wskazanych przez odpowiednie unormowania w taki sposób, aby umożliwiły wiarygodną rejestrację drgań elementu konstrukcyjnego, do którego zostały przymocowane (np. fundamenty lub ściany nośne budynków od strony źródła drgań i w poziomie otaczającego terenu [3], fundamenty lub konstrukcje wsporcze maszyn i urządzeń pracujących wewnątrz budynku [3], miejsca odbioru drgań przez ludzi – zazwyczaj w środku rozpiętości stropów [4], itp.).

Problem pojawia się w przypadku konieczności oceny wpływu istniejącego źródła drgań na budynek oraz jego użytkowników, który ma dopiero zostać wzniesiony w danej lokalizacji. Ocena tego typu, poza uwzględnieniem interakcji dynamicznej (do jakiej dochodzi na styku ośrodka gruntowego i budynku), wymaga realizacji wiarygodnych pomiarów propagacji drgań w ośrodku gruntowym w miejscu planowanej inwestycji. Niestety unormowania krajowe jak i zagraniczne nie precyzują, w jaki sposób tego typu pomiary powinny zostać przeprowadzone. Powszechnie stosowaną praktyką jest pomiar drgań za pomocą czujników ustawianych bezpośrednio na gruncie lub za pomocą specjalnie konstruowanych podstaw pomiarowych (kotwionych jak i niekotwionych w gruncie), do których montowane są czujniki. Dowolność w tym zakresie powoduje, że rejestrowane przebiegi czasowe drgań mogą znacznie się od siebie różnić. Wpływ sposobu realizacji pomiarów na poziom uzyskiwanych wartości przyspieszeń drgań powierzchniowych gruntu analizowano między innymi w pracach [5] oraz [6]. Jednakże nie zwrócono w nich uwagi na jeden z aspektów, który może mieć znaczący wpływ na poziom rejestrowanych drgań (niezależnie od przyjętej metodyki prowadzenia pomiarów), a tym samym na ewentualną ocenę wpływu drgań na budynek i jego użytkowników – masę podstawy pomiarowej wraz z zamontowanymi na niej czujnikami.

Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu masy wybranego typu podstawy pomiarowej i przykręconych do niej czujników na poziom i wiarygodność rejestrowanych przyspieszeń drgań powierzchniowych ośrodka gruntowego.

2. Realizacja pomiarów

2.1. Lokalizacja pomiarowa

Pomiary propagacji drgań powierzchniowych przeprowadzono na terenie kopalni odkrywkowej zlokalizowanej w województwie podlaskim w pobliżu miejscowości Bobrowa. Na terenie kopalni stwierdzono występowanie mało

wilgotnych piasków P_d/P_π (fSa/siSa) w stanie średnio zagęszczonym o dużej jednorodności do głębokości dwóch metrów oraz swobodne zwierciadło wody gruntowej. Nie stwierdzono występowania przewarstwień, ani wtrąceń.

2.2. Źródło drgań i układ pomiarowy

Stabilne i powtarzalne źródło drgań impulsowych w trakcie prowadzonych pomiarów stanowiła lekka płyta dynamiczna typu ZFG-01, przy wykorzystaniu której generowano pojedyncze impulsy w wyniku kontrolowanego spadku masy 10 kg z wysokości 0,83 m.

Monitoring i rejestrację przebiegów czasowych przyspieszeń drgań generowanych i rozchodzących się w ośrodku gruntowym realizowano za pomocą układu pomiarowego typu LAN-XI firmy Brüel&Kjær złożonego z dwóch 6-kanałowych, 24-bitowych modułów pomiarowych typu 3050-B-060 (z dynamiką wejść na poziomie 160 dB), czujników pomiarowych, okablowania i komputera przenośnego z zainstalowanym dedykowanym oprogramowaniem rejestratora sygnałów i oprogramowaniem do analiz w czasie rzeczywistym (PULSE, REFLEX).

W pomiarach wykorzystano trzy rodzaje piezoelektrycznych czujników przyspieszeń drgań o poniżej zdefiniowanych parametrach i masach (rys. 1):

- czujniki trójosiowe (3D) typu 356B18 firmy PCB o masie 25 g (zakres pomiarowy ± 5 g, 0,5 Hz \div 3000 Hz ($\pm 5\%$); czułość 1,0 V/g);
- czujniki jednoosiowe typu 3187D firmy Dytran o masie 122 g (± 10 g, 0,48 Hz \div 1000 Hz ($\pm 5\%$); 0,5 V/g),
- czujniki jednoosiowe typu 8340 firmy Brüel&Kjær o masie 775 g ($\pm 0,5$ g, 0,1 Hz \div 1500 Hz ($\pm 10\%$); 10 V/g).



Rys. 1. Podstawy pomiarowe z zamontowanymi czujnikami przyspieszeń

Fig. 1. Measurement bases with mounted accelerometers

Każdy z wyżej wymienionych czujników charakteryzuje się parametrami właściwymi do wiarygodnej rejestracji przebiegów czasowych przyspieszeń drgań generowanych lekką płytą dynamiczną i propagowanych w bezpośrednim jej sąsiedztwie w ośrodku gruntowym. Czujniki pomiarowe pomimo znacznie zróżnicowanych czułości (od 0,5 do 10 V/g) mają zbliżone zakresy częstotliwości i w przypadku dość intensywnych drgań z dominującymi amplitudami na poziomie kilkuset mm/s^2 i odpowiadającymi im częstotliwościami w zakresie od kilku do kilkuset Hz nie powinny mieć istotnego wpływu na przebiegi rejestrowanych przyspieszeń drgań.

2.3. Podstawy i profil pomiarowy

Przyjęto, że wpływ masy podstawy pomiarowej wraz z układem zamontowanych do niej czujników na poziom rejestrowanych przyspieszeń drgań zostanie przeanalizowany na przykładzie podstaw pomiarowych w formie stalowego pierścienia z trzema bolcami ($L = 15 \text{ cm}$) zagłębianymi w gruncie. Ich przydatność w tego typu badaniach została potwierdzona w trakcie wcześniejszych badań autorów, które opisano między innymi w pracy [5].

Podstawy pomiarowe zagłębiono w ośrodku gruntowym w dwóch punktach pomiarowych (p.p.) oddalonych promiennie od źródła drgań o 5,0 m (1.p.p.) i 10,0 m (2.p.p.). Rejestrację przebiegów czasowych przyspieszeń drgań każdorazowo prowadzono w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach (x – poprzecznym, y – podłużnym oraz z – pionowym). W związku z impulsowym charakterem źródła drgań rejestrację przyspieszeń prowadzono z szybkością 4096 próbek na sekundę. Każdorazowo realizowano po sześć powtórzeń.

Zróżnicowanie mas realizowano poprzez przyklejenie lub przykręcenie do podstaw pierścieniowych poszczególnych typów czujników. Najlżejsze, miniaturowe czujniki 3D montowano do podstaw pomiarowych za pomocą dedykowanego wosku. Pozostałe czujniki przykręcano bezpośrednio do podstaw pierścieniowych lub do dodatkowej głowicy w formie aluminiowego walca, która dodatkowo zwiększała masę podstaw pomiarowych.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że podejmowane czynności związane ze zwiększaniem mas podstaw pomiarowych (wynikające ze zmiany typu czujników lub wprowadzenia dodatkowej masy), nie wiązały się z koniecznością ponownego ingerowania w ośrodek gruntowy, gdyż w żaden sposób nie wpływały na zmianę warunków zakotwienia podstaw. Podstawy raz zagłębione w gruncie pozostawały w danym punkcie pomiarowym aż do zakończenia pomiarów.

3. Wyniki badań

Zarejestrowane dane analizowano w oprogramowaniu REFLEX. Dla wszystkich zarejestrowanych akcelerogramów wyznaczono wartości szczytowe przyspieszeń drgań propagowanych w ośrodku gruntowym, a następnie dla po-

szczególnej serii pomiarowych dokonano uśrednienia wartości z sześciu pomiarów. Dodatkowo obliczono odchylenia standardowe, które najlepiej obrazują w jakim stopniu wyniki są rozrzucone wokół wartości średnich. Uzyskane wielkości zestawiono w formie tabelarycznej (tab. 1 i tab. 2) w funkcji kierunku pomiaru (x , y , z) i odległości od źródła drgań (5 m i 10 m).

Tabela 1. Wartości szczytowe przyspieszeń drgań

Table 1. Peak accelerations of vibration

Masa czujników i podstawy pomiarowej (liczba kotew / głowica)	Średnia arytmetyczna (odchylenie standardowe), mm/s ²					
	L = 5 m (1.p.p.)			L = 10 m (2.p.p.)		
	x	y	z	x	y	z
ok. 1,0 kg (1 × PCB356B18)	472 (133)	725 (104)	781 (40)	308 (119)	323 (82)	447 (59)
ok. 1,3 kg (3 × DYTRAN 3187D)	339 (47)	561 (41)	502 (25)	148 (24)	204 (20)	312 (26)
ok. 3,3 kg (3 × B&K 8340)	391 (93)	513 (51)	564 (29)	173 (14)	315 (24)	300 (9)
ok. 4,2 kg (głowica + 3 × B&K 8340)	374 (54)	409 (9)	629 (36)	254 (21)	307 (9)	309 (3)
Wartości średnie ze wszystkich pomiarów	<u>394</u> (82)	<u>552</u> (51)	<u>619</u> (33)	<u>221</u> (45)	<u>287</u> (34)	<u>342</u> (24)

4. Analiza wyników badań

Porównanie uśrednionych wartości szczytowych przyspieszeń drgań (tab. 1) wskazuje, że zgodnie z oczekiwaniami w kierunku podłużnym (kierunek y) każdorazowo uzyskano znacznie większe wartości niż w kierunku prostopadłym do przyjętego profilu pomiarowego (kierunek x) – zarówno w pierwszym (1.p.p.; $L_1 = 5$ m), jak i drugim punkcie pomiarowym (2.p.p.; $L_2 = 10$ m). W większości przypadków maksymalne wartości szczytowe przyspieszeń drgań odnotowano w kierunku pionowym (z).

Analiza porównawcza odchyłeń standardowych wyznaczonych dla poszczególnych serii i kierunków pomiarowych wskazuje na największe rozrzuty wartości przyspieszeń drgań w przypadku miniaturowego czujnika 3D firmy PCB o czułości 1V/g (kilkukrotnie większe niż w pozostałych przypadkach). Odchylenia standardowe wyznaczone dla wartości szczytowych przyspieszeń drgań rejestrowanych przy wykorzystaniu czujników typu 3187D firmy Dytran (0,5 V/g) oraz typu 8340 firmy B&K (10 V/g) są dużo mniejsze i wykazują znaczne podobieństwo. Wielokrotnie rozrzuty rejestrowanych wartości są nawet mniejsze w przypadku czujnika typu 3187D. Bazując na wartościach odchyłeń standardowych prezentowanych w tab. 1. należałoby stwierdzić, że miniaturowy czujnik wykorzystywany w przeprowadzonych badaniach pomimo istotnych

zalet (duża czułość, niewielka masa, łatwość montażu na dowolnej podstawie pomiarowej, itp.) zdecydowanie bardziej nadaje się do analiz modalnych konstrukcji niż pomiarów terenowych propagacji drgań w ośrodku gruntowym. Jego niewielkie rozmiary i masa sprawiają, że jest zbyt podatny na czynniki zewnętrzne – między innymi nawet lekkie podmuchy wiatru.

W kwestii wiarygodności realizowanych pomiarów propagacji drgań powierzchniowych w ośrodku gruntowym poza koniecznością zapewnienia odpowiedniego stopnia zespolenia podstawy pomiarowej z gruntem najistotniejsze jest, aby zastosowana podstawa pomiarowa wraz z układem zamontowanych do niej czujników nie podlegała drganiom rezonansowym.

Jako poziom odniesienia do dalszych analiz przyjęto uśrednione wartości szczytowe przyspieszeń drgań ze wszystkich zrealizowanych pomiarów, a następnie niezależnie dla każdej serii pomiarowej określono wyrażone w procentach różnice pomiędzy wartościami szczytowymi i wartościami uśrednionymi, które najlepiej obrazują łączny wpływ mas czujników i podstaw pomiarowych na rejestrowany poziom przyspieszeń drgań powierzchniowych. Wyniki analiz porównawczych zestawiono w tab. 2.

Tabela 2. Przyrost lub spadek wartości szczytowych przyspieszeń drgań w stosunku do przyjętego poziomu odniesienia

Table 2. Increase or decrease of the peak accelerations in relation to the accepted reference level

Masa czujników i podstawy pomiarowej	L = 5 m (1.p.p.)			L = 10 m (2.p.p.)		
	x	y	z	x	Y	z
ok. 1,0 kg (1 × PCB 356B18)	+20%	+31%	+26%	+39%	+12%	+31%
ok. 1,3 kg (3 × DYTRAN 3187D)	<u>-14%</u>	+2%	<u>-19%</u>	<u>-33%</u>	<u>-29%</u>	-9%
ok. 3,3 kg (3 × B&K 8340)	-1%	-7%	-9%	-22%	+10%	<u>-12%</u>
ok. 4,2 kg (głowica + 3 × B&K 8340)	-5%	<u>-26%</u>	+2%	+15%	+7%	-10%

Z tab. 2. wynika, iż w przypadku najlżejszej podstawy pomiarowej z zamontowanymi czujnikami 3D firmy PCB (ok. 1 kg) w każdym z analizowanych kierunków i punktów pomiarowych uzyskano największe wartości szczytowe przyspieszeń drgań. Biorąc pod uwagę, że stal, z której wykonano podstawy pomiarowe charakteryzuje się bardzo małym tłumieniem materiałowym, można przyjąć (bez szczegółowego analizowania widm częstotliwościowych poszczególnych akcelerogramów), że najbardziej wiarygodne są najniższe z zarejestrowanych wartości szczytowych przyspieszeń drgań. Bazując na tym założeniu należy uznać, że wartości szczytowe przyspieszeń drgań rejestrowane za pomocą podstawy pomiarowej z przyklejonymi miniaturowymi czujnikami 3D są mało wiarygodne (znacznie zawyżone). Wychodząc z tego samego założenia opty-

malne wydaje się być rozwiązanie bazujące na podstawie pomiarowej i czujnikach o stosunkowo niewielkiej masie własnej typu 3187D (łącznie masa podstawy to ok. 1,3 kg), w którym to przypadku aż pięć z wartości szczytowych charakteryzuje się najniższymi wartościami przyspieszeń drgań. Z powyższego zestawienia wynika również, że sejsmiczne czujniki typu 8340 firmy B&K pomimo najwyższej dokładności pomiarowej w sposób ewidentny poprzez swoją masę wpływają na wzrost rejestrowanych wartości przyspieszeń drgań (masa podstawy z czujnikami wynosi ok. 3,3 kg). Intensyfikacja drgań w tym przypadku jest szczególnie istotna w kierunkach: x i z w 1.p.p. oraz w kierunku x w 2.p.p. Dalszy wzrost masy podstawy pomiarowej (o ok. 0,9 kg) realizowany poprzez wprowadzenie dodatkowej głowicy, do której przykręcano tego samego typu czujniki sejsmiczne (typu 8340) powoduje obniżenie wartości przyspieszeń drgań propagowanych w kierunku y w 1.p.p. Jednakże przy mniejszej intensywności drgań rejestrowanych w 2.p.p. wpływa na ich dalszy wzrost w stosunku do wartości rejestrowanych w płaszczyźnie poziomej (w kierunkach x i y) przy wykorzystaniu mniej masywnych czujników typu 3187D firmy Dytran. Najbardziej zbieżne wyniki w trakcie badań uzyskano w kierunku pionowym z w 2.p.p. Wskazuje to na malejący wpływ masy podstawy pomiarowej z czujnikami na poziom drgań rejestrowanych w tym kierunku przy mniejszych amplitudach przyspieszeń drgań.

Analogiczne badania przeprowadzono dla podstaw pierścieniowych z dwukrotnie dłuższymi kotwami ($L = 30$ cm) oraz podstaw pomiarowych w postaci płyt kołowych trójpunktowo kotwionych z głowicami walcowymi. W każdym z powyższych przypadków wpływ masy na poziom rejestrowanych drgań był znaczący.

5. Wnioski

Przeprowadzone pomiary terenowe i analizy porównawcze wskazują, że masa podstaw pomiarowych i zamontowanych do nich czujników w sposób istotny może wpływać na poziom rejestrowanych przyspieszeń drgań powierzchniowych propagowanych w ośrodku gruntowym. Niezbędne jest kontynuowanie prac badawczych w tym kierunku i opracowanie stosownych wytycznych odnośnie nie tylko rodzaju stosowanych w pomiarach głowic podstaw pomiarowych (płyta, krzyżak, pierścień), sposobu ich kotwienia w ośrodku gruntowym (długości i podatności połączeń kotew z głowicą), ale także i optymalnej masy podstaw pomiarowych z zamontowanymi do nich czujnikami. Brak tego typu wytycznych może prowadzić do istotnych rozbieżności w wynikach pomiarów prowadzonych w analogicznych warunkach (rodzaj, stan i uwarstwienie gruntu, jego wilgotność, temperatura powietrza, identyczne źródło drgań, itp.) przez różne zespoły badawcze i w efekcie skutkować błędną interpretacją ewentualnego wpływu rejestrowanych drgań na środowisko.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiIS/5/2013 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW

Literatura

- [1] Kawecki J., Stypuła K.: Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne. Politechnika Krakowska, Kraków, 2013.
- [2] Engel Zb.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa, 2001.
- [3] PN-85/B-02170. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- [4] PN-88/B-02171. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [5] Czech K. R., Gosk W.: Wpływ sposobu mocowania akcelerometrów na poziom rejestrowanych drgań powierzchniowych ośrodka gruntowego. Biuletyn WAT, 2014, Vol. 63, nr 3, 65-78.
- [6] Maciąg E., Tatara T., Chełmecki J.: Badania drgań gruntu i niskich budynków od wpływu komunikacji miejskiej. Inżynieria i Budownictwo, 2005, nr 3, 135-140.

THE INFLUENCE OF MEASUREMENT BASES WEIGHT ON THE RECORDED SURFACE VIBRATIONS OF THE GROUND

Summary

A reliable assessment of the impact of vibration propagated in the subsoil on the designed buildings and their users should base on reliable field measurements. Measurements should be realized by an experienced research teams using high quality test equipment adapted to the level and frequency of the recorded vibrations. The method of sensors anchoring with the ground (the type of measurement basis, the number and length of anchor rods, etc.) is important according to the latest research connected with the surface vibrations propagation. The aim of this study was to analyze the influence of the weight of selected type of measurement bases and mounted sensors on the reliability of the recorded surface vibrations of the ground. The study used a measurement system LAN-XI Brüel&Kjær with 24-bit modules type 3050-B-060 and sensors varied in terms of sensitivity and weight. Accelerometers were fixed to the metal rings with three pins bolted into the ground and located at a distance of 5 m and 10 m from the repetitive source of vibration - light falling weight deflectometer type ZFG-01. The averaged peak values of vibration acceleration and the corresponding standard deviations were analyzed in the paper. As a result of research and comparative analysis it was found the importance of influence of measurement bases weight with mounted sensors on the recorded values of vibration acceleration.

Keywords: surface vibrations, acceleration, measurement bases, measurement reliability

DOI:10.7862/rb.2016.250

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Bernardeta DĘBSKA¹
Lech LICHOLAŃ²

PORÓWNANIE WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW ŻYWICZNYCH ZAWIERAJĄCYCH ODPADOWE TWORZYWA SZTUCZNE

Racjonalna gospodarka odpadami stanowi jeden z priorytetowych kierunków szeroko rozumianej ochrony środowiska. Fakt umiejętnego zagospodarowania odpadów jest także ważny w kontekście zrównoważonego rozwoju społeczeństw. Do odpadów wyjątkowo uciążliwych dla środowiska zaliczyć należy tworzywa sztuczne. Wzrastające nieustannie ilości tego typu odpadów powodują występowanie problemów zarówno ekologicznych, jak i gospodarczych, co związane jest ze słabą biodegradacją tworzyw. Odpady te zaczęto wykorzystywać do produkcji materiałów budowlanych. Badania nad zagospodarowaniem odpadów z tworzyw sztucznych prowadzone są obecnie w różnych ośrodkach naukowych na świecie. W literaturze można znaleźć opisy wykorzystania odpadów m.in. polietylenu i polipropylenu, styropianu, poliuretanów, poliwęglanu, poliamidu, czy poli(chloroku winylu), jako modyfikatorów betonów i zapraw cementowych. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki porównania wybranych właściwości czterech serii zapraw żywicznych zawierających różne odpady tworzyw sztucznych tj.: polipropylen (PP), polietylen (PE), piankę poliuretanową (PU) oraz ekspandowany polistyren (EPS). Odpady te pochodziły odpowiednio z kubków po jogurtach, pianki podkładowej pod panele, pianki montażowej oraz płyt styropianowych. Zostały one rozdrobnione i stanowiły częściowy zamiennik kruszywa w zaprawach epoksydowych. Zbadano takie właściwości zapraw, jak: wytrzymałość na zginanie i ściszenie, gęstość objętościowa oraz nasiąkliwość. Wskazano materiał odpadowy, umożliwiający otrzymanie zaprawy cechującej się najkorzystniejszymi wartościami oznaczonych parametrów. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że nawet przy 20% substytucji piasku odpadami tworzyw sztucznych, można otrzymać kompozyt charakteryzujący się bardzo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi oraz niską nasiąkliwością wodą.

Słowa kluczowe: zaprawy epoksydowe, odpady tworzyw sztucznych, wytrzymałość, nasiąkliwość

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Bernardeta Dębska, Politechnika Rzeszowska, Zakład Budownictwa Ogólnego, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651323; bdebska@prz.edu.pl

² Lech Licholań, Politechnika Rzeszowska, Zakład Budownictwa Ogólnego, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651327; Lech.Licholai@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Plastik, który można nazwać jednym z najbardziej innowacyjnych materiałów dwudziestego wieku, stał się produktem wszechobecnym. W ostatnich latach na całym świecie obserwuje się znaczny wzrost zużycia tego typu tworzyw sztucznych, co powoduje również zwiększenie wytwarzania odpadów tych materiałów [1].

Udział procentowy poszczególnych typów odpadów z tworzyw sztucznych przedstawia się następująco [2]: polietylen niskiej gęstości (LDPE) – 23%, polietylen wysokiej gęstości (HDPE) – 17,3%, polipropylen (PP) – 18,5%, polistyren (PS) – 12,3%, chlorek winylu (VC) – 10,7%, poli(tereftalan etylenu) (PET) – 8,5%, inne – 9,7%. Ze względu na uniwersalność wielu właściwości tworzyw sztucznych wzrost ich wykorzystania jest pożądanym. Z kolei wśród niekorzystnych zjawisk związanych ze stosowaniem tworzyw sztucznych wymienia się fakt, że na etapie produkcji wykorzystywane są często związki toksyczne, a także takie, których działanie na organizmy żywe nie jest jeszcze do końca poznane [2]. Zaletą, jaką jest odporność tworzyw sztucznych na działanie wielu środków chemicznych i czynników atmosferycznych, zamienia się w wadę w momencie, gdy polimery stają się odpadem, gdyż produkty te tylko w niewielkim stopniu ulegają degradacji. Odpady z tworzyw sztucznych powodują więc występowanie problemów zarówno ekologicznych, jak i gospodarczych. Stanowią one zagrożenie dla wszystkich komponentów środowiska, tj. powierzchni ziemi, hydrosfery, biosfery i atmosfery. Z tych względów racjonalna gospodarka odpadami należy do priorytetowych kierunków szeroko rozumianej ochrony środowiska.

Na utylizację odpadów z tworzyw sztucznych składają się następujące etapy [3]: zbiórka odpadów, sortowanie, mycie, recykling. Ostatni etap, czyli recykling, może być realizowany na różne sposoby: recykling mechaniczny, recykling chemiczny, spalanie.

Warto podjąć próbę zagospodarowania odpadów polimerowych w sposób wybiegający poza przyjęte schematy. Do takich metod można zaliczyć użycie odpadów z tworzyw w procesie otrzymywania mas asfaltowych czy kompozytów, w tym kompozytów polimerobetonowych. Niska waga, wytrzymałość, odporność na działanie różnych roztworów korozyjnych, doskonałe właściwości termo- i elektroizolacyjne - to cechy odpadowych tworzyw sztucznych, które mogą być wykorzystane do otrzymywania innowacyjnych materiałów kompozytowych, wpisujących się w założenia zrównoważonego rozwoju w budownictwie. Na podstawie przeglądu dostępnej literatury można stworzyć listę odpadowych tworzyw sztucznych, które zastosowano jako modyfikatory betonów i zapraw: tworzywo ABS (kopolimer akrylonitryl-butadien-styren) [4], pianka poliuretanowa [5-7], ekspandowany polistyren i polistyren [8-10], polietylen o małej i dużej gęstości oraz polipropylen i poli(chlorek winylu) [11-14], żywice melaminowo-formaldehydowe [15], poli(tereftalan etylenu) [16-20]. Modyfikacją tą objęto przede wszystkim kompozyty cementowe. W niniejszym artykule przedstawiono porównanie wybranych właściwości zapraw żywicznych zawierających odpady tworzyw sztucznych.

2. Opis procedury badawczej

2.1. Użyte surowce i metody otrzymywania zaprawy żywicznej

Zaprawy żywiczne wykonano z zastosowaniem żywicy epoksydowej Epidian 5, utwardzacza Z-1, piasku normowego o uziarnieniu 0 - 2 mm oraz czterech różnych rodzajów odpadowych tworzyw sztucznych (Rys. 1): polietylenu (PE), polipropylenu (PP), pianki poliuretanowej (PU) oraz ekspandowanego polistyrenu (EPS).



Rys. 1. Odpady zastosowane do otrzymania zapraw epoksydowych, a) PP, b) PE, c) PU, d) EPS

Fig. 1. Waste used to obtain the epoxy mortars, a) PP, b) PE, c) PU, d) EPS

Odpady te pochodziły odpowiednio z kubków po jogurtach, pianki podkładowej pod panele, pianki montażowej oraz płyt styropianowych. Odpady po rozdrobnieniu stanowiły substytut piasku normowego (pakowanego w woreczki) w ilości odpowiednio 0%, 5%, 10%, 15% i 20% obj. Zachowano stałą proporcję żywicy do kruszywa (piasku wraz z materiałem odpadowym) na poziomie 0,25. Utwardzacz dozowano w ilości 10% wagowych w stosunku do masy żywicy.

3. Metodyka i wyniki badań

Odpowiedni rodzaj materiału odpadowego oraz piasek odważono przy użyciu wagi technicznej. Następnie wymieszano obydwie komponenty. Żywicę epoksydową odważono w zlewce. Po przygotowaniu odpowiednich ilości żywicy epoksydowej oraz kompozycji kruszyw, do zlewki z żywicą epoksydową dolano odpowiednią ilość utwardzacza Z-1 (10 cz. w./100 g żywicy). Składniki

następnie dokładnie wymieszano przy pomocy szklanej bagietki, aż do uzyskania jednorodnej mieszaniny. Do misy mieszarki laboratoryjnej przeniesiono przygotowaną kompozycję żywicy z utwardzaczem i wymieszano z kruszywem oraz materiałem odpadowym, zachowując jednakowy czas mieszania i obroty mieszarki. Gotową zaprawę umieszczono w formach stalowych o wymiarach: 40x40x160 mm (próbki przeznaczone do badań wytrzymałościowych) oraz 60x60x5 mm (próbki do badań nasiąkliwości). Aby nastąpił proces utwardzenia, próbki pozostawiono przez 7 dni w pojemnikach polipropylenowych w warunkach laboratoryjnych.

Dla utwardzonych zapraw epoksydowych wykonano oznaczenia następujących właściwości:

a) Wytrzymałości: na zginanie f_f i na ściskanie f_c .

Badania te przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej zaopatrzonej w odpowiednie wkładki, na beleczkach normowych zgodnie z normą PN-EN 196-1:2006.

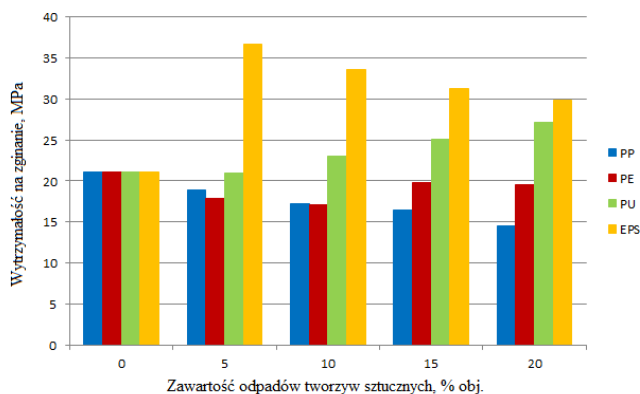
b) Gęstości objętościowej zgodnie z normą PN-85/B-04500:1985.

c) Absorpcji wody zgodnie z normą PN-EN ISO 175:2002.

Wyniki badań wytrzymałościowych oraz gęstości objętościowej próbek zapraw epoksydowych zawierających poszczególne typy odpadów przedstawiono odpowiednio na rysunkach 2-4.

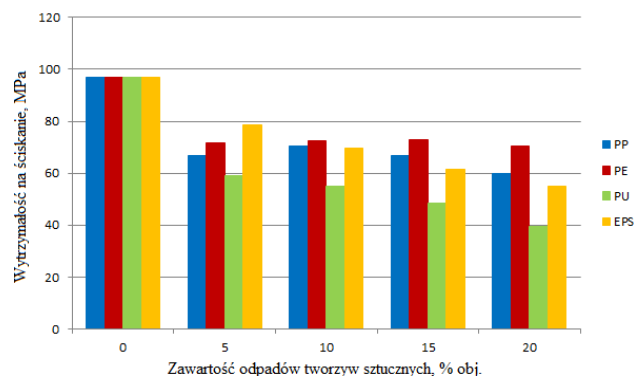
Do opisu różnic w poziomie nasiąkliwości próbek wykorzystano funkcję logarymiczną o równaniu:

$$z = a + b \cdot \ln(x) \quad (1)$$



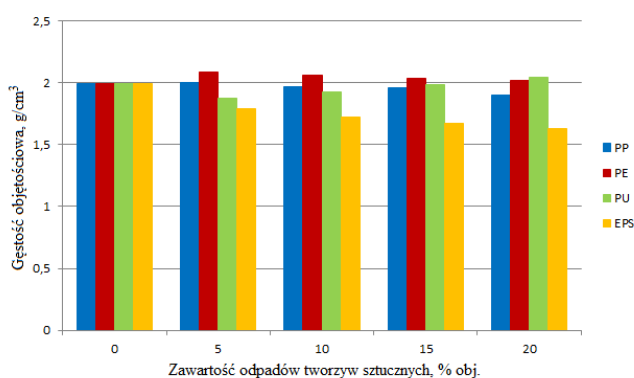
Rys. 2. Zależność wytrzymałości na zginanie od rodzaju i procentowej zawartości materiału odpadowego

Fig. 2. The dependence the flexural strength of the type and percentage content of waste material



Rys. 3. Zależność wytrzymałości na ściskanie od rodzaju i procentowej zawartości materiału odpadowego

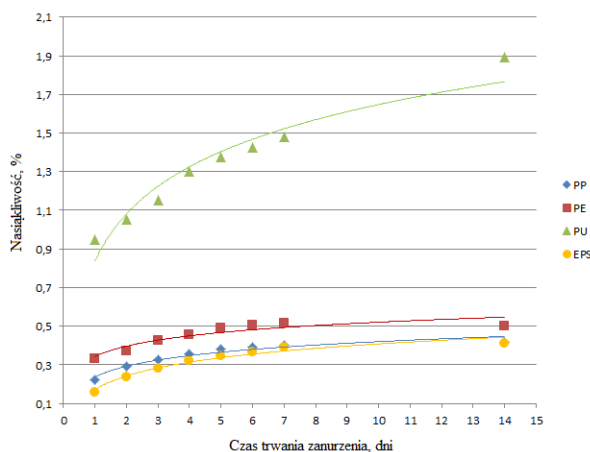
Fig. 3. The dependence the compressive strength of the type and percentage content of waste material



Rys.4. Zależność gęstości objętościowej od rodzaju i procentowej zawartości materiału odpadowego

Fig. 4. The dependence the volume density of the type and percentage content of waste material

Uzyskane w ten sposób wykresy funkcji trendu dla próbek zapraw modyfikowanych za pomocą omawianych odpadów tworzyw sztucznych przedstawiono na rysunku 5. Nasiąkliwość wzrasta wraz ze wzrostem czasu trwania zanurzenia. O sile tej zależności świadczą uzyskane współczynniki determinacji zawarte w tabeli 1. Tabela ta zawiera także wartości współczynników krzywej regresji obliczonych dla przyjętej logarytmicznej funkcji trendu.



Rys.5. Zależność nasiąkliwości od czasu trwania ekspozycji w wodzie i rodzaju materiału odpadowego

Fig. 5. The dependence the water absorption of the duration of exposure in water and the type of waste material

Tabela 1. Zestawienie parametrów krzywych regresji oraz współczynników determinacji opisujących zmianę nasiąkliwości próbek w zależności od rodzaju materiału odpadowego

Table 1. Selection of the parameters of the regression curves and determination coefficients describing the change of absorption of samples depending on the type of waste material

Współczynnik regresji/ współczynnik determinacji	Nasiąkliwość			
	PP	PE	PU	EPS
a	0,0793	0,0770	0,3515	0,1030
b	0,2373	0,3431	0,8379	0,1708
R ²	0,9421	0,8552	0,9339	0,9633

4. Analiza wyników

Rodzaj zastosowanego materiału odpadowego znacznie różnicuje oznaczane parametry badanych próbek zapraw.

4.1. Wytrzymałość na zginanie

Najniższe wartości wytrzymałości na zginanie uzyskano dla próbek zapraw zawierających 15% i 20% odpadów polipropylenu. Wytrzymałość ta maleje wraz ze wzrostem zawartości modyfikatora. Podobna zależność ma miejsce również w przypadku odpadów PE, jednak przy 15% i 20% dodatku widoczny jest nieznaczny wzrost badanego parametru do poziomu 20 MPa, zbliżonego do

wytrzymałości na zginanie zapraw niemodyfikowanych. Wytrzymałość na zginanie zapraw epoksydowych z dodatkiem odpadów pianki poliuretanowej rośnie wraz ze wzrostem zawartości modyfikatora. W przypadku 20% substytucji piasku przez PU, wytrzymałość wynosi 27,12 MPa i jest o 6 MPa wyższa niż dla zapraw niemodyfikowanych. Zdecydowanie najwyższe wartości wytrzymałości na zginanie udało się uzyskać dla próbek zapraw zawierających odpady EPS. Najwyższą wartością oznaczanego parametru równą 36,69 MPa, charakteryzują się zaprawy z 5% dodatkiem odpadu EPS. Jest to wynik o prawie 74% wyższy od uzyskanego dla zapraw niemodyfikowanych. Zwiększanie ilości modyfikatora powoduje obniżenie wytrzymałości, jednak nawet przy 20% zawartości EPS jest ona bardzo wysoka i wynosi 29,86 MPa.

4.2. Wytrzymałość na ściskanie

Dodatek każdego z omawianych odpadów tworzyw sztucznych powodował znaczne obniżenie wytrzymałości na ściskanie zapraw epoksydowych. Najniższe wartości odnotowano dla zapraw modyfikowanych pianką PU. Przy 20% jej dodatku wytrzymałość zmalała do 39,39 MPa. Wytrzymałość na ściskanie maleje także wraz ze wzrostem zawartości odpadów EPS, jednak przy 5% substytucji piasku, wytrzymałość ta jest najwyższa wśród wszystkich zapraw modyfikowanych i wynosi 78,74 MPa. Dodatek PP i PE również powoduje obniżenie wartości oznaczanego parametru, jednak zwiększenie ilości dodawanego odpadu tylko nieznacznie wpływa na zmianę wartości wytrzymałości na ściskanie.

4.3. Gęstość objętościowa

Dodatek odpadów PP i EPS powoduje obniżenie gęstości objętościowej zapraw. Najlżejszą zaprawę udało się otrzymać dla zapraw o 20% substytucji piasku przez odpady EPS. W tym przypadku gęstość objętościowa wynosiła 1,627 g/cm³ i była niższa o 18,36% od gęstości objętościowej zaprawy niemodyfikowanej.

4.4. Nasiąkliwość

Dla każdego z czterech zastosowanych odpadów zaobserwowano wzrost nasiąkliwości badanych próbek zapraw w czasie trwania ich ekspozycji w wodzie. Analizując funkcje trendu zaprezentowane na rysunku 5 zauważa się, że różnice nasiąkliwości występujące dla odpadów PP i EPS a PE są nieznaczne. Funkcje trendu uzyskane dla zapraw z dodatkiem odpadów PP i EPS są bardzo zbliżone, a w drugim tygodniu ekspozycji praktycznie się pokrywają. Wyniki uzyskane podczas modyfikacji zapraw odpadami pianki poliuretanowej znacznie odbiegają od pozostałych. Zdecydowanie najwyższe wartości nasiąkliwości uzyskano dla zapraw zawierających odpady PU. Po 14 dniach ekspozycji próbek w wodzie średnia nasiąkliwość wyniosła 1,9%. Znacznie niższe wartości nasią-

kliwości, na poziomie 0,41%, oznaczone również po 14 dniach zanurzenia, odnotowano w przypadku próbek zapraw zawierających odpady PP i EPS. Po tym czasie ekspozycji były to najniższe z obserwowanych wartości. 14 dniowa nasiąkliwość próbek zapraw, otrzymanych po zastosowaniu odpadów PE, lokowała się pomiędzy wynikami opisanymi dla pozostałych rodzajów odpadów i wynosiła 0,5%. Na uzyskane wyniki nasiąkliwości ma wpływ porowatość zapraw, a także samego materiału odpadowego. Styropian oraz polipropylen to materiały o strukturze bardzo odpornej na działanie wody. Z kolei polietylen w formie pianki posiada dodatkowe wolne przestrzenie, które może wypełnić woda. Najbardziej porowata jest pianka poliuretanowa (PU) i dodana do zapraw powoduje znaczny wzrost ich nasiąkliwości.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- Zastosowanie odpadów PP i PE powoduje spadek wytrzymałości na zginanie zapraw epoksydowych. Natomiast wytrzymałość na zginanie zapraw zawierających odpady PU i EPS jest wyższa niż dla zapraw niemodyfikowanych. Najwyższą wartością tej wytrzymałości, równą 36,69 MPa, cechowały się próbki zawierające 5% obj. EPS.
- Dodatek każdego z odpadowych tworzyw sztucznych znacznie obniżał wytrzymałość na ściskanie zapraw epoksydowych. Największe różnice zaobserwowano po dodaniu do kompozytu pianki poliuretanowej (PU). Jednak uzyskane wartości wytrzymałości na ściskanie należą do przedziału 39,39 MPa – 78,74 MPa, są nadal bardzo wysokie.
- Największe różnice w gęstości objętościowej obserwowano w przypadku zapraw modyfikowanych odpadami EPS. Przy 20% substytucji piasku przez to tworzywo, gęstość objętościowa uległa zmniejszeniu o 18,36% w stosunku do wartości tego parametru zapraw niemodyfikowanych.
- Modyfikowane zaprawy cechowała bardzo niska nasiąkliwość, szczególnie te zawierające odpady PP, PE i EPS. Po 14 dniach zanurzenia w wodzie parametr ten osiągnął wartość 0,5%.
- Zastosowanie odpadów tworzyw sztucznych do otrzymywania zapraw żywicznych pozwala uzyskać kompozyty cechujące się dobrymi parametrami fizyko-mechanicznymi, a jednocześnie stanowi jeden ze sposobów utylizacji tych uciążliwych dla środowiska odpadów.

Literatura

- [1] Panda A.K., Singh R.K., Mishra D.K.: Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products – A world prospective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, 2010, pp. 233-248.
- [2] Siddique R., Khatib J., Kaur I.: Use of recycled plastic in concrete: A review, *Waste Management*, vol. 28, 2008, pp. 1835-1852.
- [3] Kozłowski M. [red.], *Podstawy recyklingu tworzyw sztucznych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1998.
- [4] Palos A., D'Souza N.A., Snively C.T., Reidy III R.F.: Modification of cement mortar with recycled ABS, *Cement and Concrete Research*, vol.31, 2001, pp. 1003-1007.
- [5] Corinaldesi V., Mazzoli A., Moriconi G.: Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles, *Materials and Design*, vol. 32, 2011, pp. 1646-1650.
- [6] Fraj A.B., Kismi M., Mounanga P.: Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 24, 2010, pp. 1069-77.
- [7] Mounanga P., Gbongbon W., Poullain P., Turcry P.: Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes, *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, 2008, pp. 806-814.
- [8] Amianti M., Botaro V.R.: Recycling of EPS: A new methodology for production of concrete impregnated with polystyrene (CIP), *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, 2008, pp. 806-814.
- [9] de Assunção R.M.N., Royer B., Oliveira J.S., Filho G.R., de Castro Motta L.A.: Synthesis, characterization and application of the sodium poly(styrenesulfonate) produced from waste polystyrene cups as an admixture in concrete, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 96, 2005, pp. 1534-1538.
- [10] Laukaitis A., Žurauskas R., Kerienė J.: The effect of foam polystyrene granules on cement composites properties, *Cement and Concrete Composites*, vol. 27, 2005, pp. 41-47.
- [11] Pešić N., Živanović S., Garcia R., Papastergiou P.: Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres, *Construction and Building Materials*, vol. 115, 2016, pp. 362-370.
- [12] Ruiz-Herrero J.L., Velasco Nieto D., López-Gil A., Arranz A., Fernández A., Lorenzana A., Merino S., De Saja J.A., Rodríguez-Pérez M.A.: Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste, *Construction and Building Materials*, vol. 104, 2016, pp. 298-310.
- [13] Galvão J.C.A., Portella K.F., Joukoski A., Mendes R., Ferreira E.S.: Use of waste polymers in concrete for repair of dam hydraulic surfaces, *Constructions and Building Materials*, vol. 25, 2011, pp. 1049-1055.
- [14] Kou S.C., Lee G., Poon C.S., Lai W.L.: Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes, *Waste Management*, vol. 29, 2009, pp. 621-628.

- [15] Panyakapo P., Panyakapo M.: Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete, *Waste Management*, vol. 28, 2008, pp. 1581-1588.
- [16] Nikbin, I.M., Rahimi S., Allahyari A., Fallah F.: Feasibility study of waste Poly Ethylene Terephthalate (PET) particles as aggregate replacement for acid erosion of sustainable structural normal and lightweight concrete, *Journal of Cleaner Production*, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.143>
- [17] Dębska B., Lichołai L.: The selected mechanical properties of epoxy mortar containing PET waste, *Construction and Building Materials*, vol. 94, 2015, pp.579-588.
- [18] Dębska B., Lichołai L.: A study of the effect of corrosive solutions on selected physical properties of modified epoxy mortars, *Construction and Building Materials*, vol.65, 2014, pp. 604-611.
- [19] Dębska B.: Modification of Polymer Composites by Polyethylene Terephthalate Waste, Poly(ethylene Terephthalate) Based Blends, Composites and Nanocomposites (Book), Visakh P.M., Liang M. red., Elsevier Inc., 2015, pp.195-212.
- [20] Dębska, B., Lichołai, L.: Resin Composites with High Chemical Resistance for Application in Civil Engineering, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, DOI:10.3311/PPci.7744.

THE COMPARISON OF THE SELECTED PROPERTIES OF POLYMER MORTARS CONTAINING PLASTIC WASTE

Summary

Rational waste management is one of the priority directions of the widely understood environmental protection. The fact of the skillful management of waste is also important in the context of sustainable development of societies. Plastics are the extremely harmful waste to the environment. Increasing constantly amounts of such waste cause the occurrence of problems both ecological and economic, which is associated with poor biodegradation plastics. Waste has been used for the production of building materials. Research on the waste management of plastics are currently conducted in various scientific centers in the world. In the literature can be find descriptions of the use of waste, among others, polyethylene and polypropylene, polystyrene, polyurethane, polycarbonate, polyamide, or poly (vinyl chloride), as modifiers of cement concrete and mortars. This article presents the results of the comparison of selected properties of four series of resin mortars containing different plastic waste, i.e. : polypropylene (PP), polyethylene (PE) foam polyurethane (PU) and expanded polystyrene (EPS). These wastes come from yoghurt cups, foam under the panels, mounting foam and polystyrene panels. They were fragmented and represented a partial replacement aggregate in mortars epoxy. Such mortars were tested as flexural strength and compressive strength, bulk density and water absorption.

Keywords: epoxy mortars, plastic waste, mechanical properties, absorbability

DOI:10.7862/rb.2016.251

Przesłano do redakcji: 23.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Michał DUDA¹
Daniel CHLUDZIŃSKI²

ANALIZA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ NA PRZYKŁADZIE STACJI UZDATNIANIA WODY „KAROLIN” W OLSZTYNIE

Szacuje się, że systemy zaopatrzenia ludności w wodę mogą pochłaniać nawet do 7% energii wykorzystywanej przez społeczeństwo. Głównym elementem odpowiedzialnym za tak duże zużycie energii elektrycznej są pompy tłoczące wodę. Zazwyczaj poprawa efektywności energetycznej pracującej pompy lub zespołu pomp, pociąga za sobą duże koszty inwestycyjne. Spojrzenie kompleksowe na funkcjonowanie całego systemu, często pozwala na zmniejszenie zużycia energii przez system bez ponoszenia dodatkowych nakładów finansowych. To jakiego rzędu będą to oszczędności zależy wyłącznie od specyfiki przedsiębiorstwa. W pracy przedstawiono analizę energetyczną wybranego miesiąca pracy ujęcia wody surowej dla Stacji Uzdatniania Wody Karolin w Olsztynie. Za wskaźnik efektywności energetycznej pracujących pomp na ujęciu przyjęto jednostkowe zużycie energii. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono słabą zależność pomiędzy czasem pracy poszczególnych pomp w analizowanym okresie a jednostkowym zużyciem energii. Przeprowadzona symulacja pracy ujęcia, w której uwzględniono zwiększone obciążenie pomp najefektywniejszych, pokazała możliwość zmniejszenia zużycia energii elektrycznej o około 12%.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, oszczędzanie energii, stacja uzdatniania wody, pompy

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Michał Duda, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Elektrotechniki Energetyki Elektroniki i Automatyki, ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn; tel. 89 524-61-57; michal.duda@uwm.edu.pl

² Daniel Chludziński, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Elektrotechniki Energetyki Elektroniki i Automatyki, ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn; tel.; tel. 89 524-61-57; daniel.chludzinski@uwm.edu.pl

1. Wprowadzenie

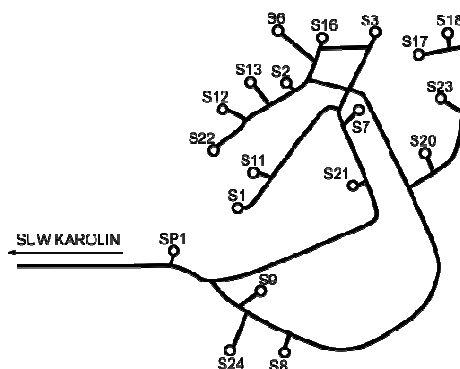
Za podstawę funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) należy przyjąć niezawodność działania, która polega na możliwości dostarczenia wody do miejsc jej użytkowania w niezbędnej ilości o wymaganych parametrach jakościowych i określonym ciśnieniu [1] oraz koszcie akceptowalnym zarówno dla producenta i odbiorcy [2].

Z uwagi na interakcję czynników technicznych, czynników związanych z otoczeniem i środowiskiem, SZW określa się mianem systemu biotechnicznego. Według [3] do cech specyficznych SZW można zaliczyć: złożoność systemu, losowy charakter zdarzeń wpływający na funkcjonowanie systemu, duży stopień automatyzacji i komputeryzacji systemu oraz występowanie zmiennych struktur niezawodnościowych (nadmiar lub niedobór wody, ciśnienie dzienne i nocne itp.).

Struktura systemu zaopatrzenia w wodę może być mniej lub bardziej rozbudowana. Podstawowe składowe SZW to: podsystem ujmowania wody, podsystem pompowania wody do stacji, podsystem uzdatniania wody i podsystem dystrybucji [4]. Nieodzownym elementem każdego z tych podsystemów jest transport cieczy. Proces ten uznawany jest za energochłonny, jak szacuje się może pochłaniać znaczne ilości energii elektrycznej, oceniane na 20-30% całej produkcji [5], a w przypadku transportu wody może stanowić nawet 7% całkowitej energii zużywanej przez społeczeństwo [6]. Straty występujące w układach pompowych wg [5] można podzielić na nieuniknione (sprawność procesów rzeczywistych poniżej 100%) i niepotrzebne typu: niewłaściwie zaprojektowany system, błędy w doborze urządzeń, czy też zła eksploatacja. Gro przyczyn powstawania strat niepotrzebnych jest trudne do wyeliminowania wskutek braku możliwości sfinansowania kompleksowej modernizacji systemu, ale z uwagi na skalę, zagadnienie pozostaje nadal aktualne. Propozycje metod optymalizacji, a tym samym poprawy efektywności energetycznej SZW przedstawiono w pracach [1, 6, 7, 8].

2. Stacja uzdatniania wody „Karolin”

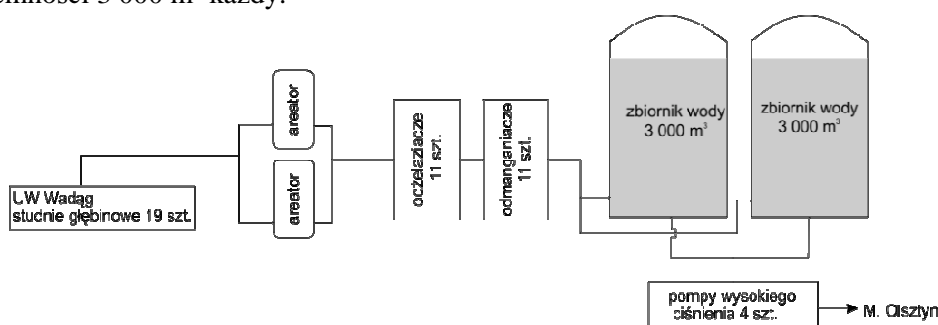
Stacja uzdatniania wody (SUW) „Karolin” jest jedną z pięciu i zarazem największą stacją wchodzącą w skład systemu zaopatrzenia w wodę miasta Olsztyn i kilku ościennych miejscowości. Stacja może dostarczyć do 32 000 m³ wody na dobę, gdzie wszystkie razem ujęcia pozyskują do 59 000 m³/dobę wody. Woda do SUW Karolin pobierana jest z ujęcia Wadąg oddalonego o 3 km od stacji. W skład ujęcia wchodzi 19 studni głębinowych o łącznej wydajności 1 350 m³/h podłączonych do jednego rurociągu zbiorczego. Woda z ujęcia do stacji tłoczona jest bezpośrednio przez pompy głębinowe. Rozmieszczenie studni oraz schemat ich połączenia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ujęcie wody „Wadąg” – rozmieszczenie studni i schemat połączeń

Fig. 1. Water intake „Wadąg” – equipment location and circuit diagram

Wydajność ujęcia Wadąg regulowana jest poprzez włączanie dodatkowych lub wyłączanie pracujących studni. Zazwyczaj pracuje dziesięć z dziewiętnastu pomp głębinowych, ponieważ średnie zapotrzebowanie miejskiej sieci wodociągowej ze stacji Karolin wynosi 680 m³/h, co stanowi około 50% wydajności ujęcia Wadąg. Pozyskiwana woda z ujęcia, należy do wód średnio twardych, zawiera ponadnormatywną ilość związków żelaza i manganu, natomiast pod względem bakteriologicznym spełnia normy i nie wymaga chlorowania. Schemat procesu technologicznego uzdatniania wody w SUW Karolin przedstawiono na rysunku 2. Woda surowa z ujęcia w pierwszej kolejności trafia na dwa aeratory, gdzie przeprowadzany jest proces napowietrzania. Następnie z aeratorów kierowana jest na pierwszy stopień filtracji w celu usunięcia tlenków żelaza, po czym przepuszczana jest przez filtry drugiego stopnia tak zwane odmanganiacze. Po filtracji, uzdatniona woda gromadzona jest w dwóch podziemnych zbiornikach o pojemności 3 000 m³ każdy.



Rys. 2. Schemat procesu technologicznego uzdatniania wody SUW „Karolin”

Fig. 2. Water treatment station “Karolin”: schematic of the technological process

Dystrybucja uzdatnionej wody z podziemnych zbiorników do miejskiej sieci wodociągowej odbywa się za pośrednictwem dwóch pomp wysokiego ciśnienia. Pompy ustawione są na utrzymywanie stałego ciśnienia, a ich wydajność jest płynnie regulowana za pomocą falowników. W celu zabezpieczenia przed ewentualną awarią podsystemu dystrybucji wody, stacja wyposażona jest w cztery pompy tłoczące wodę do miasta, przy czym zwykle pracują dwie, a w nocy tylko jedna.

3. Analiza i dyskusja wyników

Na potrzeby przeprowadzenia analizy energetycznej proces zaopatrzenia w wodę miasta Olsztyn przez SUW Karolin podzielono na trzy etapy:

- etap 1 – ujęcie wody surowej,
- etap 2 – filtracja (uzdatnianie wody surowej),
- etap 3 – dystrybucja wody do miejskiej sieci wodociągowej.

Analizując moc elektryczną zainstalowanych urządzeń i czas ich pracy, oszacowano wstępnie udział procentowy zużycia energii elektrycznej na poszczególnych etapach produkcji wody. Z przeprowadzonej oceny wynika, że najbardziej energochłonny jest etap dystrybucji, który pochłania około 50% energii elektrycznej zużywanej przez zakład w realizowanym procesie. Równie energochłonny jest etap poboru wody 46% ogólnego zużycia energii, natomiast uzdatnianie wody (filtracja) pochłania jedynie 4% energii elektrycznej zużywanej w procesie [9].

Ze względu, iż w Stacji dystrybucja wody jest realizowana przez nowoczesne pompy z płynną regulacją obrotów, a ilość energii związana z filtracją jest niewielka, analizę możliwości ograniczenia zużycia energii zawężono do etapu ujęcia wody surowej. We wspomnianym etapie, zużycie energii związane jest z pracą 19 pomp głębinowych, których wydatek cieczy regulowany jest poprzez dławienie przepływu w zależności od zalecanej wydajności studni.

Za wskaźnik oceny energetycznej pracy pomp głębinowych przyjęto jednostkowe zużycie energii przetłaczania 1 m³ cieczy – wzór (1) [5],

$$e = \frac{\Sigma E}{\Sigma Q} \quad (1)$$

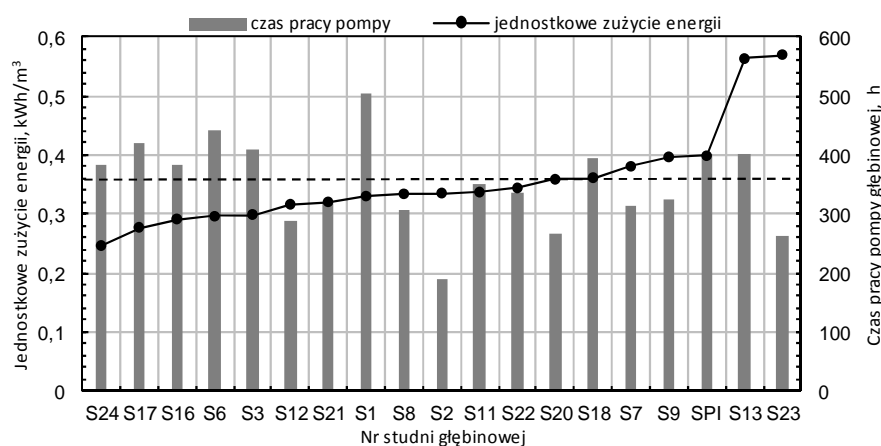
gdzie: ΣQ – ilość cieczy przetłoczonej przez obiekt pompowy [m³],

ΣE – ilość energii zużyta do przetłoczenia ΣQ cieczy [kWh].

Analizę przeprowadzono na podstawie aktualnego, miesięcznego zapisu parametrów pracy ujęcia Wadąg (kwiecień 2016 r.). Obliczona wartość jednostkowego zużycia energii dla poszczególnych pomp zawiera się w zakresie od 0,24 kWh/m³ (studnia SW24) do 0,56 kWh/m³ (studnia S22). Różnica między skrajnymi wartościami jednostkowego zużycia energii jest ponad dwukrotna, co

wskazuje na to iż, znaczący wpływ na całkowitą ilość zużytej energii może mieć wybór studni oraz czas jej pracy. Czas pracy i jednostkowe zużycie energii poszczególnych pomp głębinowych ujęcia Wadąg pracujących w miesiącu kwietniu przedstawiono na rysunku 3, gdzie linią przerywaną zaznaczono wartość średnią jednostkowego zużycia energii. Jak można zauważyć, nie widać bezpośredniej zależności czasu pracy poszczególnych pomp i ich jednostkowego zużycia energii. Współczynnik korelacji w analizowanym przypadku jest ujemny i wyniósł - 0,2. Wskazuje to na bardzo słabą zależność czasu pracy i jednostkowego zużycia energii poszczególnych pomp na ujęciu.

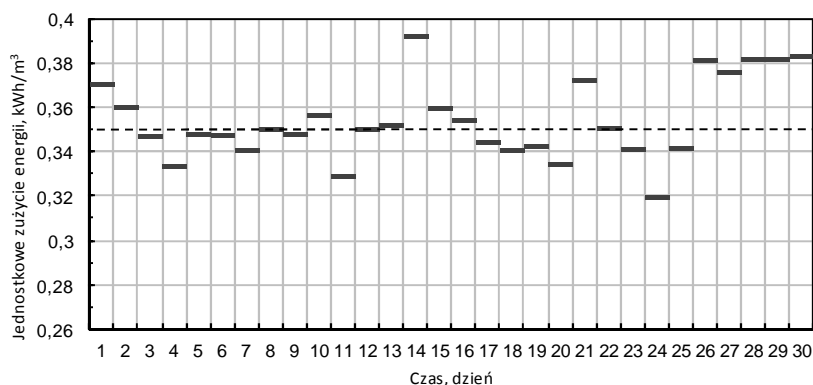
W rozpatrywanym miesiącu pompy głębinowe z ujęcia Wadąg przetłoczyły 461 520 m³ wody zużywając przy tym 158 040 kWh, co daje 0,34 kWh zużytej energii elektrycznej na 1 m³. Wartość ta jest mniejsza od średniej wartości jednostkowego zużycia energii elektrycznej wyznaczonej dla pomp głębinowych pracujących w miesiącu kwietniu, która wyniosła 0,35 kWh/m³.



Rys. 3. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej oraz czas pracy pomp

Fig. 3. The specific electricity consumption and water pumps working time

W analizowanym okresie, można zauważyć dobowe zmiany jednostkowego zużycia energii ujęcia (Rys. 4). Co prawda zróżnicowanie zmienności tej wielkości jest raczej słabe – klasyczny współczynnik zmienności KWZ = 5%. Odnosząc jednakże różnicę wartości maksymalnej wynoszącej 0,39 kWh/m³ i minimalnej 0,32 kWh/m³ do ilości wody pobranej z ujęcia w analizowanym miesiącu otrzymujemy o 32 300 kWh zmniejszone zużycie energii elektrycznej. Z kolei porównując najbardziej i najmniej efektywny dzień pracy pomp głębinowych i biorąc przy tym średnią wydajność ujęcia, różnica zużytej energii to około 1 058 kWh na dobę.



Rys. 4. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej ujęcia Wadąg (kwiecień 2016)

Fig. 4. The water intake “Wadąg” specific electricity consumption in April 2016

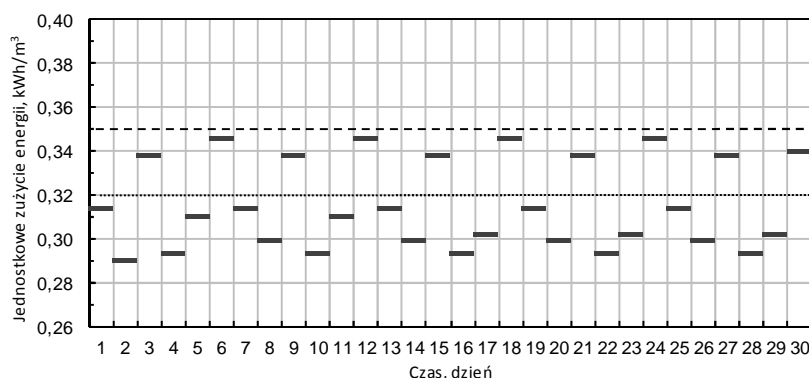
Prawidłowa eksploatacja ujęcia wyklucza pracę wyłącznie najefektywniejszych studni, ponieważ zbyt długi czas przestoju studni obniża jej wydajność. W przypadku analizowanego ujęcia przyjęte jest, że czas przestoju studni w okresie letnim nie powinien przekraczać pięciu dni, a w zimowym dwóch dni. Uwzględniając powyższe i przy zwróceniu szczególnej uwagi na jednostkowe zużycie energii poszczególnych pomp, opracowano przykładowy harmonogram pracy studni zapewniający pozyskanie takiej samej ilości wody z ujęcia jak w analizowanym miesiącu. Czynniki, które są równie istotne przy tworzeniu harmonogramu pracy studni a nie zostały uwzględnione w opracowanym harmonogramie, jest nakładanie się lei depresji (zjawisko podbierania wody przez studnie) oraz zjawisko wzajemnego dławienia się pomp wskutek tłoczenia wody do wspólnego rurociągu.

W miesiącu kwietniu pozyskano z ujęcia Wadąg 461 520 m³ wody kosztem zużycia 163 282 kWh energii elektrycznej. Według opracowanego, optymalnego harmonogramu taką samą ilość wody można pozyskać z ujęcia zużywając 143 100 kWh energii elektrycznej i zaoszczędzając w ten sposób 20 182 kWh energii. Zakładając, że proponowany harmonogram pracy ujęcia wody może być realizowany tylko w okresie gdy temperatura otoczenia jest powyżej 0°C, czyli około siedmiu miesięcy w roku (od kwietnia do listopada), daje to potencjalną oszczędność na poziomie 140 000 kWh. Przy jednostkowej cenie energii elektrycznej 0,5 zł za 1 kWh, można zaoszczędzić blisko 70 000 zł rocznie.

Na rysunku 5 przedstawiono jednostkowe zużycie energii elektrycznej przez zestaw pompowy pracujący w danej dobie – przykładowy wariant optymalny. Linia przerywaną zaznaczono wartość średnią jednostkowego zużycia energii ujęcia w miesiącu kwietniu, natomiast linia wypunktowana przedstawia średnie jednostkowe zużycie energii ujęcia dla wariantu optymalnego.

Rozpatrując uzyskaną oszczędność energii elektrycznej w aspekcie pozyskania takiej samej ilości energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej, przy

założeniu średniorocznej produkcji energii z 1 kWp na poziomie 1000 kWh [10] należy zainstalować ogniwa fotowoltaiczne o mocy 140 kWp. Uwzględniając cenę 1 kWp na poziomie 5 800 zł [11], koszt takiej instalacji wyniósłby 812 000 zł.



Rys. 5. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej ujęcia „Wadąg” – wariant optymalny

Fig. 5. The water intake “Wadąg” specific electricity consumption – optimum variant

4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza energetyczna wskazuje na występowanie potencjalnych możliwości zaoszczędzenia energii elektrycznej w podsystemie ujęcia wody surowej badanego zakładu. Oszczędności te mogą zostać osiągnięte na drodze optymalizacji harmonogramu pracy studni. Jednakże z uwagi na specyfikę tego podukładu, nie jest możliwe stworzenie uniwersalnego harmonogramu. Przedstawiony w pracy harmonogram jest teoretycznym rozważaniem, które wymaga weryfikacji niemniej jednak nawet częściowa jego realizacja powinna przynieść wymierne korzyści finansowe przedsiębiorstwu.

Zoptymalizowanie pracy ujęcia wody surowej wymaga bieżącego i pełnego monitoringu wszystkich parametrów studni, co też w najbliższej przyszłości zakład planuje zrealizować poprzez modernizację i rozbudowę obecnego systemu.

Literatura

- [1] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trąbaczkiewicz H.: Niezawodność wodociągów i kanalizacji, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1993.
- [2] Szymik-Gralewska J., Zimoch I.: Zasady optymalizacji niezawodności eksploatacji stacji uzdatniania wody, Monografia - XXIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód- WODA 2014”, s. 157-178.
- [3] Lubowiecka T. Wiczysty A. Bednarczyk T.: O potrzebie wprowadzenia probabilistycznych metod badania i projektowania systemów zaopatrzenia w wodę, Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Aktualne problemy badawcze, projektowe i eksploata-

- cyjne wodociągów i kanalizacji, Wydawca Przedsiębiorstwo INSTAL-compact Sp. z o.o., Kraków 1995.
- [4] Denczew S.: Niezawodność funkcjonowania i niezawodność bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę na przykładzie m. st. Warszawy, Warszawa 2002, files.pwi.edu.pl/files/denczew.doc {dostęp: 10.05.2016 r.}.
- [5] Jędral W.: Efektywność energetyczna pomp i instalacji pompowych. Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Warszawa 2007.
- [6] Coelho, B.; Andrade-Campos, A.: Efficiency achievement in water supply systems— A review. Efficiency achievement in water supply systems – A review, vol. 30, 2014, pp. 59-84.
- [7] Feldman M.: Aspects of energy efficiency in water supply systems. In: Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference, South Africa, 2009.
- [8] Piechocki J., Jaroszewska E.: Wykorzystanie OZE do zasilania zespołów pompowych wody pitnej w układach hybrydowych, Wodociągi – Kanalizacja, NR 5(135)/2015, s. 52-53.
- [9] Blajer M.: Analiza energetyczna procesu uzdatniania wody w stacji "Karolin" - studium przypadku, Praca inżynierska, 2016, Uniwersytet Warmińsko–Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych.
- [10] Mirowski T., Sornek K.: Potencjał energetyki prosumenckiej w Polsce na przykładzie mikroinstalacji fotowoltaicznych w budownictwie indywidualnym, Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, 2(18)/2015, s. 73-84.
- [11] <http://fotowoltaika.corab.eu> {dostęp: 10.05.2016 r.}.

ANALYSIS TO REDUCE ELECTRICITY CONSUMPTION IN WATER SUPPLY SYSTEM, CASE STUDY: WATER TREATMENT STATION “KAROLIN” IN OLSZTYN

S u m m a r y

Is estimated that water supply networks responses for around 7% total electricity consumed by society. The water pumps are the most energy consuming equipment of the network. Usually, the energy efficiency improvement of working water pump (or pump's group) leads to significant investment costs. The complex view on the whole water supply system can reduce electricity consumption without any additional costs. The savings magnitude depends on the water supply company specification. This work presents the analysis of water intake working in one chosen month. Case study was involved for water treatment station “Karolin” in Olsztyn. The specific energy consumption was hired as the water pumps energy efficiency indicator. The analysis proved the weakly dependence of water pumps working time and the specific energy consumption. Based on the water intake working simulation with condition of increasing the workload of the most efficient water pumps stated that the electricity reduction possibility is 12% of total consumption.

Keywords: energy efficiency, energy saving, water treatment system, water pumps

DOI:10.7862/rb.2016.252

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Joanna DUDEK¹

SPACE FOR PEOPLE IN A CONTEMPORARY CITY - WHAT ARCHITECTURAL AND TOWN PLANNING SOLUTIONS HELP IN SHAPING A FUNCTIONAL AND CONVENIENT STREET?

One of the basic ingredients of the city tissue are streets. Closely related to the buildings, they defined the pattern of the tissue, or constituted its derivative. The street has always been an important element shaping the character of a city. It played not only the role of transport, but also served as a place for meetings and trade exchange. According to the contemporary urban planning trends, while designing building complexes one should employ an interdisciplinary approach. Apart from classical engineering one should also use the achievements of sociology and psychology. Besides the proportions of a horizontal surface, the architectural solutions of buildings in a street have the most significant influence on the way that a street is perceived by its users. The examples of guidelines on shaping the right space of a street are as follows: the right height of buildings, their location relative to the street or the right arrangement of window and door openings. The purpose of the article is to introduce and compile the sources describing the urban planning and architectural guidelines that influence the creation of a people-friendly street. The analyzed texts concern both architectural solutions and issues from the field of psychology of space.

Keywords: public places, street design, urban planning and architectural guidelines, psychology of space

A city is a complex spatial and functional structure. The transport layout with the network of streets and squares constitutes its basic component. Wojciech Wicher, in his doctoral thesis "The Studies in Typology of a Street As an Element of Urban Analysis" attempts to define what a street is. The first definition refers to its formal and legal status:

„A street is a strap of land legally delineated by lines, designated for traffic or stopping of vehicles, as well as for pedestrian traffic, and what is more, for constructing engineering fittings.” [8]

¹ Joanna Dudek, Rzeszow University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland, jdudek@prz.edu.pl

The author considers that definition incomplete and thus quotes another one describing the function of a street as an element crystallizing the urban planning composition:

“In the spatial sense, a street is comprised of its buildings that, through their scale, typology and functions residing in them, shape the character of a street as the urban planning interior.”

Furthermore, the author emphasizes the sociological phenomenon of a street:

“A street is the total of social activity centered inside a space defined by the surrounding buildings and generated by their inherent functions.” [8]

Therefore, the role of a street network in a city is very complex. The aim of a road designer, urban planner and architect is to design streets that will simultaneously perform their transporting function and be an efficient public space. It is important that these two aspects are taken into account as equally significant during the designing process. Only then is there a chance of developing a city in a balanced and equitable way. It should be noted that achieving such balance is possible through the right organization of city transport and through elimination of transit traffic from the city centre and residential districts. A properly designed street is space where a lot of activities take place. Various human activities have direct influence on the development of trade and services, security level and real estates' value. But most of all, the way transport is organized has impact on the quality of human life. These actions may result in development, an increase in the attractiveness and the value of a city or a district. At the same time wrong decisions connected with designing may result in degradation of the area.

The contemporary designing trends respond to today's society's requirements and its current needs. Searching for guidelines on shaping a street as a modern public space, researchers also analyze the historical urban planning processes. The knowledge of positive solutions from the past helps to shape a street space for the future. City streets were built in various ways over the centuries. In this part of the article I shall refer to the historical periods that brought significant changes in the approach to creating a street in a city.

A loose form of the street layout was characteristic of the Middle Ages. Traffic routes were planned merely to the extent that was necessary for separating individual areas of usage and were adjusted to topographical conditions. First and foremost streets were supposed to be useful, therefore, their shape depended on the needs of inhabitants. They were usually narrow as they were used mainly for pedestrian traffic. The greatest number of examples of medieval cities with this limited layout that survived in almost unaltered form can be found in Italy and former Yugoslavia. In Poland the first instances of locating cities based on German law happened at the end of the thirteenth century. Cracow, Poznan and Lviv are examples of cities that assumed geometric layout at that time.

The Renaissance developed a trend of designing cities with regular street layout. The appearance and the spatial effect of buildings created through the building development of a street were of the greatest importance to the designers of this historical period. Space between buildings was supposed to be optimally adjusted to transport and formal social functions such as marches and processions. Pamanova is the epitome of renaissance designing ideas – a city and a fortress in the north of Italy. In the main square Piazza Grande with surface area of 30 000 square meters, which is believed to be too large for a city with surface area of 13 square kilometers, there meet streets of stellar layout. Each street regardless of location or function is 14 meters wide.

In the Enlightenment the wheeled transport develops more and more. It forces city authorities to properly regulate streets, improve the road surface and build pavements. A new model of a city is not created. Urban layouts are developed based on Renaissance models. Streets designed in this historical period were straight and wide. Planting shrubs and trees along routes was the origin of the new types of streets: avenues and boulevards.

Functionality brought a major change to the way that cities were shaped. Designers creating in accordance with this trend rejected contemporary urban planning solutions based on streets and squares. They were replaced with paths and roads as well as vast, spatially indeterminate lawns that were not defined by buildings. Buildings designed in a loose layout were supposed to provide inhabitants with hygienic conditions of life. Dark and stifling flats were replaced with bright and airy ones. Small, dim quarter tenement house yards were replaced with extensive green space. Today we know that solutions aiming at improving hygiene and inhabitants' comfort of living in buildings resulted in mitigation of social life and interaction. Distances between buildings created better living conditions but they generated space that hindered outdoor activity. Its significant decrease limited human relationships. Functionality required isolating areas of building development of a single function each. The rapid advancement of motorization favoured the separation of functions. The car changed the way that a street is used in a major way. The dominance of transport function increased the troublesomeness of traffic routes. An increase in noise and pollution was accompanied by a decrease in the safety of street usage. The need for greater safety of the inhabitants of adjoining buildings and pedestrians determined the necessity of greater distance between the lines of buildings and using additional road fittings. New guidelines had significant impact on designing cross sections of traffic routes. Partial or total separation of the pedestrian traffic and car traffic was an attempt to solve the increasing conflict between the two.

The end of the twentieth century is the beginning of introducing new architectural and urban planning solutions based on tried-and-tested designing methods of the past adapted to contemporary reality. In many cities building

development areas created based on functionality are given a second life. A street as an essential part of a city gains significance again.

In his book „A Street In The City Structure” Andrzej Gawlikowski writes:

“Functional specialization, which was precipitated by dynamic motorization advancement, led to distinguishing two types of streets. The first type is represented by *traffic arteries* serving almost exclusively transport and freight forwarding functions. The second type refers to *other streets* with various functions catering to the needs for a public space, a place for diverse human interactions. [...] Streets are elements of internal spatial structure of structural units delineated by (among other things) arteries.”[2]*

The author points out that the intensity of traffic and the speed of cars have influence on the character of a street. Depending on these factors a traffic route can be an integrating force or an oppressive barrier. Basically, a *traffic artery* that is a technical space should be as isolated as possible in order to eliminate any potential collisions. While “*other street*” as a public space should create conditions for users to interact. That is why it is so vital to aspire to tone down or decrease the presence of car traffic in the street space. Gawlikowski suggests that this goal can be achieved through reducing the number of traffic lanes and dedicating this space to cyclists and pedestrians, designating public transport a priority and limiting parking options. He also suggests delineating closed zones for road traffic. One should bear in mind, though, that a controlled number or a lack of cars in a street space will not automatically open a public space. It is, however, a base for further designing way.

Jan Gehl is an architect and a prominent expert in the area of shaping architecture and urban planning. He published his research on the influence of physical environment on the quality of open spaces in the book “Life Between Buildings”. In the book, he attempts to provide a recipe for lively cities and names the factors that influence a public space in a positive way. A street is a public space and it must create the right conditions for various types of activities to take place. Gehl divides these activities into necessary, optional (recreational) and social. He defines them in the following way:

„Necessary activities are the ones that are more or less obligatory – going to school or work, doing shopping, waiting for a bus [...] – in other words all activities that people are required to do to a greater or lesser extent.”[3]

„Optional activities are those that happen if there is willingness, time and place for them to take place [...] – a stroll to take a breath of fresh air, standing still to enjoy the beauty of a surrounding area, or sitting and sunbathing.”[3]

„Social activity is a type of activity that depends on the presence of other people in public spaces. Social activities include children’s play, greetings and conversations, various urban activities of people and finally – as the most common public behaviour – passive contacts that is simply watching and listening to other people.”[3]

A street is an attractive place if all the aforementioned activities appear to the same extent. It can be summarized through the following excerpt from Gehl's book:

“Any place that there are people [...] it is commonly accepted as true that people and their activity attract other people. People attract people. They gather and move with others, and they try to be close to others. New types of activity begin in the vicinity of other events that are already happening.” [3]

Jan Gehl draws our attention to transport in the streets. He names the one that activates them the most. It is the pedestrian traffic. The author points out that there are few cities in Europe where pedestrian traffic is the basis for urban traffic. An example of such a city is Venice where the citizens move on foot, the cars remain outside the very centre, and goods are transported on water canals like they were centuries ago. Implementing these solutions in other cities is possible in their centres and in housing estates. If, however, there must be car traffic in a housing estate, it should be toned down as much as possible. In Dutch cities *Woonerf* type of streets are popularly designed where cars can approach the very door of a building. Cars travel there at a very low speed overtaking on their way components of the interior such as squares or playgrounds. In a way, they are guests in the pedestrians' domain. Gehl shows us the example of such city that is Delft, where a slowed down integrated traffic system was introduced in 1969 and has been considered to be exemplary ever since. Simple and safe, the system causes the multifunctional street space to stimulate various types of activity.

The proper conditions for moving in space are important, but even more so is placing varied functions in the street area in order to enable participation in the aforementioned activities. We should create such conditions that will generate a possibility for the users to stay outside houses and cars for as long as possible. The right shaping of architecture and urban planning has direct impact on the attractiveness of places. The author of “Life Between Buildings” provides tried-and-tested designing guidelines. A selection of these guidelines will be presented in the article.

A traffic route should be defined by buildings. Preferably the buildings should be lined along a street, in a tight row, walls adjoining, which helps to avoid empty spaces between them that are difficult to adapt. The perfect examples of the aforementioned layout relative to a street are popular downtown tenement houses and terraced houses located outside the city centres. Activities between such buildings are not dispersed, they are accumulated and channeled due to such layout.

Gehl also emphasizes that, while the position of buildings relative to a street is important, the distance between a building and a street is also vital. Buildings, especially those with services on the ground floors, should not be located more than 15 meters away from a street. If the distance is greater than that, it is impossible for the observer to see what happens inside a place, he or she loses eye contact, and therefore does not feel encouraged to walk inside. For the same reasons, it is crucial that an elevation should be fitted with glass as much as

possible. The lack of eye contact lowers the attractiveness of a place, decreasing the number of potential users in a given space.

An architect designing a street must minimize the presence of so-called „*dead façades*”. It means designing frontage in the style of shopping centres, locating as many entrances to buildings or service providers as possible in a short distance. Gehl suggests that the number of entrances should be between 15 and 25 units per 100 meters of façade. The authorities of some Danish cities successfully influence the functions present in some buildings. Counteracting the creation of „dull” frontages, the local building law forbids placing functions such as offices and banks on the ground level. Other cities allow these functions on the ground floor of frontage with a limit of 5 meters length. This solution aims at maximizing the number of people moving along the façade.

Gehl encourages to make sure that all the functions of a street are on the same level. He suggests that all kinds of subways or overpasses and any means by which people disperse to different levels should be avoided. He argues that functions located horizontally even within 100 meters away from each other influence one another better than those located 3 meters above or below one another.

He also stresses that if it is possible, a so-called „*soft limit*” between a public space and a private space should be designed. It could be a small garden in front of the entrance or a porch. It allows activity to happen, and it takes place on the inhabitant’s property, but it actually happens in the street space.

Kevin Lynch, an American urban planner, the author of „*The Image of the City*,” believes that there are five elements that constitute the way observers perceive and gather information about a city. He defines them as edges, areas, hubs, landmarks and roads. He points out that traffic routes should be designed in a uniform and constant way in their entire length by means of characteristic forms of expression, in order for them to be a component of visual hierarchy of streets and city routes.

„The key routes should have certain special quality that sets them apart from surrounding traffic routes: centralization of some way of using or activity along its edges, characteristic property of a space, special texture of floor or façade, particular pattern of lighting, unique set of scents and sounds, a detail or a way of planting typical of them.”[5]²

He also encourages to keep streets straight and their direction rather unchanged, explaining that a user likes to have a sense of destination. He or she likes to see it or feel they are approaching it. That is why the main traffic routes should be divided into shorter sections to create in a user a sense of sequence. It can be achieved through characteristic buildings, narrowings or space openings that appear rhythmically. One can use asymmetry in building development, slanting in land or a change in the character of greenery every now and then.

² Gehl J.: *Life Between Buildings: Using Public Space*, RAM, Cracow 2013, page 9,10,12 and 23

Christopher Alexander points out that streets can be a kind of an urban theatre. Considered a prominent contemporary architecture theoretician, he writes in his book "A Pattern Language":

"Any subculture must have its centre for social life – a place where you can go to look at people and be seen oneself. [...] Streets should serve the purpose of spending time in them, and not merely to travel on them [...]" [1]

He describes how to create a space where diverse events can take place. A space that generates movement invites to live in it. Living space is characterized by the fact that for its every 15 to 30 square meters there is at least one person. Otherwise the areas seem dead. The author offers a few guidelines on how architecture should be shaped for it to encourage users to use the adjoining space.

Alexander describes the big influence that the height of buildings has on how a street is perceived:

"High buildings [...] do not help to create open spaces, they degrade the cityscape, ruin social life, increase crime, and make children's life harder. What is more, they are expensive to maintain, they have destructive impact on surrounding open areas, and they block light, air and views. [...] it has been established empirically that they have destructive influence on human psyche and feelings." [1].

He suggests that buildings should have a maximum of 4 storeys. For people who stay above the fourth storey the contact with what happens on the ground level diminishes significantly.

Below the fourth storey it is possible for people not only to observe but also to participate in the events that take place in the urban space. An inhabitant of a low building can easily see and hear what happens in a street. That is how he is a participant of the entire street scene.

Alexander recommends that housing buildings should not be one monolithic solid, but consist of smaller components or constitute complexes. Solids should be appropriately varied to reflect the usage by smaller social groups. In a solid of a building the windows should face a street. It is significant for the users to be able to observe life in the street. It is even more important that a building without windows facing a street causes fear in the pedestrians. These negative feelings may lead to avoiding the building. The services located on the ground level should be fitted with maximally large glass or even have sliding walls or roller-blinds. It should ensure that passers-by are interested in what happens inside buildings. The examples of functions successfully using this method are cafes, restaurants, open-air food stalls, souvenir stalls or workshops. It is different when there are flats on the lowest storey. In such a situation it is inadvisable for passers-by to look inside the buildings. The windows of flats should then be on the ground level raised 60 to 90 centimeters above the ground surface. Another means of ensuring a sense of privacy for the inhabitants is placing window slots in an alcove raised relative to the rest of the interior in such a way that window sill is 1.5 meters above the ground.

The author also draws our attention to the entrances to buildings. It is vital that they should be located in such a way that people approaching a building notice them as quickly as the building itself. Considering the fact that we often approach a building looking at it at a sharp angle, it is vital that the entrance is set apart from the entire solid in terms of shape. For example, it can be moved forward relative to the line of a building or emphasized by designing higher part of a building over the entrance. Additionally, it is worth enhancing an entrance using the right detail or a different colour in elevation.

Dividing a solid into smaller parts and enhancing entrances should improve the way a building is perceived by people, and therefore create the most pleasant space for staying and using that is possible to create.

The author points out how important in perceiving a street space is the shaping of its edge. It is this part of a street or square that social life centres around. People do not feel comfortable in the middle of an open area, and therefore it is beneficial if an edge of space is created in a way that encourages someone to stop. As Alexander claims, an edge of a street or square should be surrounded by: „[...] Pockets of activities – small, partly closed areas next to an edge that protrude into an open area between pedestrian traffic routes [...] in a natural way encouraging passers-by to stop.” [1]

These could be niches, low walls to sit on, poles, arbors, gardens, benches or arcades.

The last of the listed elements is particularly worth discussing, according to Alexander. Even though arcades are an outer part of a building, they make an impression of a generally accessible interior. They integrate the building with space available to everyone. Moving along edges in the arcades of a building gives one a feeling of security, protects from rain and sunlight, and most of all offers one an opportunity to observe things in an interesting way. This observation allows one to notice the interior of a building and its details, as well as general events happening in a street or square. Arcades should be as low as possible and supported by wide pillars that one can lean against. Pillars should be enlarged with wide beams or arches to create a feeling of closure.

„What determines the artistic value of a complex is shaping all elements that constitute its three dimensions watched and experienced by man. These elements include a floor, walls and a ceiling. [...] Creating various pictures that will provide numerous experiences depends on the shaping of these elements,” [7] writes Kazimierz Wejchert in his book „Elements of Urban Composition.” He shows that there are many factors that determine the perception of a street space that is one of the basic kinds of urban planning interior. He assigns the name the *Ceiling* of urban planning interior to the things that are found above the observer – the sky spread over the buildings and high greenery, the arcades of buildings, balconies, roofs and marquees. A *Wall* in the urban sense, according to Wejchert, comprises vertical surfaces delineated by buildings, high greenery and small architecture

(statues, sculptures, fountains) or detached points of sale. While in the context of a street he draws special attention to its final element – the floor.

„A floor, in the urban planning sense, is the area that constitutes the base for the entire complex, visible in part or in its entirety that allows one to read and feel the vastness of an interior compared to the scale of man [...] An urban planning floor surrounded by buildings, which sometimes create a complex, plays a prominent part in creating the image of a space.” [7]

It consists of the surfaces of green areas, water and hardened areas such as roadways, pavements, pedestrian routes and cycle lanes, squares and car parks.

A *floor* can also include elements of urban planning interior fittings such as seats, stairs, low walls, poles, bicycle racks, bins or low greenery under 1 meter high.

In the process of designing a harmonious interior shaping an urban planning floor gives one the greatest number of possibilities for using a detail directly influencing an observer. The design of the floor should complete the architecture of buildings. It is the designer who decides on colour and texture of a floor, the division of surfaces and the layout of their lines allowing optical adjustment of the width and length of a floor. The use of more refined materials allows the creation of more sublime space of distinct character. According to Katarzyna Pluta, the author of „Public Space of the European Cities,”

„Individually shaped material and technological solutions set apart such projects from many others. The originality of composition of premises that is achieved this way is the main factor influencing the creation of individual public space identity.”[6]*

The originality of solutions favours recognizability of a given public space in the context of an entire city, but also gives them unique identity. Spaces that are characteristic, interesting and create absorbing picture of an interior encourage one to stay in them. Pluta believes that an equally vital designing task is to ensure that every user (especially the elderly and the handicapped) is provided with equal access to a public space that is a street. According to her

„The main barriers [...] include: pavement irregularities, a lack of colour and texture marking of vertical and horizontal elements of small architecture and a lack of limiting them with curbs or bands with different colour or texture of the surface, [...] too high curbs , a lack of ramps, [...] slippery surfaces, a lack of parking spaces, a lack of pedestrian crossings in the vicinity of a building.”[6]

The task of a designer is to ensure complete accessibility to all parts of a street and eliminate all barriers that reduce the comfort of its usage.

All the creators of guidelines that are quoted in the present article had one essential goal. It was to define universal rules that should characterize a design of a new street. In terms of civilization we strive to improve the things around us, the vehicles that we travel by, rooms where we live and work. We continually increase their ergonomics, the pleasure of usage, and the safety of operating. We enhance their esthetic advantages, appreciate the modern pattern, and we often go

back to using tried-and-tested solutions from the past. The modern urban planning interior, including a street, is one of the basic units of urban planning and ought to be treated with equal or greater care. It is, after all, on the account of its scale, the environment of human life and man's use of all the named benefits of civilization. It should be, more than anything else, comfortable and build up the well-being of a society.

There is a very high level of complexity of the factors influencing the creation of a street in certain defined form. What is more, the process of its creation is seldom repeatable. The decisions of the provincial and municipal authorities have impact on the process. Then the planners creating spatial law locally and local administration employees responsible for setting road and architectural projects. Another group that has substantial influence on the shape of a street are the road and building designers operating in accordance with the binding local law. Finally, it is influenced by users who choose, consciously or subconsciously, places that they use for various kinds of their activities. Since they are forced to realize some of these activities by location of certain functions (administration, education), the aforementioned participants of the process of creating a city have even greater responsibility to ensure the comfort of usage. Many of the mentioned guidelines could be, like the quoted example of Denmark, included in the local spatial development plan. Other guidelines being too detailed, should be implemented voluntarily by informed designers. In order to make it possible, designers, planners as well as officials responsible for this area of administrative units should be familiar with this kind of rules. This way they could consciously participate in a modern designing process that requires not so much creating buildings or roads as comprehensive creation of places.

Bibliography

- [1] Alexander C.: *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, GWP, Gdańsk 2008, Translation: Kaczanowska A., Maliszewska K., Trzebiatowska M., Lenartowicz K.
- [2] Gawlikowski A.: *A Street In The City Structure*, Warsaw University of Technology, Warsaw 1992.
- [3] Gehl J.: *Life Between Buildings: Using Public Space*, RAM, Cracow 2013, Translation: Urbańska M.
- [4] Książek M.: *Auxiliary materials for studies in the field of the history of urban planning*, Cracow University of Technology, Cracow 1994.
- [5] Lynch K.: *The Image of the City*, Archivolta Michał Stępień, Cracow 2011, Translation: Jeleński T.
- [6] Pluta K.: *Public Space of the European Cities*, Warsaw University of Technology, Warsaw 2012.
- [7] Wejchert K.: *Elements of Urban Composition*, Arkady, Warsaw 1984.
- [8] Wicher W.: *The Studies in Typology of a Street As an Element of Urban Analysis*, Cracow University of Technology, Cracow 1999.

PRZESTRZEŃ DLA LUDZI WE WSPÓŁCZESNYM MIEŚCIE – JAKIE ROZWIĄZANIA ARCHITEKTONICZNE I URBANISTYCZNE POMAGAJĄ W KSZTAŁTOWANIU FUNKCJONALNEJ I WYGODNEJ ULICY?

Streszczenie

Jednymi z podstawowych składników budujących tkankę miejską są ulice. W ścisłym powiązaniu z zabudową definiowały jej układ, bądź były jego pochodną. Ulica od zawsze stanowiła ważny element kształtujący charakter miasta. Nie tylko pełniła funkcję transportową, ale również służyła mieszkańcom jako miejsce spotkań i wymiany handlowej. Szybki rozwój motoryzacji po drugiej wojnie światowej spowodował jednak zachwianie tej równowagi. Coraz więcej przestrzeni ulicy było przeznaczane pod jezdnie i parkingi. Proces ten, z pewnym opóźnieniem związanym z sytuacją polityczno - gospodarczą naszego kraju, przybrał na sile na przełomie XX i XXI w. Państwa Skandynawii, Niemcy i Holandia już w latach sześćdziesiątych zwróciły uwagę na problem dominacji samochodu w centrach miast powodujący degradację życia społecznego. Od tamtego czasu podejmowano różnorakie działania celem przywrócenia ulicom cech pozwalających użytkownikom na korzystanie z nich w sposób wygodny i bezpieczny. Dokumentacja przemian rewitalizujących przestrzeni ulicy pozwoliła na wypracowanie pewnych uniwersalnych wskazówek projektowych.

Zgodnie ze współczesnymi trendami urbanistycznymi przy projektowaniu kompleksów zabudowy należy stosować podejście interdyscyplinarne. Poza klasyczną inżynierią należy korzystać również z osiągnięć socjologii, psychologii. Na odbiór ulicy przez jej użytkowników, poza proporcjami poziomymi powierzchni, najistotniejszy wpływ mają rozwiązania architektoniczne znajdujących się przy niej budynków. Przykładowymi wytycznymi dla kształtowania poprawnej przestrzeni ulicy jest odpowiednia wysokość budynków, ich położenie względem ulicy czy właściwe rozmieszczenie otworów okiennych i drzwiowych. Celem pracy jest przybliżenie i zestawienie ze sobą źródeł, opisujących wytyczne architektoniczne mające wpływ na tworzenie ulicy przyjaznej dla ludzi. Analizowane teksty dotyczyć będą zarówno rozwiązań architektonicznych, jak i zagadnień z dziedziny psychologii przestrzeni.

Słowa kluczowe: przestrzeń publiczna, projektowanie przestrzeni ulicy, wytyczne architektoniczno - urbanistyczne, psychologia przestrzeni

DOI:10.7862/rb.2016.253

Przesłano do redakcji: 15.11.2014 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Agnieszka DUDZIŃSKA-JARMOLIŃSKA¹

NOWE FORMY ARCHITEKTURY KRAJOBRAZU KSZTAŁTUJĄCE STRUKTURY MIAST PRZYSZŁOŚCI – WYKORZYSTANIE MIKROALG

W nowej, "ekologicznej" erze budynki, parki, ciągi komunikacyjne powinny nie tylko kreować przestrzeń, ale promować nowe koncepcje związane ze świadomością odpowiedzialnego użytkownika środowiska naturalnego w miastach. Narzędziem do wdrożenia tego niesłychanie ważnego zdania mogą zostać mikroalgi. Ich zastosowanie w najprostszej postaci polega na użyciu ich jako elementu fasad budynków, zielonych części ciągów komunikacyjnych oraz jako instalacji w parkach miejskich. Mikroalgi oprócz funkcji dekoracyjnych mogą w przyszłości stać się ważnym elementem w produkcji tlenu, redukcji dwutlenku węgla, oczyszczania zanieczyszczeń z wody oraz produkcji biopaliw i żywności - gdzie budynki, parki, pasáže zmieniają swój charakter z pasywnego na mający zdolność adoptowania się i dostosowania do aktualnych potrzeb użytkowników, jako żyjący, oddychający obiekt wspomagający zrównoważone funkcjonowanie miast przyszłości.

Słowa kluczowe: mikroalgi, fotobioreaktor, zielona ściana, współczesna architektura krajobrazu

1. Wprowadzenie - znacznie funkcjonalnych kompozycji roślinnych we współczesnych miastach na przykładzie zastosowania fotobioreaktorów z mikroalgami

W dzisiejszych czasach powstaje coraz więcej nowych form architektury krajobrazu, które mają za zadanie nie tylko kreować estetyczny wizerunek miasta, ale również korzystnie wpływać na kształtowanie się jego klimatu, redukcję CO₂, oczyszczanie i magazynowanie wody, a nawet produkcję żywności. Coraz częściej dla projektantów ważne stają się problemy ochrony środowiska oraz zwiększenia bioróżnorodności w miastach (fauna i flora), a także przeciwdziałanie negatywnym skutkom urbanizacji. Stąd tak wiele nowych form kształtowania zieleni miejskiej odnosi się do skali małej, bezpośrednio związanej ze struk-

¹ Agnieszka Dudzińska-Jarmolińska, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Instytut Studiów Regionalnych i Globalnych, Zakład Geografii Rozwoju i Planowania Przestrzennego, ul. Krakowskie Przedmieście 32, 00-927 Warszawa; tel. 022 552 32 44; a.dudzinska-ja@uw.edu.pl

turą budynku lub jego bliską obecnością. W dzisiejszych czasach tradycyjne formy kształtowania architektury krajobrazu stają się zbyt drogie i nieadekwatne do oczekiwań użytkowników i mieszkańców miast. Dlatego też architekci krajobrazu powinni coraz częściej sięgać po struktury, które można nazwać "roślinnymi kompozycjami funkcjonalnymi" spełniającymi konkretne i istotne funkcje w mieście. Takimi kompozycjami mogą stać się obiekty, które w swojej strukturze zawierają mikroalgi.

Mikroalgi to organizmy małe, przeważnie jednokomórkowe, tak jak inne rośliny w procesie fotosyntezy wytwarzają biomasę, wykorzystując energię słoneczną, CO₂ oraz substancje organiczne zawarte w wodzie. Przy czym mikroalgi przeprowadzają proces fotosyntezy bardzo wydajnie, przez co produkują dziesięciokrotnie więcej tlenu niż np. drzewa. Można również znaleźć gatunki alg, które wytwarzają biomasę bez udziału światła wykorzystując do tego cukry [6].

2. Znaczenie mikroalg w kształtowaniu miast zrównoważonych

Mikroalgi zasiedlają wody słone i słodkie, a także wilgotne powierzchnie gleb. Mogą one podwajać swoją masę w czasie krótszym niż 24 godziny [6]. Posiadają wiele pozytywnych cech fizjologicznych, które nie tylko w przyszłości, ale już dzisiaj mogą wywierać znaczący wpływ na kształtowanie się miast proekologicznych. Głony te potrafią między innymi oczyszczać wodę z metali ciężkich.

Coraz częściej bierze się je pod uwagę przy produkcji biopaliw w biorafineriach (produkcja: biodiesla, bioetanolu, biogazu lub biowodoru). Można je również poddawać procesowi spalania w kogeneratorach, by uzyskać energię elektryczną oraz ciepło [3]. Może to skutecznie zmniejszyć zużycie paliw kopalnych wykorzystywanych do produkcji energii, a co za tym idzie - przyczynić się do zmniejszenia degradacji środowiska naturalnego.

Mikroalgi mogą również stać się elementem miejskiego rolnictwa. Już dziś uważa się, iż posiadają one wiele składników bioaktywnych (nienasycone kwasy tłuszczowe, barwniki i antyoksydanty). Mogą być źródłem witamin niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania ludzkiego organizmu, a także wielu bardzo cennych minerałów [4].

Mikroalgi hodowane są w otwartych basenach (niemniej jednak ta forma hodowli zajmuje zbyt dużą powierzchnię) lub też w specjalnych pojemnikach zwanych fotobioreaktorami, które mają różne kształty: między innymi płaskie prostopadłościaste ustawione w poziomie lub pod kątem, albo cylindryczne - przypominające formę długą rurę [4].

Obecnie w przestrzeni miast mikroalgi możemy spotykać na elewacjach budynków oraz jako samodzielne instalacje zlokalizowane na terenach parków i placów miejskich. W przyszłości mogą one stać się elementem umożliwiającym człowiekowi eksplorację kosmosu [5].

3. Metodyka i wyniki badań

Przeprowadzone badania miały charakter dwuetapowy. W pierwszej kolejności zapoznano się z dostępnymi źródłami pisanyymi takimi jak: literatura naukowa, materiały konferencyjne, opracowania akademickie oraz dostępne w sieci internetowej koncepcje architektoniczne i urbanistyczne. Następnie powyższe badania zostały skonfrontowane z istniejącymi projektami zastosowania mikroalg, które powstały na świecie w przeciągu ostatnich dwóch lat w podobnej do polskiej strefie klimatycznej. Dzięki tak podjętej analizie rozwiązań projektowych można przypuszczać, iż tego typu nowe formy architektury krajobrazu będzie można w przyszłości zastosować również w Polsce.

W wyniku podjętych badań i analiz tego typu "kompozycje funkcjonalne" podzielono na trzy grupy: wykorzystanie mikroalg jako elementu elewacji na ścianie budynku, kreowania przestrzeni parkowych oraz placów miejskich.

3.1. Fotobioreaktory z mikroalg jako zielone ściany

Budynki zlokalizowane w miastach są odpowiedzialne za wytwarzanie ok. 40% światowego CO₂, co jak wiadomo prowadzi do niekorzystnych zmian klimatycznych. Alternatywą dla tradycyjnych elewacji budynków mogą być szklane fasady wypełnione roztworem zasiedlonym przez mikroalgi [7].

Pierwsze fotobioreaktory, gdzie hodowane są mikroalgi na ścianach budynków, powstały w przeciągu kilku ostatnich lat. Pierwszym budynkiem gdzie zastosowano tego typu elementy jest obiekt zwany BIQ [1].

Instalację założono na dwóch ścianach po stronie południowo-wschodniej oraz zachodniej [2], przez co budynek zyskał możliwość produkcji ciepła i energii [1]. Mikroalgi zastosowane w tym projekcie odżywiają się CO₂, azotem, fosforem i mikroelementami zawartymi w wodzie pitnej. Hodowla przeprowadzana jest w obiegu zamkniętym, tak by mieć jak najmniejsze starty wody i składników odżywczych [2]. Gdy panel dojrzeje, algi są okresowo gromadzone, przetwarzane, a następnie spalane w miejscowej elektrowni w celu wytworzenia energii elektrycznej. W tym celu oddziela się masę mikroalg od wody, którą następnie zużywa się do prowadzenia nowej hodowli [10]. Ściana z alg działa jak termostat [1,2] i nie pozwala budynkowi zarówno nadmiernie się nagrzewać latem, jak i zbyt szybko wychładzać zimą [1]. Elewacja składa się z 129 modułów reaktorów, o szerokości 70 cm, wysokości 270 cm i 8 cm grubości. Panele osadzone są w metalowych ramach, gdzie znajdują się instalacje, którymi dostarczana jest pożywka oraz CO₂ wraz zanieczyszczonym przez różnego rodzaju spaliny powietrzem. Dzięki temu hodowla jest w ciągłym ruchu, glony nie opadają na dno i są równomiernie naświetlone. W czasie dnia słońce nagrzewa panele do temperatury 35 °C. Ciepło odprowadzane jest z budynku przez wymiennik ciepła [2]. Technologia została stworzona przez SSC Strategic Science Consult, we współpracy z Arup.

Elewacje budynków pokrytych fotobioreaktorami mogą przybierać różne kształty, np. po modernizacji obiektu GSA (General Services Administration) znajdującego się w Los Angeles, elewacja zyska zbiorniki z algami w formie poziomo ułożonych rur. W instalacji tej rury będą ze sobą połączone, a jej zadaniem będzie między innymi oczyszczanie ścieków i powietrza z pobliskiej autostrady. Projekt modernizacji został wykonany przez pracownię HOK [16].

W przyszłości tego typu fasady mogą pełnić wiele funkcji:

- ciepło może być wykorzystane do przygotowania ciepłej wody użytkowej lub też magazynowane,
- energia wytworzona bezpośrednio z mikroalg w biogazowniach (zbiór następuje raz w tygodniu) może być wykorzystywana przez miasto na własny użytek [2],
- wykorzystanie naturalnego światła dziennego w budynkach nie tylko pozwala obniżyć koszty związane z nadmiernym wykorzystaniem energii i wytwarzaniem ciepła, ale przyczynia się do zmniejszenia ilości absencji pracowników w ciągu roku. Elewacje z mikroalg wychwytyją konkretną barwę światła (zieloną, niebieską lub czerwoną), dzięki czemu do pomieszczenia dostają się barwy korzystne dla funkcjonowania człowieka [7,8],
- w czasie namnażania się mikroalg, przy silnej operacji słonecznej, dochodzi do zmiany koloru i (gęstości ilości) roślin w panelu, co prowadzi do zmniejszenia przepuszczalności światła, a co za tym idzie, zacinienia budynku - dzięki czemu obiekt nadmiernie się nie nagrzewa [8],
- tego typu elewacje mogą również pełnić funkcje izolacyjne przed hałasem, który może wywoływać wiele schorzeń u człowieka.

3.2. Kształtowanie przestrzeni parkowych

Właściwości kolorystyczne mikroalg (spirulina - *Arthrospira platensis*) wykorzystano w projekcie znajdującym się w Genewie. W brzozowym lesie zainstalowano fontannę wypełnioną wodą o intensywnie niebiesko - zielonym odcieniu zasiedlaną przez mikroalgii. Fontanna swoją formą nawiązuje do projektu kaskady wodnej w Villa Aldo Brandini zbudowanej w 1550 we Frascati niedaleko Rzymu. Zachowano nie tylko wygląd historyczny, ale również nie zmieniono rozmiarów założenia. Twórcami projektu jest zespół Burea A., który chciał pokazać, w jaki sposób można kształtować nowoczesne rolnictwo miejskie w przestrzeniach codziennych, gdzie poprzez kontekst historyczny nadający im romantyczny charakter - stają się tak bliskie wielu odbiorcom. Jednocześnie cały projekt znakomicie wpisuje się w naturalną przestrzeń parku i stanowi zaskakujący, estetyczny element przestrzeni, w pewnym stopniu wtapiając się w nią [14].

Innym projektem eksponowanym na terenie parku są metalowe konstrukcje wypełnione roztworem z mikroalgami, nawiązujące swą formą do drzew. Instalacja "Alga (e) Zebo" została zlokalizowana w części olimpijskiej wioski (Euston Square Gardens) w Londynie w 2012 roku. Ażurowe rzeźby z metalu (ma-

teriał z recyklingu) spełniały funkcje altan i stanowiły punkt spotkań dla osób przebywających w tej części miasta. Ażurowa forma pozwalała na kreowanie różnego rodzaju światłocienia w przestrzeni parku, wtapiając się między rosnące tam drzewa i krzewy, a jednocześnie tego typu konstrukcje mogą stać się podpórą dla roślinności pnącej. Wewnątrz konstrukcji umieszczono fotobioreaktory wypełnione mikroalgami różnych gatunków charakteryzujących się odmienną kolorystyką [12].

Przestrzenią gdzie został zaaranżowany "Algea Garden" jest park miejski znajdujący się w Quebecu. Projekt został wykonany przez Synnove Fredericks i Brende Parker. Obiekt powstał w ramach festiwalu Metis International Garden Festival. Wodny ogród składa się z prostych drewnianych ram, na których rozpięto plastikowe rury wypełnione roztworem zasiedlonym przez różne gatunki mikroalg. Instalacja została wykonana w celu nawiązania interakcji z odbiorcą przestrzeni. Każdy może przyczynić się do produkcji mikroalg w instalacji poprzez wtłaczanie do wnętrza plastikowych tub dwutlenku węgla. Tuby zasiedlają z kolei mikroalgi różnych gatunków, przez co w przyszłości instalacja będzie mienić się wieloma kolorami oraz świecić w ciemności (bioluminescencja). "Żywa rzeźba" spełnia więc nie tylko funkcje estetyczne, ale również edukacyjne, pokazując bogactwo gatunków i ich różnorodność, uczy również tego, w jaki sposób mikroalgi będzie można wykorzystać w przyszłości [9,15].

3.3. Kształtowanie placów miejskich

Mikroalgi mogą być również elementem tworzonych instalacji wzbogacających walory wizualne przestrzeni miejskiej, a jednocześnie pełnić konkretne funkcje względem użytkowników i otaczającego ich środowiska.

W projekcie "Urban Algae Folly" mikroalgi wykorzystano w konstrukcji elewacji bioaltany, która stanęła na Placu Republiki portugalskiego miasta Braga w 2015 roku. Instalacja ta nie tylko pokazuje, iż mikroalgi mogą stać się ważnym składnikiem miejskiego rolnictwa, ale spełnią także wiele innych istotnych funkcji ważnych dla osób korzystających z przestrzeni placu. Pawilon składa się z bioreaktorów wypełnionych mikroalgami (chlorella) rozpiętych na konstrukcji altany niczym skóra. Biostruktury składają się z trzech warstw materiału ETFE, w których zostały umieszczone mikroalgi. Jest ona w stanie kontrolować przepływ energii, wody i dwutlenku węgla używając do tego zmieniających się danych konkretnego środowiska, pogody i ilości użytkowników danego obszaru. Dzięki temu konstrukcja zyskuje swoistego rodzaju morfologię i może dynamicznie ulegać zmianie poprzez sterowanie zacienieniem czaszy - w zależności od aktualnych potrzeb. Gotowa czasza będzie w stanie wytworzyć tyle tlenu, ile wyprodukowałby czterohektarowy las, tj. 150 kg biomasy dziennie (z czego 60% procent stanowią naturalne białka roślinne) [11]. Tworząc swojego rodzaju zadaszenie, w cieniu którego może schronić się użytkownik jednocześnie wydychający CO₂, przyczynia się do zwiększenia produkcji O₂ przez algi. Pawilon

został zaprojektowany przez ecoLogicStudio, ma spełniać funkcje drzew oraz instalacji artystycznej. Po raz pierwszy prototyp pawilonu został zaprezentowany w czasie wystawy Expo w Mediolanie w 2015 roku. System został opracowany przez ecoLogicStudio we współpracy z Taiyo Europa.

4. Podsumowanie

W dzisiejszych czasach musimy podejmować jak najwięcej działań prowadzących do wykorzystywania nowych form aranżacji zieleni w miastach. Nowymi - do tej pory niewykorzystywanymi formami - są algi. Mogą one nie tylko subtelnie oświetlać najbliższe otoczenie, produkować tlen jednocześnie oczyszczając powietrze z zanieczyszczeń, ale również wytwarzać energię. Będą mogły również regenerować środowisko naturalne oczyszczając i magazynując wodę deszczową. Mogą stać się elementem elewacji budynków, dzięki czemu zmniejszone zostaną straty ciepła lub - w zależności od potrzeb - stworzą ochronę przed nadmiernym nagrzewaniem się ścian przy dużej operacji słonecznej. Stosując różne gatunki alg będziemy mogli w prosty sposób zmieniać wizerunek wybranych przestrzeni miejskich. Jak wynika z przedstawionych przykładów, tego typu aranżacje stają się elementami kształtującymi współczesne miasta, świadcząc o rozwoju nowych idei projektowych łączących w sobie zarówno ekologię jak i współczesną technologię, tworząc żywe instalacje. Te "żywe rzeźby" stają się dla przestrzeni miejskiej elementem symbiozy struktury nieożywionej z materią żywą, delikatną, ale również wrażliwą na brak dbałości w jej użytkowaniu. Pozwalają spojrzeć na miasto jako całość, jako ekosystem, w którym poszczególne elementy powinny ze sobą współistnieć i wzajemnie na siebie oddziaływać, by tworzyć zdrową i harmonijną przestrzeń życia dla człowieka, ale również dla zwierząt i roślin. Tego typu instalacje mają także znaczenie symboliczne, a nawet można powiedzieć filozoficzne.

Zastosowanie alg pomoże również w rozwoju miejskich farm, gdzie będzie można hodować żywność w sposób bardziej wydajny, zużywając mniej tak cennej powierzchni (uprawy w fotobioreaktorach zajmują mniej przestrzeni [13].) i efektywniej wykorzystując wodę.

W przyszłości algi mogą się stać elementem kreowania dużych obszarów parków wodnych, gdzie nie tylko będziemy mogli spędzać swój wolny czas, ale również uczyć się w jaki sposób racjonalnie wykorzystywać środowisko naturalne w naszym codziennym życiu.

Literatura

[1] <https://www.forumforthefuture.org/greenfutures/articles/building-powered-algae> {dostęp 14.05.2016 r.}.

[2] International Building Exhibition Hamburg, Smart Material House BIQ, Hamburg, 2013.

- [3] Urbańska M., Kłosowski G.: Algi jako materiał biosorpcyjny - usuwanie i odzysk metali ciężkich ze ścieków przemysłowych, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 51, 2012, s. 68-77.
- [4] Talbierz Sz., Kujawska N., Latała A.: Opatentowany fotobioreaktor do produkcji nowych leków i nutraceutyków wytwarzanych na bazie mikroalg, *Przegląd Lekarski* nr 69, 2012, s. 1031-1034.
- [5] Javanmardian M., Paison B.: Design and operation of an algal photobioreactor system, *Advances in Space Research* Vol. 12, no.5, 1992, pp. 231-235.
- [6] The Parliamentary Office of Science and Technology *Biofuels from Algae*, London No. 384 2011.
- [7] Kyoung-Hee K.: A Feasibility Study of an Algae Façade System, *International Conference on Sustainable Building Asia*, 2013, pp. 333-341.
- [8] Kolek Z.: Oddziaływanie promieniowania optycznego na człowieka: Korzystny wpływ i zagrożenia, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, zeszyt 228, 2006, s. 269-281.
- [9] <http://inhabitat.com/algaegarden/> {dostęp 14.05.2016 r.}.
- [10] <http://biomassmagazine.com/articles/9341/real-green-heat> {dostęp 14.05.2016 r.}.
- [11] <http://syndebio.com/urban-algae-canopy-ecologicstudio/> {dostęp 14.05.2016 r.}.
- [12] <http://syndebio.com/algaezebo/> {dostęp 14.05.2016 r.}.
- [13] <http://www.arup.com/projects/solarleaf> {dostęp 14.05.2016 r.}.
- [14] <http://www.designboom.com/architecture/bureau-a-spirulina-fountain-garden-folly-parc-des-evaux-confignon-geneva-01-16-2015/> {dostęp 14.05.2016 r.}.
- [15] <http://www.wayward.co.uk/work/garden/algaegarden> {dostęp 14.05.2016 r.}.
- [16] <http://www.hok.com/thought-leadership/algae-powers-process-zero-concept-building/> {dostęp 14.05.2016 r.}.

NEW CONCEPT OF LANDSCAPE ARCHITECTURE USING MICROALGAE IN CREATING CITIES OF TOMORROW

Summary

In the new ecological age, buildings, parks, communication passage do not only create spaces - they should promote the new concept of environmentally conscious in the cities. The concepts of microalgae can be the way how to do it. The simple use of these concept is to use microalgae as a part of green facades of building, green elements of communication passage, or in the city parks as a installation. It's a decorative function. But in the future microalgae can be used more like a producer oxygen, reducer CO₂, water cleaner, producer bio fuel and even food - where buildings, parks, communication passage evolve from being passive form into adaptive and responsive objects - living, breathing - supporting the cities of next generation.

Keywords: microalgae, photobioreactors, green wall, landscape architecture

DOI:10.7862/rb.2016.254

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Leszek DULAK¹
Rafał ŻUCHOWSKI²

OCHRONA PRZED HAŁASEM ZEWNĘTRZNYM W BUDYNKACH W KONTEKŚCIE WYMAGAŃ ZWIĄZANYCH Z IZOLACYJNOŚCIĄ CIEPLNĄ

Poniższy artykuł stanowi próbę spojrzenia na problem akustyki przez pryzmat wymagań energetycznych. Autorzy spróbowali określić na ile wymagania dotyczące dźwiękoizolacyjności i energooszczędności są zbieżne a na ile stoją w sprzeczności względem siebie. W artykule przypomniano krótko zależność pomiędzy izolacyjnością cieplną a dźwiękoizolacyjnością ścian. Przedstawiono zależności pomiędzy izolacyjnością akustyczną właściwą wyrażoną wartością wskaźnika R_{A2} a współczynnikiem przenikania ciepła U a także masą powierzchniową przykładowych szyb zespolonych. Przedstawiono także wyniki badań przeprowadzonych w Laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej dotyczące poprawy izolacyjności akustycznej właściwej ściany z systemem izolacji ETICS, systemem „tradycyjnym” a także systemem izolacji lekkiej suchej. Przedstawiono wykres izolacyjności akustycznej właściwej w funkcji częstotliwości dla kolejnych pasm 1/3 oktawowych w zakresie od 50 do 5000 Hz. Analiza wykresów izolacyjności akustycznej właściwej R_w oraz poprawy izolacyjności akustycznej właściwej ΔR_w w funkcji częstotliwości, jednoznacznie wskazuje na przyczynę niekorzystnego wpływu systemu ETICS wynikającą z przesunięcia częstotliwości rezonansowej w kierunku wartości średnich wynoszących od 200 do 400 Hz. Jednocześnie na podstawie wyników badań stwierdzić należy pozytywny wpływ ocieplenia wykonanego systemem „tradycyjnym” a także w technologii lekkiej suchej. Na podstawie przedstawionych w artykule wyników badań stwierdzić należy, że rozwój technologii wykonania obiektów zmusza uczestników procesu budowlanego do dokładniejszego zapoznania się z problematyką akustyki budowlanej. Przyjęcie rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych o dobrych parametrach cieplnych nie daje żadnych gwarancji osiągnięcia dobrych paramentów dźwiękoizolacyjnych przegród.

Słowa kluczowe: izolacyjność akustyczna właściwa R , poprawa izolacyjności akustycznej właściwej, współczynnik przenikania ciepła U , system izolacji cieplnej

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Leszek Dulak, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; tel. +48 509 748 878; leszek.dulak@polsl.pl

² Rafał Żuchowski, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; tel. +48 604 640 660; rafal.zuchowski @polsl.pl

1. Wprowadzenie

Skuteczna ochrona przed hałasem w budynku wymaga gruntownej analizy szeregu uwarunkowań już na etapie koncepcji projektowej budynku. Począwszy od lokalizacji obiektu, zaplanowania funkcji a skończywszy na doborze rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Nie zawsze zagadnienia te uwzględnione są w dokumentacji projektowej i pewnie dlatego problemy związane z hałasem dotyczą większej części oddawanych obecnie do użytkowania budynków; od budynków mieszkalnych począwszy, poprzez budynki zamieszkania zbiorowego i na budynkach użyteczności publicznej skończywszy. Przyczyną takiego stanu rzeczy w dużej mierze jest fakt, że budownictwo w okresie ostatnich lat mocno ewoluowało w kierunku rozwiązań energooszczędnych, a więc lekkich. Nie wystarczy już stosowanie starych, sprawdzonych rozwiązań bo takich najczęściej nie ma. W świetle powyższych zmian dotyczących technologii wykonania obiektów, konieczne jest otwarcie się projektanta na problematykę akustyki budowlanej.

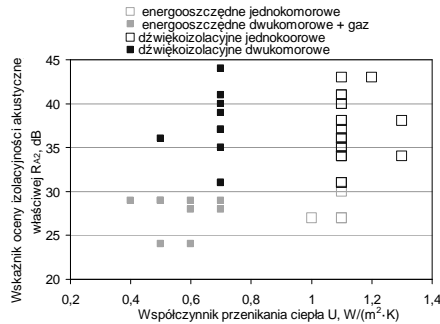
2. Związek pomiędzy izolacyjnością cieplną a izolacyjnością akustyczną właściwą

Zagadnienie dotyczące zależności pomiędzy izolacyjnością cieplną a dźwiękoizolacyjnością ścian było już w przeszłości przedmiotem analizy [1, 2]. Na podstawie artykułu [1] można stwierdzić, że opór cieplny ściany rośnie wraz ze spadkiem izolacyjności akustycznej. Ta zależność jest jeszcze bardziej wyraźna w zakresie ścian o zbliżonej grubości oraz wykonanych z jednego rodzaju materiału (ceramika, ceramika poryzowana i wyroby keramzytowe). Ponadto pustaki o układzie szczelin prostokątnym prostopadłym do powierzchni ściany mają lepszą izolacyjność akustyczną niż te z drążeniami prostokątnymi i rombowymi równoległymi do jej powierzchni przy tej samej grubości przegrody.

Drążenia o przekroju zbliżonym do kwadratu i prostokątne ułożone dłuższym bokiem prostopadle do powierzchni ściany nie powodują powstawania zjawisk rezonansowych, mają lepszą izolacyjność akustyczną lecz mają gorszą izolacyjność termiczną.

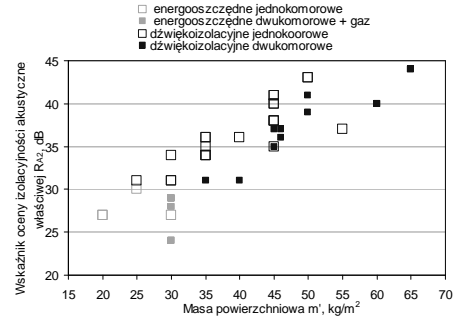
Drążenia rombowe oraz prostokątne ułożone naprzemiennie, równoległe do powierzchni przegrody powodują zjawiska rezonansowe, mają gorszą izolacyjność akustyczną lecz lepszą izolacyjność termiczną [3].

W przypadku przegrody zewnętrznej to okno jest najczęściej „słabym punktem” determinującym parametry dźwiękoizolacyjne fasady jako całości. Poniżej przedstawiono analizę dotyczącą związku pomiędzy właściwościami cieplnymi a dźwiękoizolacyjnością szyb.



Rys. 1. Zależność między wskaźnikiem R_{A2} a współczynnikiem przenikania ciepła U przykładowych szyb zespolonych, na podstawie [4]

Fig. 1. The relationship between the R_{A2} index and the heat transfer coefficient U of insulating glass units, based on [4]



Rys. 2. Zależność między wskaźnikiem R_{A2} a masą powierzchniową przykładowych szyb zespolonych, na podstawie [4]

Fig. 2. The relationship between the R_{A2} index and the surface weight of insulating glass units, based on [4]

Na podstawie rysunku 1 stwierdzić należy, że dobre parametry termoizolacyjne nie idą w parze z wysoką dźwiękoizolacyjnością. Współczynnik przenikania ciepła U zestawu szybowego zależy w głównej mierze od liczby komór, rodzaju wypełnienia komór (powietrze lub gaz szlachetny) oraz tego czy naniesiona została powłoka metaliczna. Na rysunku rozróżniono zestawy jedno i dwukomorowe. Dodatkowo wszystkie zestawy dwukomorowe w wersji energooszczędnej posiadały wypełnienie przestrzeni międzyszybowej gazem szlachetnym. Żadne z rozwiązań oferowanych jako energooszczędne nie uzyskało izolacyjności akustycznej właściwej wyrażonej wartością wskaźnika R_{A2} wyższej od 30 dB (wymagane niezbędne minimum dla większości przegród zewnętrznych [5]). Dwa zestawy wyróżniają się negatywnie na tle pozostałych rozwiązań. Są to zestawy dwukomorowe 4/18/4/18/4 z odległością pomiędzy szybami 18 mm. Jest to największa szerokość ramki dystansowej spośród rozpatrywanych zestawów i wyraźnie wpływa ona na obniżenie izolacyjności akustycznej. Obniżenie to występuje w szczególności dla wskaźnika R_{A2} co oznacza, że dla średnich i niskich częstotliwości zestaw charakteryzuje się gorszymi parametrami dźwiękoizolacyjnymi niż analogiczny 4/12/4/12/4 (ramka 12 mm). Dla tego zestawu wartość R_{A2} jest o 5 dB wyższa i wynosi 29 dB. Większość zaprezentowanych rozwiązań osiąga wartość wskaźnika U wynoszącą 0,7 lub 1,1 $W/(m^2 \cdot K)$ i jest to bezpośrednio powiązane z wymaganiami dotyczącymi oszczędności energii występującymi w warunkach technicznych [6]. Powyższe wartości U pozwalają na realizację okien spełniających wymagania $U(\max) = 1,3 W/(m^2 \cdot K)$ oraz $U = 0,9 W/(m^2 \cdot K)$ - wymóg powiązany z powierzchnią $A_{0\max}$. Dla tych rozwiązań parametry akustyczne wahają się od zupełnie przeciętnych po bardzo dobre. Sporo wyjaśnia rysunek 2 na którym przedstawiono zależność pomiędzy izola-

cyjnością akustyczną właściwą wyrażoną wartością wskaźnika R_{A2} a masą powierzchniową zestawu szybowego.

Tabela 1. Wpływ systemu ociepleń ETICS na izolacyjność akustyczną właściwą przegród, na podstawie [3], [7]

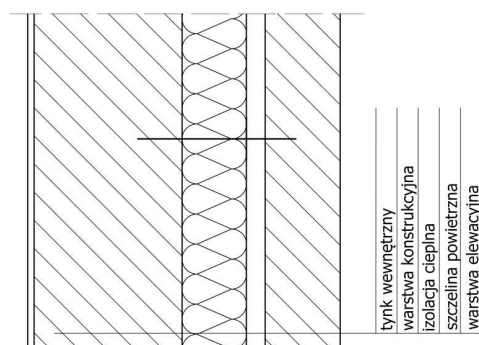
Table 1. Effect of the system ETICS on sound insulation of the wall, based on [3], [7]

Ścian bazowa (bez ocieplenia) $R_w (C; C_{tr})$, dB	System ocieplenia	Wskaźniki izolacyjności akustycznej dla ściany ocieplonej, dB			
		$R_w (C, C_{tr})$	ΔR_w	ΔR_{A1}	ΔR_{A2}
1) beton komórkowy 500 kg/m ³ , gr. 25 cm 48(-2;-5) [3]	wełna mineralna lamelowa 90 kg/m ³ , gr. 80 mm + tynk gr. 3 mm	44(-1;-3)	-4	-3	-2
2) beton komórkowy 500 kg/m ³ , gr. 25 cm 48(-2;-5) [3]	EPS 15 kg/m ³ , gr. 100 mm + tynk gr. 3 mm	44(-1;-3)	-4	-3	-2
3) bloczki wapienno- piaskowe gr. 24 cm 52(0;-5) [7]	EPS 040, gr. 150 mm + tynk gr. 2 mm	47(0;-4)	-5	-5	-4
4) bloczki wapienno- piaskowe gr. 24 cm 52(0;-5) [7]	EPS PLUS gr. 150 mm + tynk gr. 2 mm	53(-3;-9)	1	-2	-3
5) ceramika drążona MEGA-MAX 240 P+W gr. 24 cm 45(0;-3) [7]	EPS 040 gr. 150 mm + tynk gr. 2 mm	43(0;-3)	-2	-2	-2
6) ceramika drążona MEGA-MAX 240 P+W gr. 24 cm 45(0;-3) [7]	EPS PLUS, gr. 150 mm + tynk gr. 2 mm	47(-2;-6)	2	0	-1
7) ceramika drążona MEGA-MAX 240 P+W gr. 24 cm 46(0;-2) [7]	wełna szklana gr. 150 mm, 20 kg/m ³ na ruszcie alumi- niowym, okładzina z płyt HPL gr. 8 mm, gęstość ≥1350 kg/m ³	66(-1;-6)	20	19	16
8) ceramika drążona MEGA-MAX 240 P+W gr. 24 cm 45(0;-3) [7]	wełna mineralna gr. 100 mm, pustka powietrzna 30 mm, cegła klinkierowa 120 mm,	71 (-2;-7)	26	24	22

Wyniki wyraźnie wskazują na korelację pomiędzy tymi dwoma parametrami. Wynika to w oczywisty sposób z „prawa masy” które mówi, że izolacyjność akustyczna rośnie proporcjonalnie do częstotliwości dźwięku oraz masy przegrody. Należy w tym miejscu wyjaśnić, że oczywiście istnieją szyby spełniające wymagania zarówno energooszczędne jak i dźwiękoizolacyjne. Powyższe wykresy pokazują jedynie, że wysokie parametry dźwiękoizolacyjne nie są bezpośrednio związane z dobrymi parametrami energooszczędnymi i błędne jest założenie, że realizując obiekt o bardzo dobrych parametrach cieplnych spełnienie wymagań akustycznych otrzymamy tak czy inaczej.

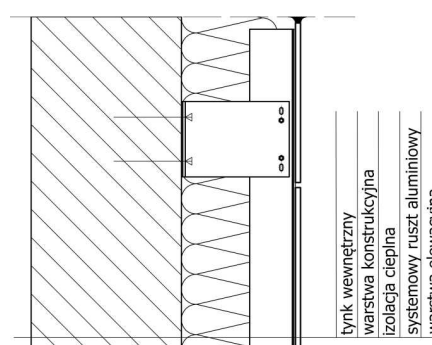
Negatywny wpływ systemu ociepleń ETICS (External Thermal Insulation Composite System) na parametry dźwiękoizolacyjne przegrody zewnętrznej jest ogólnie znany. W tabeli 1 pokazano wyniki badań laboratoryjnych poprawy izolacyjności akustycznej właściwej w odniesieniu do ścian bazowych wykonanych z betonu komórkowego, ceramiki drążonej oraz bloczków silikatowych (rys. 3-6). Zarówno w przypadku izolacji termicznej w postaci styropianu EPS jak i wełny mineralnej lamelowej obserwuje się znaczący spadek izolacyjności akustycznej. Spadek ten jest tym większy im wyższa jest masa powierzchniowa ściany bazowej. Zmniejszenie negatywnego wpływu systemu ETICS zaobserwowano dla modyfikowanego poprzez elastyfikację styropianu pod nazwą EPS PLUS.

Alternatywą dla systemu ETICS mogą być inne rozwiązania ocieplenia, do których zaliczyć można ocieplenie wykonane w postaci technologii lekkiej suchej lub ściany „tradycyjnej” (ściana trójwarstwowa ze szczeliną powietrzną i murowaną warstwą elewacyjną) [7, 8]. Dla obu tych rozwiązań zaobserwowano zdecydowany wzrost izolacyjności akustycznej właściwej w całym zakresie częstotliwości o czym świadczą dodatnie wartości wskaźników R_{A1} i R_{A2} oraz analiza wyników przedstawionych na rysunkach 7 i 8.



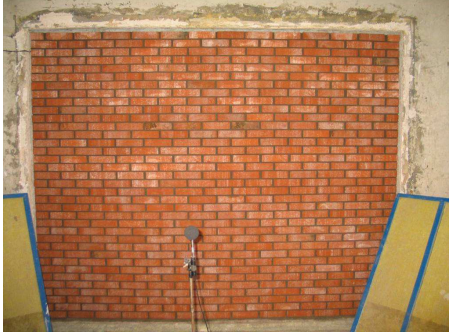
Rys. 3. Ściana „tradycyjna” warstwowa z pustką powietrzną, na podstawie [7]

Fig. 3. “Traditional” wall with air gap, based on [7]



Rys. 4. Ściana z ociepleniem w technologii lekkiej suchej, na podstawie [7]

Fig. 4. The wall with light dry insulating, based on [7]



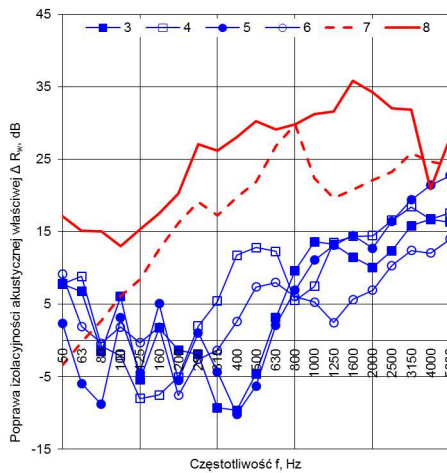
Rys. 5. Ściana „tradycyjna” podczas badań laboratoryjnych, na podstawie [7]

Fig. 5. The “traditional” wall in laboratory tests, based on [7]



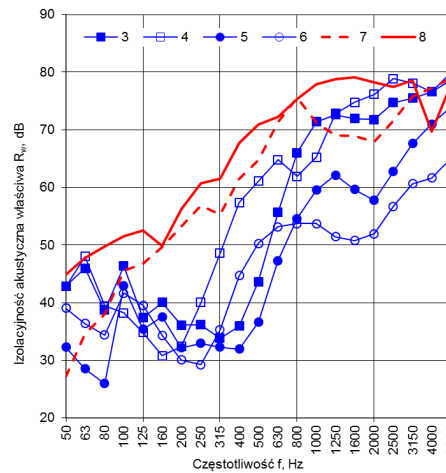
Rys. 6. Ściana z ociepleniem w technologii lekkiej suchej podczas badań laboratoryjnych, na podstawie [7]

Fig. 6. The wall with light dry insulation in laboratory tests, based on [7]



Rys. 7. Poprawa izolacyjności akustycznej właściwej ΔR w funkcji częstotliwości dla ścian z izolacją cieplną, na podstawie [7] (oznaczenia przegród wg tabeli 1)

Fig. 7. Improvement of sound reduction index ΔR as a function of frequency of walls with thermal insulation (marking walls according to Table 1), based on [7]



Rys. 8. Izolacyjność akustyczna właściwa R w funkcji częstotliwości dla ścian z izolacją cieplną, na podstawie [7] (oznaczenia przegród wg tabeli 1)

Fig. 8. Sound reduction index R as a function of frequency of walls with thermal insulation (marking walls according to Table 1), based on [7]

3. Wnioski

Na podstawie przedstawionych analiz stwierdzić należy, że osiągnięcie dobrych paramentów dźwiękoizolacyjnych przegrody nie jest możliwe do uzyskania poprzez tylko i wyłącznie przyjęcie rozwiązań o dobrych parametrach cieplnych. Niestety nie jest tak, że dobierając okna o bardzo dobrych parametrach cieplnych, dźwiękoizolacyjność otrzymamy niezależnie od tego czy przeprowadzimy odpowiednią analizę akustyczną. W przypadku części pełnej ściany sytuacja jest jeszcze bardziej jednoznaczna. Możemy być pewni, że stosując materiały lekkie o niskim współczynniku przenikania ciepła możemy być pewni, że odalamy się od kwestii ochrony akustycznej. Powyższe analizy wskazują, że trudno jest przy uwzględnieniu aktualnie obowiązujących wymagań o proste wytyczne dotyczące parametrów akustycznych przegród i elementów budowlanych. Znowelizowana norma [5] daje możliwość dokładniejszego określenia wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej przegrody. Jednocześnie wymaga to ze strony projektanta większego nakładu pracy i wiedzy z zakresu akustyki.

Literatura

- [1] Zębała K., Zastawna-Rumin A., Kłosak A., Dulak L.: Relation between partition thermal resistance and sound insulation single and multilayer walls. Czasopismo techniczne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2012.
- [2] Nurzyński J.: Thermal insulation system ETICS – is thermal performance in line with the acoustics? Czasopismo techniczne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2012.
- [3] Szudrowicz B. Akustyka budowlana. Budownictwo ogólne tom 2, fizyka budowli. Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Piotra Klemma. Arkady Warszawa 2005.
- [4] http://glassolutions.pl/sites/default/files/documents/szyby_do_okien_inside.pdf {dostęp 10.05.2016 r.}.
- [5] PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz. U. Nr 75, poz. 690]. Wraz z późniejszymi zmianami.
- [7] Projekt własny „Prognozowanie właściwości termicznych i akustycznych zewnętrznych przegród budowlanych o złożonej strukturze” współfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (nr 4308/B/T02/2009/36). Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska.
- [8] Dulak L. Możliwości poprawy izolacyjności akustycznej budynków. Izolacje 2015 (nr 10), s. 72-78.

INSULATION OF BUILDING AGAINST EXTERIOR NOISE IN THE CONTEXT OF THERMAL INSULATION

Summary

The following article is an attempt to look at the acoustic problem from the perspective of energy requirements. The authors attempted to determine whether the sound requirements go hand in hand with energy efficiency. Or on the contrary they are contradictory. The article recalls the relationship between the thermal insulation and sound insulation of walls. Authors presented; the relationship between the value of the index R_{A2} and the heat transfer coefficient U of insulating glass units, the relationship between the value of the index R_{A2} and the surface weight of insulating glass units. The article presents the results of research implemented in the Laboratory of the Department of Civil Engineering of Silesian University of Technology for improvement of sound reduction index by ETICS and the another thermal insulation systems ("traditional" and light dry system). The paper also contains a graph of airborne sound insulation as a function of frequency for one-third octave band values for 50 to 5000 Hz. Analysis of these graphs gives the answer about the reason a reduction in sound insulation for walls with ETICS. Shift of the resonance frequency in the direction of the average values 200 ÷ 400 Hz is causing the reduction. Traditional and light dry system does not give such a negative effect. On the basis of research results in the article, it should be noted that the development of technology makes the adoption of materials with good thermal performance does not guarantee parameters of sound insulation walls. All that forces the participants in the construction process must be thoroughly familiar with the problems of building acoustics.

Keywords: improvement of sound reduction index ΔR , sound reduction index R , heat transfer coefficient U , External Thermal Insulation Composite System

DOI:10.7862/rb.2016.255

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Mariusz FILIPOWICZ¹
Estera PRZENZAK²

MODELOWANIE HYBRYDOWEJ INSTALACJI KOLEKTOROWEJ W UKŁADZIE CHŁODZENIA SŁONECZNEGO

Przedstawiono znaczenie rozwoju technologii chłodzenia z wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego. Systemy takie z reguły używają dodatkowego źródła ciepła pozwalającego osiągnąć temperaturę efektywnej pracy chłodziarki absorpcyjnej. W tym celu w wielu rozwiązaniach stosowane są dodatkowe źródła ciepła w postaci podgrzewaczy elektrycznych, gazowych i innych czyli używających energię nieodnawialną. W krajach południowych możliwa jest praca systemu chłodniczego wyłącznie w oparciu o energię odnawialną przy wykorzystaniu odpowiednio dużych zestawów kolektorów próżniowych. Jednakże w Polsce instalacje kolektorów słonecznych bazują najczęściej na kolektorach płaskich i nie posiadają tak dużej powierzchni. Dlatego przewidziano układ bazujący na kolektorach płaskich z dogrzewaniem czynnika roboczego w postaci koncentratora promieniowania słonecznego. W pracy przedstawiono opis stanowiska badawczego oraz wybrane wyniki badań pracy takiego hybrydowego układu. Wykonano modelowanie pracy układu hybrydowego w celu opisu temperatury na wyjściu z kolektora dla naturalnej zmienności godzinowej natężenia promieniowania słonecznego oraz dla kilku wybranych prędkości przepływu medium roboczego. Wykazano, że możliwy jest wystarczająco dokładny opis za pomocą uproszczonego modelu matematycznego koncentratora, jednakże wymagana jest znajomość parametrów technicznych koncentratora (m.in. sprawności odbiornika ciepła, sprawności koncentracji promieniowania i inne). W wielu przypadkach praktycznych dokładne określenie tych wielkości może być trudne. Dlatego przeprowadzono analizę czułości modelu na niepewności tych parametrów.

Słowa kluczowe: chłodzenie słoneczne, koncentracja promieniowania słonecznego, kolektory słoneczne, chłodziarka absorpcyjna, natężenie promieniowania słonecznego

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Mariusz Filipowicz, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. 126175192; filipow@agh.edu.pl

² Estera Przenzak, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. 126173428; esterap@agh.edu.pl

1. Wprowadzenie

W związku z podniesieniem komfortu życia coraz większego znaczenia nabiera kwestia chłodzenia pomieszczeń w upalne dni. Jednakże zwiększenie liczby systemów opartych na sprężarkach zasilanych energią elektryczną prowadzi do problemów związanych z przeciążeniem systemu elektroenergetycznego.

Rozwiązaniem może być stosowanie chłodzenia słonecznego, gdzie energia słoneczna dostępna jest wtedy kiedy istnieje największe zapotrzebowanie na chłód. Istnieje szereg rozwiązań stosowania chłodzenia absorpcyjnego. Przykładem może być instalacja opisana w [1], znajdująca się w budynku Instytutu Fraunhofera w Niemczech. Składa się z ponad czterystu kolektorów próżniowych o mocy cieplnej ok. 50 kW (na nasłonecznienia 1000 W/m²). Instalacja jest zintegrowana z układem tzw. „free cooling”. Zastosowano chłodziarkę absorpcyjną zasilaną gorącą wodą WFC-10 o mocy chłodniczej 35 kW. Chłodzona jest powierzchnia o wielkości 270 m². Wykazano m.in., że w tym przypadku dla wytworzenia jednego kW chłodu potrzeba ok. 4 m² powierzchni kolektorów próżniowych. W wielu przypadkach energia otrzymywana z promieniowania słonecznego jest zbyt mała, powoduje to zbyt niską temperaturę czynnika roboczego. W celu otrzymania optymalnego poziomu temperatury stosuje się różne metody dogrzewania czynnika roboczego (np. kotły). Praca [2] podaje przykład uproszczonego modelu matematycznego układu z kolektorami słonecznymi, kotłem gazowym, chłodziarką absorpcyjną oraz elementami pomocniczymi instalacji. Wykazano m.in. warunki optymalizacji tego typu instalacji. W pracy [3] opisano prosty system z próżniowymi kolektorami słonecznymi i chłodziarką absorpcyjną o mocy 4.5 kW. Średni współczynnik wydajności (COP) wynosił ok. 0.58 dla pracy w warunkach angielskich. Sposoby symulacji różnych rozwiązań słonecznych układów chłodniczych przedstawione są w [4], gdzie rozważono jedno, dwu i trzystopniowe chłodziarki absorpcyjne LiBr-H₂O w układzie z kolektorem słonecznym i dodatkowym źródłem ciepła. Jako kolektor analizowano: kolektory próżniowe, kolektory rynnowe z koncentratorem, liniowe koncentratory Fresnela, płaskie kolektory próżniowe. Wykazano, że najlepszą opcją dla szeregu warunków klimatycznych jest kombinacja płaskiego kolektora próżniowego i chłodziarek absorpcyjnych opartych na podwójnym efekcie. Przy użyciu takiego kolektora można wykorzystywać promieniowanie rozproszone.

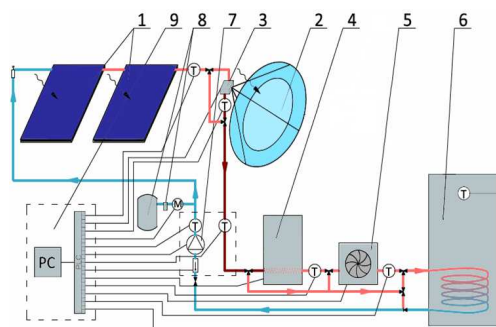
Problemy z zasilaniem chłodziarek absorpcyjnych – z reguły wymagana temperatura pracy chłodziarki jest zbyt wysoka dla ciepła otrzymywanego z kolektorów słonecznych. Sprawność cyklu termodynamicznego i współczynnik COP jest zależny dość silnie od temperatury [5]. W wielu pracach opisujących zarówno analizę pracujących systemów jak i modelowych używane jest dodatkowe źródło ciepła, które ma wspomagać pracę niskotemperaturowego źródła jakimi są kolektory słoneczne. Dla przykładu w [6] zastosowano elektryczny ogrzewacz o mocy 10 kW dogrzewający olej do temperatury 185°C w zbiorniku o pojemności 1500 dm³. Natomiast w [7] zastosowano kocioł gazowy, możliwe są jeszcze inne rozwiązania.

W krajach o dużym nasłonecznieniu wymaganą temperaturę pracy można uzyskać przy pomocy kolektorów próżniowych o odpowiednio dużej powierzchni. W Polsce jednak one nie są zbyt popularne, przemawiają za tym koszty instalacji, pewne problemy eksploatacyjne. Natomiast powstaje coraz więcej instalacji z płaskimi kolektorami, które mają problemy z nadwyżką ciepła latem. Aby nie używać dogrzewania z wykorzystaniem nieodnawialnych źródeł energii zaproponowano dogrzewanie czynnika roboczego dedykowanym układem koncentratora promieniowania słonecznego opisanego w dalszej części artykułu.

2. Opis procedury badawczej

2.1. Opis stanowiska badawczego

Na Wydziale Energetyki i Paliw, AGH w Krakowie realizowane są badania hybrydowej instalacji kolektorów słonecznych z koncentratorem promieniowania słonecznego. Pełny schemat stanowiska pomiarowego przedstawiony został na rysunku 1. Łączna powierzchnia aktywna kolektorów wynosi $4,2 \text{ m}^2$, natomiast powierzchnia koncentratora: $2,54 \text{ m}^2$.



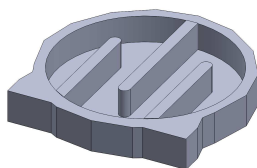
Rys.1. Schemat instalacji kolektorów słonecznych z koncentratorem promieniowania słonecznego do produkcji chłodu i zasilania ciepłej wody użytkowej [8]

Fig.1. Diagram of the solar system with the solar radiation concentrator for cooling and domestic heat water supply [8]

Czynnik roboczy (olej termiczny) jest pompowany do kolektorów słonecznych (1) za pomocą pompy obiegowej (7). Następnie wstępnie ogrzany czynnik trafia do odbiornika ciepła wysokotemperaturowego (3) umieszczonego w pobliżu ogniska koncentratora, gdzie jego temperatura rośnie. Powstałe ciepło ma być wykorzystywane do zasilania chłodziarki absorpcyjnej (4). Pozostałe ciepło gromadzi się w zbiorniku buforowym (6). Instalacja zabezpieczona jest przed nadmiernym wzrostem ciśnienia oraz przegrzaniem za pomocą naczynia wzbiorczego (8) i chłodnicy wentylatorowej (5).

2.2. Opis odbiornika skoncentrowanego promieniowania słonecznego

Odbiornik ciepła wysokotemperaturowego pracujący w ognisku skupionych promieni stanowi jeden z najważniejszych elementów instalacji. Badania prowadzone są przy użyciu odbiornika płaskiego o powierzchni aktywnej $0,03 \text{ m}^2$ wykonanego z aluminium z wyfrezowanym wewnątrz kanałem widocznym na rysunku 2.



Rys.2. Płaski odbiornik ciepła wysokotemperaturowego

Fig.2. The flat high-temperature heat receiver

Równoległe z badaniami eksperymentalnymi prowadzone są symulacje komputerowe propagacji promieniowania w układzie optycznym koncentratora (metoda Ray Tracing Monte Carlo) oraz symulacje numeryczne przepływu czynnika wewnątrz odbiornika (metoda Computational Fluid Dynamics). Wyniki prac symulacyjnych zebrane zostały w [9,10]. W rezultacie wskazano, że najlepszym rozwiązaniem jest umiejscowienie odbiornika płaskiego w odległości 77 cm od powierzchni lustra przy jednoczesnym przepływie wynoszącym 0,6 m/s.

3. Metodyka i wyniki badań

W ramach badań opracowano model koncentratora promieniowania słonecznego, w którym skoncentrowane promieniowanie słoneczne konwertowane jest w odbiorniku na ciepło wysokotemperaturowe następnie ogrzewające olej termalny [11].

Temperatura medium roboczego t_o dana jest następującym wyrażeniem :

$$t_o = t_{in} + \frac{q}{\dot{m}c_p} \quad (1)$$

gdzie: t_{in} – temperatura medium na wejściu, q – ilość przekazanego ciepła do odbiornika, \dot{m} – przepływ i c_p – ciepło właściwe medium roboczego.

Natomiast moc cieplna q dostarczana do płynu roboczego jest równa:

$$q = A \cdot F_R \cdot [G_T - U_L(t - t_a)] \quad (2)$$

gdzie: A – powierzchnia odbiornika, F_R – współczynnik odprowadzania ciepła, G_T – natężenie skoncentrowanego promieniowania padającego na powierzchnię

odbiornika, U_L – sumaryczny współczynnik strat ciepłych odbiornika, t – średnia temperatura medium wewnątrz odbiornika, t_a – temperatura otoczenia.

Współczynnik odprowadzania ciepła F_R dany jest wzorem:

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A \cdot U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{f_p U_L A}{\dot{m}c_p}\right) \right] \quad (3)$$

gdzie f_p – całkowita sprawność odbiornika.

W celu określenia natężenia promieniowania G_T na powierzchni odbiornika posłużono się tzw. współczynnikiem koncentracji C oraz natężeniem promieniowania bezpośredniego G i uwzględniono nachylenie koncentratora względem kierunku padania promieniowania słonecznego na płaszczyznę koncentratora.

$$G_T = CG \cos \psi_z \quad (4)$$

Kąt ψ_z pomiędzy normalną do płaszczyzny poziomej a płaszczyzny nachylenia koncentratora płaszczy wyznaczany był wg odpowiedniego algorytmu astronomicznego [11]. Należy tu zaznaczyć, że normalna do powierzchni koncentratora była jednocześnie kierunkiem padania promieni słonecznych – wskutek działania mechanizmu śledzenia położenia Słońca.

W praktyce dość trudno określić jest współczynnik koncentracji C , gdyż należy uwzględnić wiele czynników, m.in. współczynnik odbicia powierzchni odbijającej koncentratora, absorpcja w szkłe, błędy ogniskowania, błędy śledzenia, refleksyjność powierzchni odbiornika. Wprawdzie poszczególne czynniki można wyznaczyć, jednakże wypadkowy wpływ tak wielu czynników prowadzi do sporych niepewności.

Aby określić całkowity współczynnik strat ciepłych U_L odbiornika należy przeanalizować dwa mechanizmy strat ciepłych: radiacyjne h_r i konwekcyjne h_k dane następującymi wyrażeniami:

$$U_L = h_r + h_k \quad (5)$$

$$h_r = \sigma \varepsilon_p (t_m^2 + t_s^2)(t_m + t_s) \quad (6)$$

$$h_k = 5.7 + 3.8 \cdot v \quad (7)$$

gdzie: σ – stała Stefana-Boltzmana, ε_p – emisyjność powierzchni odbiornika, t_m – średnia temperatura medium roboczego w obszarze odbiornika, t_s – tzw. zastępcza temperatura nieboskłonu, v – prędkość wiatru.

Średnia temperatura medium t_m dana jest jako $t_m = (t_o + t_{in})/2$, czyli jest to średnia arytmetyczna temperatury medium na wlocie i wylocie. W algorytmach typu zaprezentowanych w [11] i bazujących na modelach płaskich, niskotemperaturo-

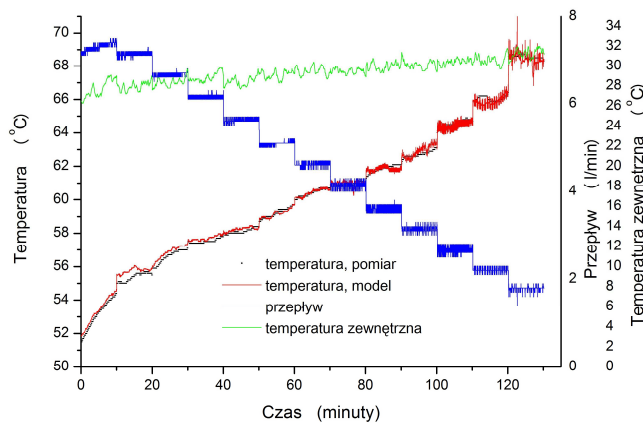
wych kolektorów słonecznych, temperatura medium wyliczana jest w dwu krokach: najpierw określana jest moc cieplna przekazywana do odbiornika q , przy założeniu że współczynnik U_L obliczony jest dla nienagrzanego medium w odbiorniku. W kolejnym kroku określana jest temperatura medium na wyjściu t_o , a dla niej temperatura t_m i uaktualniony współczynnik strat ciepłych U_L . Jednakże dla skoncentrowanego promieniowania słonecznego przyjęcie temperatury promieniującej powierzchni jako t_m nie jest poprawne, gdyż jak pokazały m.in. obliczenia [10] temperatura powierzchni odbiornika może być nawet kilkadziesiąt stopni wyższa (w zależności od przepływu medium) od średniej temperatury medium roboczego w odbiorniku.

4. Analiza wyników

Do opisu danych eksperymentalnych wykorzystano przykładowy pomiar wykonany 11.08.2015. Pomiar obejmował kilkugodziną rejestrację parametrów pracy układu dla zmiennego zachmurzenia i zmiennego (ustawianego arbitralnie) przepływu medium roboczego. Wyniki przedstawione są na rysunku 3.

Na rysunku 3 prezentowana jest zmierzona temperatura medium roboczego przy przepływie oleju zmniejszanego ok. 0.5 l/min od wartości 7 l/min do 2 l/min z krokiem 10 min. Temperatura zewnętrzna wahała się w zakresie 26-32°C. Pomiar rozpoczął się ok. 9.30.

Otrzymano przybliżone wartości współczynnika strat ciepłych odbiornika $U_L = 22.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, z tego na straty konwekcyjne przypada $17.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (dla średniej prędkości wiatru podczas pomiaru) a na promieniowanie $5.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Współczynnik F_R odprowadzania ciepła został oszacowany na 0.42. Walidacja modelu została wykonana w celu określenia czułości modelu na dane wejściowe i zdolność opisu danych eksperymentalnych.



Rys.3. Opis zmian temperatury medium roboczego po przejściu przez koncentrator dla zmiennego natężenia przepływu

Fig.3. Description of the working medium temperature variation at the concentrator output for varied flow

Problemem podczas analizy danych eksperymentalnych była możliwość określenia bezpośredniego natężenia promieniowania słonecznego na podstawie pomiaru całkowitego natężenia promieniowania słonecznego i zweryfikowania jej, poprzez model koncentratora promieniowania słonecznego z wynikami badań. Szereg instalacji słonecznych (m.in. opisane w [12]) wyposażonych jest tylko w pomiar całkowitego natężenia promieniowania i ze względów praktycznych (poza instalacjami badawczymi) rozbudowa układów pomiarowych może nie być uzasadniona ekonomicznie, natomiast jednak układ sterujący może z większą efektywnością prowadzić sterowanie pracą instalacji jeżeli będzie miał informacje o natężeniu bezpośredniego promieniowania słonecznego, zatem kompromisem może być uzyskiwanie tych informacji z odpowiednio zwalidowanego modelu.

5. Wnioski

Działanie układu koncentrującego promieniowanie słoneczne w celu zwiększenia temperatury medium roboczego przepływającego przez specjalny typ odbiornika można z dobrą dokładnością opisać za pomocą modelu analitycznego, który może być adoptowany do obliczeń wymagających szybkości (np. w analizie stanów dynamicznych układu). Za pomocą odpowiednich procedur minimalizacyjnych można określić wartości parametrów układu, przy których dane będą opisywane najlepiej. Jednakże dla tak prostego modelu pojawia się problem odpowiedniej interpretacji otrzymanych parametrów. Brak pomiarów bezpośredniego promieniowania słonecznego (najlepiej na płaszczyznę koncentratora) powoduje, że staje się praktycznie niemożliwe określenie współczynnika odprowadzania ciepła. Wpływ na to ma również niezbyt adekwatny opis temperatury powierzchni odbiornika – konieczne będzie tu wprowadzenie modyfikacji temperatury na podstawie modelowania CFD i pomiarów termograficznych.

Literatura

- [1] Ahmed Hamza H. Ali, Peter Noeres, Clemens Pollerberg, Performance assessment of an integrated free cooling and solar powered single-effect lithium bromide-water absorption chiller, *Solar Energy* 82 (2008), pp. 1021-1030.
- [2] J.V.C. Vargas, J.C. Ordonez, E. Dilay, J.A.R. Parise, Modeling, simulation and optimization of a solar collector driven water heating and absorption cooling plant, *Solar Energy* 83 (2009), pp. 1232-1244.
- [3] Francis Agyenim, Ian Knight, Michael Rhodes, Design and experimental testing of the performance of an outdoor LiBr/H₂O solar thermal absorption cooling system with a cold store, *Solar Energy* 84 (2010), pp. 735-744.
- [4] Ali Shirazi, Robert A. Taylor, Stephen D. White, Graham L. Morrison, A systematic parametric study and feasibility assessment of solar-assisted single-effect, double-effect, and triple-effect absorption chillers for heating and cooling Applications, *Energy Conversion and Management* 114 (2016), pp. 258-277.
- [5] Bożek E., Zdunek M., Nowoczesne systemy chłodnicze zasilane skoncentrowanym promieniowaniem słonecznym, *Bezpieczeństwo energetyczne – rynki surowców i energii: energetyka w czasach politycznej niestabilności*, 2015, s. 687-694.

- [6] M. Izquierdo, A. González-Gil, E. Palacios, Solar-powered single-and double-effect directly air-cooled LiBr-H₂O absorption prototype built as a single unit, *Applied Energy* 130 (2014), pp. 7-19.
- [7] Andrés Macía, Luis A. Bujedo, Teresa Magraner, César R. Chamorro, Influence parameters on the performance of an experimental solar-assisted ground-coupled absorption heat pump in cooling operation, *Energy and Buildings* 66 (2013), pp. 282-288.
- [8] Przenzak E., Filipowicz M., Hybrid solar receiver as a source of high-temperature medium for an absorption chiller supply, *Experimental Fluid Mechanics* 2015, s. 656-663.
- [9] Bożek, E., Filipowicz, M., Wykorzystanie techniki śledzenia promienia do modelowania wysokotemperaturowych układów helioenergetycznych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (2/15), 2015, s. 19-28, DOI:10.7862/rb.2015.32.
- [10] Bożek E., Szubel M., The numerical model of the high temperature receiver of the concentrated solar radiation, *SDEWES 2015, Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, Dubrownik, (2015), s. 1-12.
- [11] Włodzimierz Smolec, *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [12] J. Knaga, Modelowanie transferu energii elektrycznej i ciepła w małych, autonomicznych układach solarnych, *Inżynieria Rolnicza* 144(2013) T.2 (rozprawa habilitacyjna).

*Praca wykonana w ramach działalności statutowej WEiP, AGH
„Badania uwarunkowań zrównoważonego rozwoju energetycznego”*

MODELLING OF HYBRID COLLECTOR SOLAR COLING INSTALLATION

Summary

The importance of developing solar cooling technologies was described in the paper. Described system mostly use additional heat source to achieve temperature sufficient for efficient operation of an absorption unit. In this aim, in many of the installation such auxiliary heat sources as: electric, gaseous, etc are applied. This heat source use non-renewable energy. In the countries of the south operation of the system using only renewable energy is possible - it require large areas of evacuated tube collectors. However, in Poland solar installations are mostly smaller and based of flat plate solar collectors. Therefore in this paper we consider system based on flate-plate collectors with heating up of working medium by a solar concentrator. Description of the experimental hybrid installation and selected results for variable medium flow are presented in the paper.

It was confirmed that it is possible create sufficiently accurate description of the installation by simplified mathematical model, but it requires knowledge of some technical parameters as: efficiency of the heat receiver, concentrating ratio and others. In many practical cases accurate determination of those parameters is difficult. Appropriate anlysis of sensitivity of those parameters were performed.

Keywords: solar cooling, solar radiation concentration, solar collectors, absorption chiller, solar radiation intensity

DOI:10.7862/rb.2016.256

Przesłano do redakcji: 1.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Halina GARBALIŃSKA¹
Beata MARCINIAK²

WPŁYW SKŁADU MIESZANKI I WYJŚCIOWEGO ZAWILGOCENIA KRUSZYWA LEKKIEGO NA SORPCYJNOŚĆ KAPILARNĄ BETONU POPIOŁOPORYTOWEGO

Przedmiotem referatu jest ocena wpływu stosunku objętości zaprawy do objętości kruszywa, jak również wyjściowej wilgotności kruszywa porowatego na sorpcyjność kapilarną betonu popiołoporytowego. Przeprowadzono badania podciągania kapilarnego w odniesieniu do grupy betonów lekkich, o różnych recepturach, ale wykonanych na bazie tych samych składników. Przetestowano łącznie sześć receptur mieszanki betonowej, zróżnicowanych stopniem wstępnego nasycenia kruszywa oraz stosunkiem objętościowym zaprawy do kruszywa. Czynności badawcze przeprowadzono na próbkach o wymiarach 40 x 40 x 160 mm. Doświadczenie polegało na ustawieniu próbek w kuwecie z wodą oraz dokładnym ważeniu próbek, zgodnie z harmonogramem, przez 15 dni. Po wykonaniu badań podciągania kapilarnego, zebrano dane i sporządzono wykresy, które przedstawiają stosunek masy wody podciąganej kapilarnie do jednostki powierzchni materiału w funkcji pierwiastka z czasu. Sporządzone wykresy pozwoliły na wyznaczenie współczynnika sorpcji A dla każdej badanej próbki. Analiza badań wilgotnościowych polegała na porównaniu betonów lekkich o jednakowym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa i różnym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag oraz betonów lekkich o różnym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa i jednakowym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag. Przeprowadzone badania wykazały, że betony wykonane na kruszywie suchym charakteryzowały się wyraźnie najmniejszym współczynnikiem sorpcji. Betony, do produkcji których wykorzystano kruszywo całkowicie nasączone lub powierzchniowo-suche, osiągnęły znacznie większy współczynnik sorpcji. Betony wykonane z użyciem większej ilości zaprawy wykazały znacznie większą zdolność podciągania wody, niż betony wykonane z mniejszej ilości zaprawy. Wyniki zrealizowanych badań wskazują, że im bardziej wilgotne kruszywo, tym wyższy otrzymuje się współczynnik sorpcji A, który będzie dodatkowo wzrastał wraz ze wzrostem ilość zaprawy cementowej wprowadzonej do mieszanki betonowej.

¹ Autor do korespondencji/ corresponding author: Halina Garbalińska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 48 29, e-mail: Halina.Garbalińska@zut.edu.pl

² Beata Marciniak, Studentka S2, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, 91-449-48-29, marciniak_beata@zut.edu.pl

Słowa kluczowe: beton lekki, podciąganie kapilarne, współczynnik sorpcji kapilarnej, wilgotność kruszywa

1. Wprowadzenie

Betony lekkie znajdują coraz szersze zastosowanie w budownictwie. Przy ich projektowaniu staramy się z jednej strony sprostać wymaganiom wytrzymałościowym, a z drugiej strony zagwarantować podwyższoną izolacyjność cieplną. Tym sposobem wykonane z betonów lekkich elementy wykazują odpowiednią nośność, pozwalając równocześnie odciążać konstrukcje oraz lepiej chronić budynki przed stratami energii. Niestety wszystkie te walory mogą ulec znacznemu pogorszeniu, lub wręcz zniweczeniu, w sytuacji gdy dojdzie do znacznego zawilgocenia elementów budowlanych wykonanych z betonów lekkich, charakteryzujących się wysoką porowatością. Zawilgocony beton lekki wykazuje istotny spadek wytrzymałości, wyrażony w tzw. współczynniku rozmiękania. Dochodzi do znacznego zwiększenia masy i przeciążeń konstrukcji, jak również do istotnego pogorszenia izolacyjności cieplnej, gdy woda zastąpi zawarte w porach powietrze. W dalszej perspektywie czasowej zawilgocenie przekłada się negatywnie także na trwałość wskutek korozji biologicznej i chemicznej oraz działania mrozu.

Jednym z najbardziej efektywnych mechanizmów, wprowadzających wodę w dużej ilości do wnętrza materiału, jest podciąganie kapilarne [1]. Zjawisko to ma miejsce wówczas, gdy materiał narażony jest na kontakt z ciekłą wodą, tj. w sytuacji pojawienia się wody opadowej, wystąpienia kondensacji na powierzchni i w obrębie przegrody oraz działania wód gruntowych i powodziowych. Porowata struktura betonów lekkich powoduje, że niestety odznaczają się one dość wysoką zdolnością do rozprzestrzeniania ciekłej wody. Parametrem, który opisuje przebieg tego zjawiska w danym materiale jest jego współczynnik sorpcji A , [2].

Aby ocenić, w jakim stopniu możemy wpływać na przebieg procesu podciągania kapilarnego, przeprowadzono w ramach pracy [3] badania testujące, którymi objęto grupę betonów lekkich wykonanych na kruszywie popiołoporytowym. Testowano, na ile (poprzez wzajemne proporcje między składnikami oraz sposób przygotowania kruszywa grubego) można ograniczyć rozprzestrzenianie się zawilgocenia w obrębie testowanych betonów. Dążono do ustalenia pożądanego kierunku modyfikacji, skutkujących minimalizacją wartości współczynnika sorpcji kapilarnej A , będącego miarą intensywności tego procesu.

2. Przebieg badań

W pracy [3] opracowano 6 receptur betonów lekkich, które następnie podane zostały badaniom testowym z uwagi na parametry wilgotnościowe, ale także m.in. z uwagi na ich wytrzymałość na zginanie i ściskanie.

Przy projektowaniu poszczególnych mieszanek przyjęto następujące (jednakowe w przypadku każdej receptury) założenia wyjściowe:

- ten sam rodzaj cementu CEM I 42,5 R;
- kruszywo grube Pollytag tej samej frakcji z przedziału $4 \div 8$ mm;
- piasek kwarcowy o uziarnieniu $0 \div 2$ mm;
- stały stosunek piasku kwarcowego do cementu równy 1,2;
- stały wskaźnik wodno-cementowy równy 0,55.

Ze względu na problem dużej nasiąkliwości kruszyw lekkich oraz ich wpływu na urabialność i końcowe parametry otrzymanego betonu, zastosowano zabieg wstępnego namaczania kruszywa grubego przed wykonaniem mieszanki. Pollytag dozowano do mieszanek w trzech różnych stanach zawilgocenia: N – całkowicie nasączonym, PS – powierzchniowo-suchym, S – suchym.

Biorąc pod uwagę fakt, że o parametrach betonu lekkiego decyduje zarówno zastosowane kruszywo grube, jaki i sposób wypełnienia zaprawą wolnych przestrzeni między jego ziarnami, zdecydowano się przyjąć dwa stosunki objętościowe zaprawy cementowej do lekkiego kruszywa grubego, wynoszące 70/30 oraz 60/40.

Ustalono ostatecznie składy poszczególnych mieszanek betonowych zestawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Składy mieszanek betonowych

Table 1. Compositions of concrete mixes

Receptura	Składniki mieszanki betonowej [g/dm ³]			
	Piasek	Woda	Cement	Kruszywo lekkie Pollytag 4 ÷ 8 mm
70/30 N	670,53	271,77	538,46	499,93
70/30 PS	670,53	271,77	538,46	516,32
70/30 S	670,53	271,77	538,46	612,44
60/40 N	574,74	232,95	461,54	666,56
60/40 PS	574,74	232,95	461,54	612,44
60/40 S	574,74	232,95	461,54	516,32

W ramach pracy [3] przeprowadzono szereg badań wstępnych dotyczących poszczególnych składników, tj. cementu, kruszywa drobnego oraz grubego. W szczególności wyznaczono nasiąkliwość i gęstość ziaren kruszywa lekkiego Pollytag. Obydwa oznaczenia przeprowadzono w trakcie jednego badania, które wykonano metodą piknometryczną. Gęstość ziaren kruszywa lekkiego wyniosła 1,29 Mg/m³, natomiast nasiąkliwość ziaren wyniosła odpowiednio:

- po 5 min – $W_5 = 16,0 \%$;
- po 60 min – $W_{60} = 16,4 \%$;
- po 24 h – $W_{24} = 21,4 \%$;
- po 48 h – $W_{48} = 22,5 \%$.

Wyznaczono w pomiarach, że średnia gęstość nasypowa suchego kruszywa Pollytag w stanie luźnym wynosiła $0,682 \text{ Mg/m}^3$, natomiast średnia gęstość objętościowa zagęszczonego kruszywa lekkiego Pollytag w stanie naturalnym osiągnęła wartość $0,747 \text{ Mg/m}^3$. Wykonano również oznaczenie jamistości Pollytagu, która oceniona została na $47,13 \%$.

Do badań podciągania kapilarnego przeznaczono 24 próbki o wymiarach $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$, po 4 próbki z każdej receptury. Wszystkie próbki bezpośrednio przed rozpoczęciem pomiarów zostały wysuszone w suszarce do stałej masy. Temperatura suszenia wynosiła 70°C . Została ona dobrana tak, aby uniknąć ewentualnego porysowania struktury wewnętrznej próbek w wyniku wprowadzenia zbyt wysokiej temperatury. Proces suszenia trwał 9 dni. próbki były ważone co 24 godziny na wadze laboratoryjnej. Każdorazowo wyłączano suszarkę i czekano, aż temperatura wewnątrz urządzenia zrówna się z temperaturą panującą w pomieszczeniu, aby zbyt gwałtowna zmiana temperatur nie wpłynęła destrukcyjnie na suszone próbki. Następnie, po ostygnięciu, przeprowadzano ich ważenie.

Z uwagi na zastosowane kruszywo lekkie nie było możliwości uzyskania idealnych wymiarów poprzecznych ($40 \times 40 \text{ mm}$) przygotowywanych próbek, gdyż każdorazowo dochodziło do pewnego spulchnienia mieszanki w trakcie jej zaformowywania. Dlatego przed przystąpieniem do dalszych badań wszystkie wykonane próbki zostały zmierzone po krawędziach, w celu wyznaczenia ich faktycznych powierzchni ssania F i ich faktycznych objętości V . Wyniki przeprowadzonej inwentaryzacji zostały uwzględnione w późniejszych obliczeniach.

Przed rozpoczęciem badań podciągania kapilarnego wszystkie próbki ponownie zważono. Następnie w określonej kolejności i określonym tempie lokowano je w kuwetach wypełnionych wodą destylowaną. Próbki stawiano pionowo na podkładach stabilizujących, z wypustkami, zapewniającymi ich punktowe podparcie. Każda próbka zanurzona była w wodzie na głębokość około 2 mm . W trakcie eksperymentu wodę regularnie uzupełniano, aby jej poziom nie ulegał zmianie (rys. 1).



Rys. 1. Ustawienie próbek przy badaniu podciągania kapilarnego

Fig. 1. Positioning of samples at capillary suction tests

Aby regularnie rejestrować zmieniającą się masę każdej próbki i przyrost masy zawilgoconego materiału w stosunku do masy wyjściowej, użyto wagi laboratoryjnej o dokładności 0,01 g. Ważenie kolejnych próbek odbywało się w określonych odstępach czasowych. Schemat ważenia dopasowano do tempa przebiegu procesu podciągania kapilarnego – w początkowym stadium próbki szybko chłonęły wodę, a wraz z upływem czasu proces ten stawał się coraz wolniejszy. Szczegółowy opis badań przedstawiono w pracy [3].

3. Analiza wyników badań podciągania kapilarnego

Po zakończeniu badań podciągania kapilarnego w odniesieniu do wszystkich testowanych próbek, sporządzono zestawienia tabelaryczne, a następnie wykresy, które przedstawiają stosunek masy wody podciąganej kapilarnie do jednostki powierzchni materiału w funkcji pierwiastka z czasu, tj. $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$.

Wykresy ilustrujące przebieg całego procesu podciągania kapilarnego wody pozwoliły na przeprowadzenie analizy porównawczej w odniesieniu do wszystkich badanych betonów. Analiza badań wilgotnościowych polegała na porównaniu:

- betonów lekkich o jednakowym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa i różnym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag;
- betonów lekkich o różnym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa i jednakowym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag.

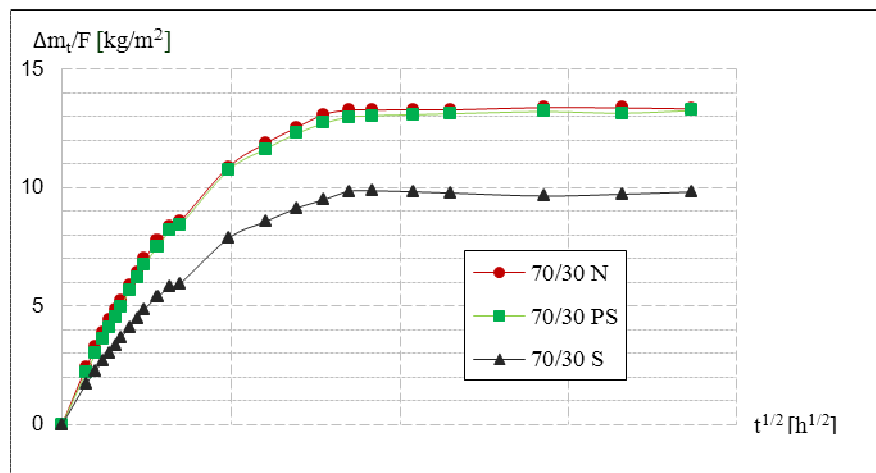
Sporządzone wykresy pozwoliły na wyznaczenie współczynnika sorpcji A dla każdej badanej próbki, wg wzoru [2]:

$$A = \frac{\Delta m_t}{F \Delta \sqrt{t}} \quad (1)$$

gdzie: A współczynnik sorpcji, [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$];
 Δm_t – przyrost masy badanej próbki, [kg];
 F – powierzchnia ssania, [m^2];
 $\Delta \sqrt{t}$ – przyrost pierwiastka z czasu, [$\text{h}^{1/2}$].

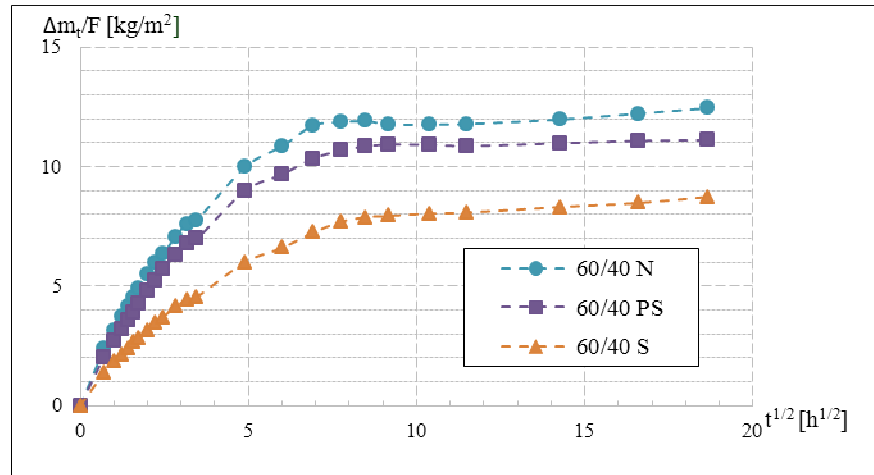
W pracy [3] zebrano szczegółowe dane uzyskane w przeprowadzonych badaniach. Średnie współczynników sorpcji A w przypadku sześciu testowanych receptur osiągnęły następujące wartości: 70/30 N $\rightarrow A = 3,163 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$; 70/30 PS $\rightarrow A = 2,938 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$; 70/30 S $\rightarrow A = 2,151 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$; 60/40 N $\rightarrow A = 3,030 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$; 60/40 PS $\rightarrow A = 2,610 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$; 60/40 N $\rightarrow A = 1,751 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$. Każda z podanych wartości współczynnika A stanowi średnią arytmetyczną, wyznaczoną na podstawie wyników uzyskanych dla czterech próbek składowych, wykonanych według danej receptury.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono uśrednione zależności $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonów lekkich o jednakowym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa i o różnym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag.



Rys. 2. Zestawienie uśrednionych zależności $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonów lekkich o stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa 70/30 i różnym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag

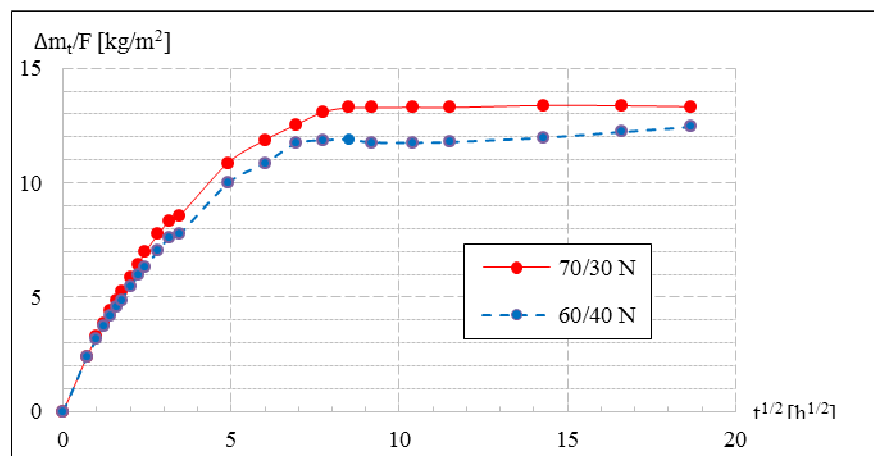
Fig. 2. Summary diagram of averaged functional relationship $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ for light concretes featuring mortar to aggregate volumetric ratio of 70/30 and having different initial moistness of Pollytag aggregate



Rys. 3. Zestawienie uśrednionych zależności $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonów lekkich o stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa 60/40 i różnym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag

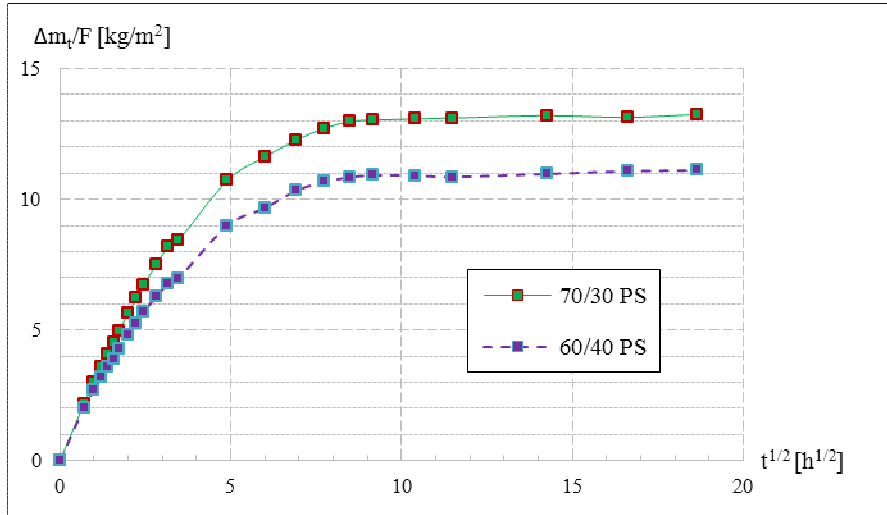
Fig. 3. Summary diagram of averaged functional relationship $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ for light concretes featuring mortar to aggregate volumetric ratio of 60/40 and having different initial moistness of Pollytag aggregate

Na rysunkach 4 – 6 przedstawiono uśrednione zależności $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonów lekkich o różnym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa i jednakowym wstępnym zawilgoceniu kruszywa Pollytag.



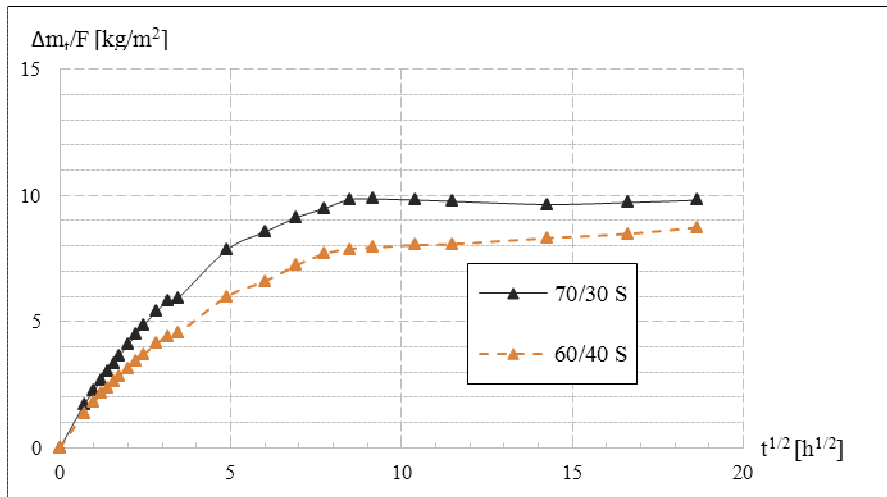
Rys. 4. Zestawienie uśrednionych zależności $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonów lekkich na kruszywie Pollytag w stanie nasączonym i o różnym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa

Fig. 4. Summary diagram of averaged functional relationship $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ for light concretes with entirely soaked Pollytag aggregate, and featuring different mortar to aggregate volumetric ratio



Rys. 5. Zestawienie uśrednionych zależności $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonów lekkich na kruszywie Pollytag w stanie powietrzno-suchym i o różnym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa

Fig. 5. Summary diagram of averaged functional relationship $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ for light concretes with dry on surface Pollytag aggregate, and featuring different mortar to aggregate volumetric ratio



Rys. 6. Zestawienie uśrednionych zależności $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonów lekkich na kruszywie Pollytag w stanie suchym i o różnym stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa

Fig. 6. Summary diagram of averaged functional relationship $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ for light concretes with dry Pollytag aggregate, and featuring different mortar to aggregate volumetric ratio

4. Podsumowanie

Badania wykazały, że wstępne zawilgocenie porowatego kruszywa stosowanego do produkcji betonów lekkich jest istotnym czynnikiem decydującym o przebiegu procesu podciągania kapilarnego. Betony wykonane na kruszywie suchym charakteryzowały się wyraźnie najmniejszym współczynnikiem sorpcji. Betony, do produkcji których wykorzystano kruszywo całkowicie nasączone lub powierzchniowo-suche, osiągnęły znacznie większe współczynniki sorpcji.

Wyniki badań wykazały również, że stosunek objętościowy zaprawy do kruszywa, podobnie jak wstępne zawilgocenie kruszywa, ma istotny wpływ na przebieg procesu podciągania kapilarnego. Betony wykonane z większej ilości zaprawy, czyli te o stosunku objętościowym zaprawy do kruszywa 70/30, wykazały znacznie większą zdolność podciągania wody, niż betony wykonane z użyciem mniejszej ilości zaprawy – o stosunku objętościowym 60/40.

Literatura

- [1] Alsabry A.: Transport wilgoci w przegrodach budowlanych z materiałów kapilarnoporowatych, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2011.
- [2] Garbalińska H.: Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2002.
- [3] Marciniak B.: Badania i analiza wybranych właściwości betonów lekkich wykonanych na kruszywie Pollytag, Praca dyplomowa inżynierska realizowana pod kierunkiem H. Garbalińskiej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, czerwiec 2015.

INFLUENCE OF MIX COMPOSITION AND INITIAL MOISTNESS OF LIGHT AGGREGATE ON CAPILLARY SORPTION OF LYTTAG CONCRETE

Summary

The paper aims at assessing the influence of mortar to aggregate volumetric ratio, as well as it attempts to estimate the impact of initial moistness of porous aggregate on capillary sorption of lyttag concrete. The research tested capillary action referring to a group of light concretes of different formulas but prepared from the same ingredients. In total, six formulas of concrete mixes have been tested, with various levels of initial saturation of the aggregate and various volumetric mortar to aggregate ratios. The research procedures were conducted on samples of 40 x 40 x 160 mm size. The experiment involved positioning the samples in a dish filled with water and weighing the samples according to the timetable for period of 15 days. After the completion of the research on capillary sorption, the final data was collected and the figures were drawn which present proportion of capillary water mass to the area unit of the material in time root function. The presented figures allowed to determine sorption coefficient A for each of the samples researched. Analysis of moisture tests involved a comparison of light concretes featuring the same mortar to aggregate volumetric ratio and different initial moistness of Pollytag aggregate. The tests also included light

concretes with different mortar to aggregate volumetric ratios and featuring the same initial moistness of Pollytag aggregate. The research conducted proved that concretes made with dry aggregate featured the lowest sorption coefficient. Concrete which were produced with entirely soaked or dry on surface aggregate showed considerably higher sorption coefficient. Concretes made with application of bigger amount of mortar featured much higher ability to perform capillary action than concretes made from smaller amount of mortar. The results of the research indicate that the moister the aggregate is, the higher sorption coefficient A is obtained and the coefficient will be growing incrementally following the amount of cement mortar applied into the concrete mix.

Keywords: lightweight concrete, capillarity, sorption coefficient, moisture of aggregate

DOI:10.7862/rb.2016.257

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Wojciech GORYL¹
Mariusz FILIPOWICZ²

METODY WYKORZYSTYWANE W SUSZENIU BIOMASY

W przeważającej mierze, w suszarkach biomasy wykorzystuje się spaliny pochodzące ze spalania biomasy lub parę technologiczną jako czynnik suszący. Czynnik suszący jakim jest powietrze zazwyczaj stosuje się dla materiałów o charakterze spożywczym ze względu na koszty samej instalacji, sprawności jak również wielkości instalacji związanej z montażem wymiennika spaliny-powietrze. Biomasa charakteryzuje się niską gęstością usypową oraz niską wartością opałową. Dodatkowo, jest to dość problematyczne paliwo ze względu na niejednorodność materiału. Przydatność energetyczna biomasy zależy od wilgotności, składu chemicznego oraz rodzaju. Jednakże, podstawowym problemem energetycznego wykorzystania biomasy jest zawartość wilgoci. Główny wpływ na nią ma okres zbioru oraz warunki jej przechowywania. Biomasa sucha może osiągać wilgotność nawet poniżej 10%, jednak biomasa świeża najczęściej posiada nawet 60-70% wilgotności względnej, co jest wartością bardzo wysoką. Paliwo takie bardzo ciężko spalać lub jest to nawet niemożliwe. Poniższy artykuł ma na celu przedstawienie najczęściej stosowanych w przemyśle metod suszenia biomasy. Pozwoli on na ocenę i możliwości wykorzystania danej metody do danego paliwa. W artykule tym przedstawiona została zasada działania następujących suszarek wraz z elementami składowymi: i) suszarki bębnowe przeponowe i bezprzeponowe z przepływem czynnika suszącego we współ- i przeciwpłynie względem suszonego paliwa, ii) suszarki pneumatyczne, iii) suszarki fluidalne, iv) suszarki taśmowe, oraz v) innowacyjna suszarka na cylindryczne baloty słomy.

Słowa kluczowe: biomasa, suszarki, suszenie, słoma

1. Wprowadzenie

Począwszy od wielkiego kryzysu energetycznego w latach 70. XX wieku społeczeństwo coraz przychylniej spogląda na alternatywne źródła energii i możliwości ich wykorzystania do wytwarzania energii elektrycznej, produkcji

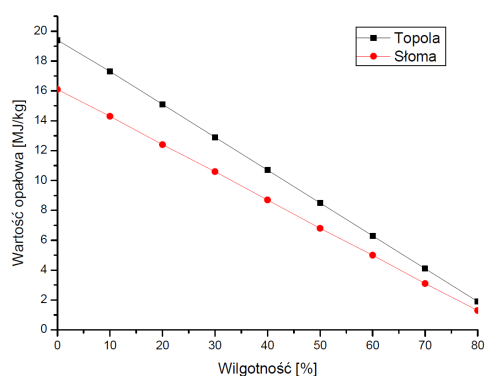
¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Wojciech Goryl, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. +48 12 617 34 28; wgoryl@agh.edu.pl

² Mariusz Filipowicz, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. +48 12 617 51 92; filipow@agh.edu.pl

ciepła czy napędzania pojazdów. Przez ostatnie lata widzimy coraz prężniej rozwijającą się gałąź przemysłu jakim są odnawialne źródła energii. Powstaje coraz więcej firm produkujących elementy farm fotowoltaicznych czy wiatrowych, jak również kotłów biomasowych. Spowodowane jest to głównie poprzez dwa czynniki. Pierwszym z nich jest niepewność dostaw paliw kopalnych jakimi są w głównej mierze ropa naftowa i gaz ziemny, powiązane z obecnym kryzysem politycznym na linii Rosja – Unia Europejska oraz sytuacja polityczna na bliskim wschodzie. Drugim, wspieranie rozwoju odnawialnych źródeł energii przez Unię Europejską poprzez wprowadzanie Dyrektyw mających na celu ograniczanie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery [1,2,3,4]. Dodatkowym impulsem rozwoju odnawialnych źródeł energii są wszelakiego rodzaju dopłaty do urządzeń niskoemisyjnych oraz wprowadzanie taryf gwarantowanych (feed-in-tariff) lub np. zielonych certyfikatów.

Istnieje wiele opracowań mówiących o tym iż w Polsce jednym z najważniejszych źródeł energii odnawialnych jest biomasa. Jej potencjał techniczny oscyluje w granicach 800-900 PJ na rok [5,6]. W oszacowaniu sporządzonym na cele raportu GHG Reduction Strategy jest to ponad 100 PJ [5], jednakże biomasa posiada najwyższy potencjał w odniesieniu do innych odnawialnych źródeł energii. Dodatkowo, biomasa jest najbardziej przewidywalnym źródłem energii i porównując ją do energii słonecznej czy wiatru możliwa do wykorzystania przez okres całego roku. Ponadto, biomasę bardzo łatwo magazynować i wykorzystywać w okresach zwiększonego zapotrzebowania oraz transportować w miejsca, gdzie występuje jej deficyt.

Polska jako kraj rolniczy oraz posiadający duży obszar zalesienia dysponuje sporymi zasobami biomasy, która może być wykorzystana do wytwarzania energii elektrycznej lub produkcji ciepła. Jednym z podstawowych problemów energetycznego wykorzystania biomasy jest gęstość usypowa jak również wartość opałowa. W danej objętości biomasy jest ok. 4-8 razy mniej energii w porównaniu do tej samej objętości węgla. Powoduje to szereg problemów, a głów-



Rys. 1. Wartość opałowa topoli i słomy od zawartości wilgoci, na podstawie [9]

Fig. 1. The calorific value of poplar and straw in function of moisture content, based on [9]

nym jest problem transportowy – koszty związane z transportem biomasy na duże odległości oraz emisje związane z transportem biomasy od miejsca jej pozyskania do miejsca jej utylizacji [7,8]. Jednym z najważniejszych czynników wpływających na wartość opałową biomasy jest jej wilgotność. Na Rys. 1 przedstawiono zależność wartości opałowej dla drewna i słomy od zawartości wilgoci. Im większa wilgotność biomasy tym wartość opałowa tej biomasy spada.

Należy wspomnieć, że istnieje pewna dolna i górna granica wilgotności, której nie należy przekraczać przy energetycznym jej wykorzystaniu co niekorzystnie wpływa na proces spalania oraz na samą konstrukcję kotłów biomasowych. Przykładowo dla słomy spalanej w kotłach wsadowych, najlepiej aby jej wilgotność wynosiła ok. 15-20%. Ma to korzystny wpływ na proces spalania z uwagi na katalityczne działanie pary wodnej wobec spalania nadmiernej ilości części lotnych występujących w biomase [10]. Ponadto, zaobserwowano pewne optimum wilgotności wynoszące ok. 15-16% dla której emisja pyłów do atmosfery podczas jej spalania w kotłach biomasowych jest najmniejsza. Jak łatwo można zauważyć wilgotność biomasy ma ogromny wpływ na jakość paliwa oraz na prowadzenie optymalnego procesu spalania.

Poniższy artykuł ma charakter przeglądowy i przedstawione zostaną w nim wybrane metody suszenia biomasy.

2. Metody suszenia biomasy

Najczęściej stosowanymi technologiami suszenia biomasy są: suszarki bębnowe, suszarki pneumatyczne, suszarki fluidyzacyjne i suszarki taśmowe [11]. W tabeli 1 przedstawione zostały typowe parametry pracy powyższych suszarek.

Tabela 1. Typowe parametry konstrukcyjne i wydajności dla różnych suszarek, na podstawie [11], suszarka na słomę – badania własne

Table 1. Typical range of design parameters and performance data for various dryers, based on [11], straw dryer – own research

	Typ suszarki				
	Bębnowa	Pneumatyczna	Fluidalna	Taśmowa	Suszarka na słomę
Szybkość odparowywania [t/h]	3-23	4,8-17	5-40	0,5-40	0,02-0,03
Temperatura suszenia [°C]	200-600	150-280	150-200	30-200	80-150
Początkowa wilgotność materiału [%]	45-65	45-65	50-60	45-72	25-50
Spadek wilgotności podczas suszenia [%]	10-45	10-45	10-15	15-25	15-40
Maksymalny rozmiar materiału [mm]	125	50	0,5-50	-	Balot słomy o śr. 160cm

W przeważającej mierze, w suszarkach tych jako czynnik suszący wykorzystuje się spaliny pochodzące ze spalania biomasy lub parę technologiczną [12]. Czynnik suszący jakim jest powietrze zazwyczaj stosuje się dla materiałów spożywczych ze względu na koszty samej instalacji, sprawności jak również wielkości instalacji związanej z montażem wymiennika spaliny-powietrze.

2.1. Suszarki bębnowe

W suszarnictwie przemysłowym najbardziej rozpowszechnione są suszarnie bębnowe. Spowodowane jest to tym, iż mogą być one wykorzystywane do suszenia materiałów o różnym uziarnieniu, jak również dla materiałów o różnej wilgotności. Suszarki te posiadają stosunkowo prostą budowę, dużą przepustowość, ich konstrukcja pozwala na stosowanie relatywnie wysokich temperatur nawet do 1100 °C oraz pozwala na pracę ciągłą [13]. Działanie tego rodzaju suszarni opiera się na obrocie pochylonego bębna, w którym znajduje się materiał suszony. W trakcie obrotu materiał jest unoszony za pomocą łopatek, a opada w strumieniu gorącego czynnika suszącego, który przepływa przez bęben w współ- lub przeciwwprądzie. Pozwala to na osiągnięcie jak najwyższego wskaźnika transferu masy i ciepła. Jeżeli temperatura materiału opuszczającego suszarkę jest za wysoka możliwe jest jego chłodzenie za pomocą powietrza atmosferycznego.

Suszarki bębnowe dzieli się na dwa główne typy: bezprzeponowe i przeponowe [14]. Suszarki bezprzeponowe stosuje się dla materiałów trudno pyłących, które mogą kontaktować się bezpośrednio z czynnikiem suszącym. Gorący czynnik suszący powoduje odparowanie wilgoci z materiału suszonego, co powoduje znaczne obniżanie się temperatury czynnika suszącego na wyjściu z suszarki. Następnie, najczęściej gazy opuszczające suszarkę kierowane są na urządzenia odpylające, aby nie zanieczyszczały one środowiska, ponieważ część materiału drobnoziarnistego unoszone jest wraz z gazami. Zazwyczaj suszenie biomasy odbywa się współprądowo, czyli czynnik suszący i materiał suszony poruszają się w tym samym kierunku. Czynnik suszący o najwyższej temperaturze kontaktuje się z materiałem o najwyższej wilgotności. Jeżeli mamy do czynienia z przeciwnym ruchem materiału i gazu mówimy o suszeniu przeciwwprądowym. W tym przypadku materiał najsuchszy ma styczność z czynnikiem najcieplejszym. Suszenie przeciwwprądowe jest efektywniejsze i znacznie szybciej możemy wysuszyć tą samą ilość biomasy do podobnej zawartości wilgoci [13].

Drugim typem suszarni są suszarki przeponowe. W tego rodzaju suszarni czynnik suszący przepływa zewnętrznym płaszczem suszarki lub wewnętrznymi rurami grzejnymi. W tym przypadku, suszenie odbywa się w wyniku konwekcji i przewodzenia, a czynnikiem grzewczym może być para wodna lub gorąca woda. Dzięki temu można łatwiej utrzymać stałą temperaturę wewnątrz suszarki oraz możliwe jest suszenie materiału nieodpornego na działanie wysokich temperatur [12].

2.2. Suszarki pneumatyczne

Suszarki pneumatyczne zazwyczaj składają się z młyna rozdrabniającego materiał, separatora cząstek materiału, kanału pneumatyczny (suszącego), cyklonu odpylającego oraz wentylatora wyciągowego [12]. Suszarki pneumatyczne wykorzystywane są do suszenia materiałów sypkich lub krystalicznych o niewielkim uziarnieniu oraz o relatywnie szybkim procesie suszenia. W tym przypadku suszenie trwa zaledwie kilka-kilkanaście sekund. Wilgotny materiał mieszany jest w strumieniu gorącego czynnika suszącego, który pod wysokim ciśnieniem przepływa przez kanał pneumatyczny, gdzie osiąga się wysoki wskaźnik transferu masy i ciepła powodując szybkie schnięcie materiału [14]. Następnie mieszanina materiału suszonego i czynnika suszącego trafia do cyklonu, gdzie następuje odseparowanie materiału stałego i gazu. W tego typu urządzeniach stosowany jest czynnik suszący o niższych temperaturach niż w przypadku suszarń bębnowych, jednakże są one nadal wyższe niż temperatura zapłonu biomasy. Główną zaletą instalacji suszarek pneumatycznych jest ich kompaktowość oraz czas suszenia.

2.3. Suszarki fluidyzacyjne

Kolejnym typem suszarki są suszarki fluidyzacyjne. Ich idea działania podobna jest do pracy kotłów fluidalnych. Wilgotny sypki materiał umieszczony w złożu znajduje się na specjalnej przepuszczalnej przegrodzie. Od dołu aparatu puszczany jest czynnik suszący, który przechodzi przez przegrodę a następnie usypany na niej materiał jest przedmuchiwany przez przepływający czynnik suszący. Ruch gazu odbywa się od dołu ku górze aparatu. Osiągając odpowiedni przepływ czynnika suszącego złożo materiału wilgotnego rozluźnia się i gaz może swobodnie opływać wszystkie cząstki znajdujące się w złożu co przyczynia się do bardzo dobrego wymieszania się czynnika suszącego z materiałem suszonym. Z tego powodu w suszarniach tych występuje wysoki wskaźnik transferu masy i ciepła przez co osiagamy jednorodny i szybki stopień odparowania wilgoci z materiału. Występuje w nich 10-20-krotnie większy współczynnik wnikania ciepła do materiału w porównaniu do suszarki bębnowej [14]. Podczas suszenia materiałów lepkich lub podatnych na zbrylanie stosowane są specjalne urządzenia wibracyjne, których zadaniem jest niedoprowadzenie do takiego stanu. Głównymi wadami tego typu urządzeń są: trudności z suszeniem materiałów o znacznej wilgotności oraz o dużych rozmiarach cząstek, są stosunkowo energochłonne poprzez spore straty ciśnienia w układzie [14].

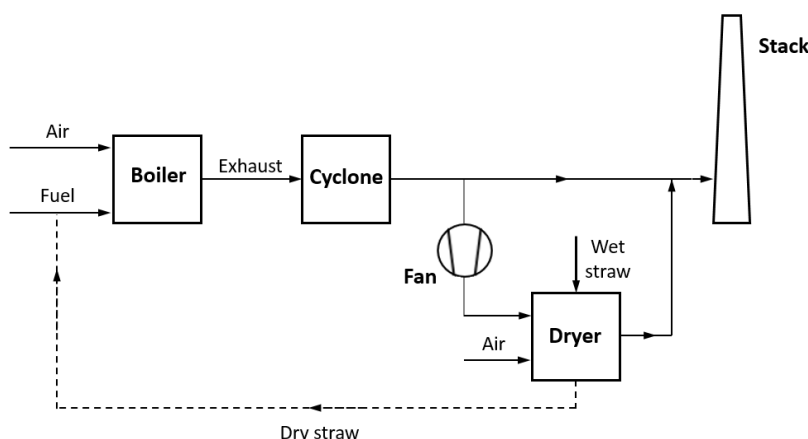
2.4. Suszarki taśmowe

Obecnie suszarki te służą głównie do delikatnej obróbki cieplnej produktów. Materiał suszony ułożony jest na perforowanych taśmach przez które przepływa czynnik suszący. Wilgotny materiał dostarczany jest w sposób ciągły

i zazwyczaj w trakcie całego procesu suszenia transportowany jest przez kilka sekcji suszarki. W każdej z sekcji możliwe jest ustawienie innej temperatury czynnika suszącego, jego natężenia przepływu, jak również prędkości przesuwania się taśmy [13]. Główną zaletą tego rodzaju urządzenia jest optymalne ustawienie parametrów procesu suszenia dla jak najdokładniejszego i najefektywniejszego wysuszenia materiału. Zazwyczaj suszarki taśmowe pracują w niższych temperaturach co pozwala zaoszczędzić energię, zmniejszyć zanieczyszczenie środowiska oraz zminimalizować ryzyko zapłonu biomasy podczas suszenia.

2.5. Suszarka na cylindryczne baloty słomy

Głównymi elementami suszarki na cylindryczne baloty słomy są komora suszarnicza, stół transportowy, wentylator tłoczący, instalacja przeciwpożarowa, zespół regulacji i kontroli parametrów pracy, układ wstępnego odpylania i separacji isker oraz układ wyprowadzenia spalin. Pełny schemat instalacji przedstawiony został na Rys. 2 oraz szczegółowo został opisany w [15,16].



Rys. 2. Schemat instalacji suszarki na cylindryczne baloty słomy [15]

Fig. 2. Schematic diagram of dryer installation for cylindrical bale of straw [15]

Ciepło wykorzystywane w trakcie suszenia pochodzi z procesu spalania biomasy w kotle. Tak spożytkowane ciepło odpadowe zwiększa sprawność całego układu oraz pomaga w uzyskaniu znacznie wydajniejszego paliwa. Proces suszenia polega na wtłaczaniu spalin o odpowiednio dobranej temperaturze w głąb balota słomy.

Ze względów bezpieczeństwa spaliny wychodzące z kotła są wstępnie odpylane w komorze osadczą z powodu unosu dużych, czasami żarzących się, żdziebeł niedopalonej słomy. Następnie, spaliny dzielone są na dwa strumienie. Część spalin wykorzystywana jest do procesu suszenia, a pozostałe kierowane są bezpośrednio do przewodu kominowego. Spaliny, które wykorzystywane

są do procesu suszenia mieszane są z powietrzem atmosferycznym dla uzyskania optymalnej temperatury medium suszącego i niepowodującego zapoczątkowaniem termicznej dekompozycji paliwa. Następnie, tak przygotowaną mieszaninę za pomocą wentylatora wtłacza się poprzez specjalnie zaprojektowaną dyszę w głąb cylindrycznego balota słomy. Opisana powyżej suszarka wykorzystywana jest do pomiarów możliwości suszenia słomy w formie cylindrycznych balotów w ramach opracowania pracy doktorskiej oraz projektów BioEcoMatic oraz BioORC. Ta dedykowana, prototypowa suszarnia słomy pozwala na wysuszenie jednego balota słomy (masa suchej słomy ok. 150 kg) o początkowej wilgotności na poziomie 45% do wilgotności 15% w czasie ok. 2-3 godzin. Czas ten potrzebny jest do spalania jednego balota słomy w kotle biomasowym. Spaliny pochodzące ze spalania tego jednego balota słomy wystarczające są do wysuszenia jednego balota słomy do wilgotności poniżej 20%.

3. Podsumowanie

Powyższy artykuł ma charakter przeglądowy i jego celem było przedstawienie najpowszechniejszych i najczęściej stosowanych metod suszenia biomasy. Aktualnie prowadzone są badania na suszarce opisanej w punkcie 2.5 [15,16], których celem jest usprawnienie procesu suszenia poprzez konfigurację komory suszarniczej oraz budowę układu sterującego. Trwają również prace związane z opracowaniem modelu matematycznego procesu suszenia. Obecnie przeprowadzone prace, potwierdzają słuszność założonej tezy badawczej, że możliwe jest suszenie całych balotów słomy ciepłem odpadowym w czasie nie dłuższym niż 3 godziny.

Podziękowanie

Praca wykonana w ramach działalności statutowej WEiP, AGH: „Badania uwarunkowań zrównoważonego rozwoju energetycznego”.

Literatura

- [1] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council.
- [2] Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council.
- [3] Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council.
- [4] Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council.
- [5] Raport Ministra Ochrony Środowiska, „Strategia rozwoju OZE”, Warszawa, 2000.
- [6] EC BREC (now IEO-Institut Energetyki Odnawialnej), Warszawa, 2005, http://www.ieo.pl/solcamp/downloads/szkolenie_dzierzawcow/Wisniewski-%20podstawy%20wykorzystania%20OZE.pdf, {dostęp 15.09.2015}.
- [7] Guła A., Wajss P., Goryl W., Is Using Biomass for Power Generation a Good Solution? The Polish Case, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 88 NR 5a, 2012, pp. 198-203.

- [8] Guła A., Goryl W., Toward a More Environmentally Friendly Use of Biomass for Energy Purposes in Poland, *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 23, no. 4, 2014, pp. 1377-1380.
- [9] The Effect of Moisture on Heating Values, *Biomass Energy Data Book*, 2011.
- [10] Grzybek A, Słoma – Wykorzystanie w energetyce ciepłej, Wydawnictwo ITP, Falenty, 2012.
- [11] Li H., i in., Evaluation of a Biomass Drying Process Using Waste Heat from Process Industries: A Case Study, *Applied Thermal Engineering*, vol.35, 2012, pp. 71-80.
- [12] Bruce D. M., Sinclair M. S., *Thermal Drying of Wet Fuels: Opportunities and Technologies*, EPRI Licensed Material, Vancouver, 1996.
- [13] Li H., Finney K., *A Review of Drying Technologies*, EPSRC Thermal Management of Industrial Processes, Sheffield University, 2010.
- [14] Skotnicka E., *Przegląd technologii suszenia materiałów sypkich, Piece przemysłowe & kotły*, vol. XI-XII, 2011, pp. 41-44.
- [15] Goryl W., Szubel M., Filipowicz M., Processes of heat and mass transfer in straw bales using flue gasses as a drying medium, *EPJ Web of Conferences* 114, 02033 (2016), DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/201611402033>.
- [16] Goryl W., Filipowicz M., The possibility of using flue gases as a medium for straw drying, *E3S Web of Conferences* 10, 00136 (2016), DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20161000136>.

METHODS USED IN BIOMASS DRYING

Summary

Overwhelmingly, biomass dryers as a drying agent used gases from the biomass combustion or process steam. Air as a drying medium is generally used for a food material drying because of the costs of the installation, efficiency and size of the whole system associated with the assembly of the exhaust gas - air heat exchanger. Biomass is characterized by low bulk density and low calorific value. Moreover, it is quite problematic fuel due to the heterogeneity of the material. The usefulness of biomass for energy purposes depends on the humidity, type and composition. However, the basic problem of using biomass as a fuel is moisture content.

The main influence on it comes from the period of harvest and the conditions of its storage. Dry biomass can reach humidity even under 10%, but usually fresh biomass has more than 60% relative humidity, which is a very high value. Such kind of fuel is almost impossible to combust. The main goal of the paper is to present the most commonly used industrial methods of biomass drying. The paper will allow to assess and possible use of the best method of biomass drying. This paper present operating principles and main elements of several dryers: i) directly- and indirectly-heated rotary driers with co- and counter-current drying process, ii) flash dryers, iii) fluidized bed dryers, iv) belt dryers and v) an innovative dryer for cylindrical straw bales.

Keywords: biomass, dryers, drying, straw

DOI:10.7862/rb.2016.258

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Marek GOSZTYŁA¹
Łukasz GOŁDA²

PROBLEMATYKA BUDOWLANO-KONSERWATORSKA ZABYTKOWYCH OBIEKTÓW KONSTRUKCJI DREWNIANYCH NA PRZYKŁADZIE KOŚCIOŁA PW. ŚW. MIKOŁAJA BISKUPA W DOMARADZU

Problematyka prowadzenia prac rewaloryzacyjnych drewnianych obiektów zabytkowych zaliczana jest do trudniejszych zadań konserwatorskich. Stosowane rozwiązania konstrukcyjne i ciesielskie w XV wieku i późniejszych latach zostały zapomniane przez współczesnych architektów - konserwatorów i brygady ciesielskie. Wykonane prace, które zaliczyć można do rekonstrukcyjnych, w kościele w Domaradzu, dowodzą, że przed przystąpieniem do prac konserwatorskich obiektów zabytkowych, należy wykonywać specjalistyczne badania mykologiczne i studia architektoniczno-konserwatorskie. Dopiero wyniki badań, dają podstawę do formułowania zaleceń konserwatorskich. Przyjęty tok postępowania w kościele, oparty został na metodzie zachowania nawarstwień kulturowych, oryginalnych struktur materiałowych i systemu połączeń ciesielskich. Kolejne etapy prac konserwatorskich, począwszy od wymiany belek podwalinowych, po wzmocnienie konstrukcyjne więźby dachowej, prowadzono po wykonaniu wnikliwych analiz stanu zachowania tychże elementów. W trakcie prac odsłonięto fragmenty wcześniejszych form konstrukcyjnych i polichromii. Odkryta belka, będąca pozostałością tzw. sobót została wyeksponowana, z myślą, ukazania śladów historycznych form architektonicznych obiektu. Metoda ta, jest powszechnie stosowana w postępowaniach konserwatorskich.

Słowa kluczowe: restauracja, rekonstrukcja, remont, przebudowa, wartość zabytkowa, polichromia

Wprowadzenie

Na przełomie XIX i XX wieku nastąpiła zmiana poglądów związana z konserwacją zabytków. Na Międzynarodowych Konferencjach wyznaczano kierunki i zasady postępowania konserwatorskich. Karta Krakowska 2000, która została uchwalona na Międzynarodowej Konferencji, wprowadziła szereg no-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marek Gosztyła, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. + 48 17 865 1939, gosztyla@prz.edu.pl

² Łukasz Gołda, lukaszgołda@onet.pl

wczesnych metod ochrony i konserwacji zabytków. Zmieniające się narzędzia prawne i praktyka konserwatorska pozwalają na prowadzenie prac z rozumieniem istoty konstrukcji zabytków.³

Jednym z takich obiektów jest zabytkowy drewniany kościół w Domaradzu.⁴ Brak dokładnych materiałów archiwalnych związanych z powstaniem parafii oraz skali przekształceń świątyni w II poł. XIX w. znacznie utrudnia datowanie świątyni. Pierwsza wzmianka o istnieniu w tym miejscu kościoła pochodzi z 1359 r. Z kolei akt lokacyjny Nowego Domaradza z 1425 r. na prawie magdeburskim informuje, że jego mieszkańcy należą do już istniejącej parafii w Domaradzu. Analiza porównawcza obiektu z XV-wiecznymi kościołami w Bliznem i Golcowej, szczególnie bryły i detali architektonicznych, pozwala określić czas budowy kościoła na II połowę XV w. Podanie dokładniejszej daty stanie się możliwym po przeprowadzeniu badań dendrochronologicznych. Z 1542 r. pochodzi zapis o konsekracji kościoła św. Piotra i Pawła przez biskupa przemyskiego Stanisława Tarło. W 1545 r. miało miejsce wznowienie fundacji świątyni przez biskupa Jana Dziaduskiego. W XVII w. świątynia została otoczona sobotami, dobudowano wieże i ufundowano nowe wyposażenie. W trakcie dwóch remontów w XVIII w. położono kamienną posadzkę, wykonano projekt organowy (1719 r.) oraz wymieniono stolarkę okienną i drzwiową (1756 r.). Jak wyglądała świątynia w tym czasie, dowiadujemy się z wizytacji biskupa Wacława H. Sierakowskiego z 1745 r. Kościół uległ znacznej przebudowie w 1878 r. za probostwa ks. Jana Bielenia. Przedłużono nawę w kierunku zachodnim, obniżono strop likwidując zaskrzynienia, a ściany prezbiterium wyrównano do poziomu ścian nawy. Jednoprzestrzenne wnętrze korpusu podzielono na trzy nawy, podpierające strop dwiema parami drewnianych słupów. W 1887 r. kościół ozdobiono nową, eklektyczną polichromią, której autorem był prawdopodobnie proboszcz Jan Bieleń. W 1906 w trakcie kolejnej przebudowy za proboszcza Michała Nowakiewicza rozebrano soboty, wzniesiono wieżyczkę na sygnaturkę oraz dobudowano kruchty. W 1936 r. proboszcz Michał Tuleja zdecydował się na zmianę pokrycia kościoła z gontu na blachę oraz wznosił nową, wolnostojącą dzwonnice o wysokości 15 m. Ostatni remont kościoła miał miejsce w latach 60 XX w. Od czasów wybudowania w pobliżu nowej świątyni kościół jest sporadycznie użytkowany. Budowla pomimo przekształceń zachowała czytelny układ średniowieczny i zalicza się do najstarszych drewnianych kościołów w Polsce. Świątynia orientowana, o konstrukcji zrębowej z drewna modrzewiowego stoi na kamiennej podmurówce, o ścianach wzmocnionych lisciami i pokryta jest gontem jodłowym. Kruchty konstrukcji słupowej, ściany mają szalowane deskami w układzie pionowym z listwowaniem. Na zewnętrznej

³ Gosztyła M., Pasztor P., *Konserwacja i ochrona zabytków architektury*, Wydanie II, Rzeszów 2013, s. 85-86.

⁴ Miejscowość w woj. Podkarpackim, powiat brzozowski, gmina Domaradz.

ścianie prezbiterium (od wschodu) znajduje się rzeźbiony krucyfiks (XVII w.).⁵ Prezbiterium na rzucie prostokąta, zamknięte jest trójboczną apsydą. Nawa szersza, na rzucie wydłużonego prostokąta (niegdyś kwadratowa) połączona jest z dwiema prostokątnymi kruchtami od zachodu i południa. Prezbiterium i nawa równej wysokości, nakryte jednokalenicowym, dwuspadowym dachem (od wschodu trójpołaciowym, od zachodu zamkniętym trójkątnym szczytem). Na szczycie kalenicy dachu wznosi się wieżyczka na sygnaturkę z latarnią. Zwieńczona jest ona hełmem w kształcie graniastosłupa. Kruchty pokryte zostały dachem dwuspadowym, zakryta zaś - pulpitowym.



Rys. 1. Widok ogólny kościoła, strona południowa, 2012, fot. Ł. Gołda

Fig. 1. General view of the church, southern side, photo Ł. Gołda

W postępowaniu konserwatorskim obejmującym remont obiektu o wartości historycznej wykorzystuje się metodę: inżynierską, w której stosuje się współczesne technologie i materiały, oraz ciesielską, której celem jest odtworzenie danego elementu zachowując pierwotny kształt, materiał. Za stosowaniem metod ciesielskich w pracach budowlano - konserwatorskich przemawia celowość oddzielenia tradycji, historii od współczesnych technologii.⁶ Zabytkowy drewniany kościół w Domaradzu, ze względu na zły stan techniczny, wymagał wykonania specjalistycznego projektu architektoniczno - budowlanego. Inwestor⁷

⁵ Zieliński K., *Leksykon Drewnianej Architektury Sakralnej Podkarpacia*, Tom I, Pro Carpatia, Rzeszów 2011, s. 62-63

⁶ Bajon - Romańska M., *Jak budowano drewniane kościoły w średniowiecznej Małopolsce*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2008, s. 9-10

⁷ Parafia rzymskokatolicka pw. MBNP w Domaradzu

przedstawił odważną wizję przywrócenia kształtu świątyni z XVII w. Koncepcja, która zakładała odtworzenie pierwotnego wyglądu kościoła odbiegała od współczesnych pryncypiów konserwatorskich, a wykonanie takiej próby skutkowałoby nieodwracalnym zniszczeniem zachowanej konstrukcji. Rekonstrukcja kościoła z XVII w. polegająca na odtworzeniu sobót, skróceniu nawy i scalenia wolnostojącej dzwonnicy do strony zachodniej kościoła tworzyłaby domniemanie historyczne. Przyjęte podejście konserwatorskie skupiło się na rozsądnym rozwiązaniu, gdyż wykonano remont obiektu zachowując jego kunsztowne nawarstwienia z poszanowaniem historii świątyni. Zaplanowane prace restauratorskie polegały na remoncie konstrukcji i przywróceniu pierwotnego pokrycia kościoła, jakim był gont. Pierwszym etapem prac było zapewnienie stabilizacji posadowienia.



Rys. 2. Widok belek podwalinowych, strona wschodnia, 2012, fot. Ł. Gołda

Fig. 2. View of ground beams, eastern side, photo Ł. Gołda

Należy podkreślić, że wieniec belek podwalinowych jest elementem konstrukcyjnym każdego obiektu drewnianego najniżej położonym i narażony jest na zawilgocenie, co może skutkować pojawieniem się korozji biologicznej.

Niestabilność belek podwalinowych również może powodować osiadanie oraz niepożądane spękania konstrukcji. W większości obiektów z XV w. istnieje małe prawdopodobieństwo zachowania się pierwotnego materiału, z którego zostały wykonane belki posadowienia. Tak też było z podwalinami kościoła w Domaradzu.

Belki podwaliowe połączone w narożach na „jaskółczy ogon” wykazywały rozluźnienia i znaczny stopień korozji biologicznej. Przyjęta metoda budowlano - konserwatorska polegała na wymianie zniszczonych belek, całego wieńca wraz z przemurowaniem podmurówki kamiennej z wykorzystaniem odzyskanego

materiału. Wykonanie takiego zakresu prac wymagało dużej precyzji i zachowania bezpieczeństwa. Posłużono się poprawnie wykonanym stemplowaniem konstrukcji. Pomimo, że całkowita wymiana belek podwali nowych, nie jest podejściem w pełni konserwatorskim z uwagi na wprowadzanie zupełnie nowej struktury materiału, która nie ma wartości oryginalnej, to w tym przypadku, była konieczna i zrozumiała pod względem bezpieczeństwa konstrukcji. Nowe elementy tj. belki wykonano z zachowaniem pierwotnych przekrojów, gatunku materiału, sposobu łączenia i obróbki ciesielskiej, a izolację poziomą położono tradycyjnymi metodami (papa na lepiku).



Rys. 3. Wymieniona belka podwalinowa z przemurowaną podmurówką kamienną oraz konstrukcją pod fartuch ochronny, strona północna, 2012, fot. Ł. Gołda

Fig. 3. Replaced ground beam with the rebuilt stone wall base and score apron structure, north side, photo Ł. Gołda

Średniowieczne konstrukcje dachowe obiektów zabytkowych do dnia dzisiejszego budzą ogromne zainteresowanie wśród badaczy. Przyjmowane z nadmiarem przekroje pozwoliły przetrwać więźbę kilka wieków i służą po obecny czas. Konstrukcje wykonywane były na ziemi, a montowane na oczepie według znaków ciesielskich. Przykładem jest konstrukcja więźby dachowej na zabytkowym kościele w Domaradzu, o czym świadczy szereg znaków na istniejącej konstrukcji.

Drugi etap prac obejmował remont konstrukcji więźby dachowej i miał za zadanie przywrócić pierwotne pokrycia gontowe. Odtworzenie pierwotnej konstrukcji storczykowej, jaka występuje w kościołach z tego okresu było niemożliwe, ze względu na znaczny stopień zmian dachu, po modernizacjach obiektu.

Prace budowlano - konserwatorskie więźby dachowej były wykonane z pozostawieniem obecnej konstrukcji. Remont polegał na wymianie zniszczonych elementów z zachowaniem połączeń ciesielskich i nie naruszał statyki dachu. Wymieniane fragmentami elementy scalane były z istniejącymi lub dawane nowe, w przypadku znacznego zniszczenia. W przypadku wymiany całego elementu i scalenia z konstrukcją zastosowano i odtworzono pierwotne zacięcia ciesielskie na tzw. „płetwę” a elementy łączono na kołki.

Bezpodstawne stosowanie łączników stalowych jest błędem w podejściu konserwatorskim, ale może być dopuszczalne w przypadkach, kiedy element konstrukcyjny nie podlega w całości wymianie, lecz należy wykonać uzupełnienie materiału o tzw. „protezę” i scalić z pierwotnym elementem nie pozbawiając stateczności konstrukcji.



Rys. 4. Widok scalenia protezy z pierwotnym materiałem za pomocą kutych śrub, 2014, fot. Ł. Gołda

Fig. 4. View of merging of the prosthesis with the primary material by means of forged bolts, 2014, photo Ł. Gołda

Takie rozwiązanie przyjęto przy wzmacnianiu więźby dachowej. Dodatkowym zabezpieczeniem konstrukcji jest jej oczyszczenie i impregnacja, która chroni materiał przed korozją biologiczną.

W trakcie remontu konstrukcji zabytkowego kościoła w Domaradzu zintensyfikowano historyczne łączenia elementów.



Rys. 5. Widok zniszczonego więzara dachowego ściany szczytowej, strona zachodnia, 2014, fot. Ł. Gołda

Fig. 5. View of the damaged roof truss of the end wall, western side, 2014, photo Ł. Gołda



Rys. 6. Nowy więzara dachowy ściany szczytowej, strona zachodnia, 2014, fot. Ł. Gołda

Fig. 6. New roof truss of the end wall, western side, 2014, photo Ł. Gołda



Rys. 7. Widok nowego pokrycia gontowego więźby dachowej z oblachowaniem sygnaturki, 2014, fot. Ł. Gołda

Fig. 7. View of new shingled roof framework with the flashing of spirelet, 2014, photo Ł. Gołda

Podjęta została decyzja o odtworzenie pierwotnego pokrycia dachu, jakim był gont. Przywrócenie historycznego pokrycia miało uzasadnienie wynikające z dokumentacji archiwalnej.

Końcowy etap prac zakładał wymianę opierzenia ścian świątyni. Ściany zrębowe pokryte zostały gontem jodłowym na pojedynczym kryciu, a kruchty pionowym deskowaniem z olistwowaniem. W części prezbiterium zachowała się podokienna belka wsporcza, która jest jedynym potwierdzeniem istnienia sobót. Odtworzenie pierwotnego wyglądu sobót było niemożliwe ze względu na brak zachowanej dokumentacji archiwalnej. Pozostawiając fragment konstrukcji świadczący o istnieniu sobót zastosowano tradycyjne podejście konserwatorskie polegające na uwidocznieniu tzw. „świadka”.

W kościele odnotowano nawarstwienia kulturowe: znaki ciesielskie, malowidła, które stanowią cenną wartość historyczną i dydaktyczną. Odkryto fragmenty zaskrzynienia z pierwotną polichromią malowaną bezpośrednio na deskach, co może być dowodem na XV wieczne pochodzenie kościoła.



Rys. 8. Fragment pierwotnej polichromii na zaskrzypieniu, 2013, fot. Ł. Gołda

Fig. 8. A fragment of the original polychrome on connecting fragments, 2013, photo Ł. Gołda



Rys. 9. Widok kościoła po remoncie, strona południowo – wschodnia, 2015, fot. Ł. Gołda

Fig. 9. View of the church after the repair, south – eastern side, photo Ł. Gołda

Podsumowanie

Wykonywanie prac remontowych na obiekcie zabytkowym jest zadaniem zaliczanym do trudnych i niesie ze sobą dużą odpowiedzialność zawodową. Przystępując do tego typu prac należy umieć docenić wartości materialne jak i historyczne obiektu. Istotną rzeczą jest dobre przygotowanie się do prac konserwatorskich, polegające na zapoznaniu się i zrozumieniu stanu technicznego zabytku, ponieważ każde nieprzemyślane rozwiązanie skutkować będzie nieodwracalnymi zmianami i utratą wartości kulturowych. W przypadku nowych odsłoneń nawarstwień kulturowych, każdorazowo powinno się opracować projekt ekspozycji lub przykrycia uznanych wartości dziedzictwa kulturalnego.

Literatura

- [1] Bajon- Romańska M., Jak budowano drewniane kościoły w średniowiecznej Małopolsce, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2008.
- [2] Gosztyła M., Pasztor P., Konserwacja i ochrona zabytków architektury, Wydanie II, Rzeszów 2013.
- [3] Zieliński K., Leksykon Drewnianej Architektury Sakralnej Podkarpacia, Tom I, Pro Carpatia, Rzeszów 2011.

BUILDING - CONSERVATION ISSUES OF THE WOODEN STRUCTURES OF HISTORIC BUILDINGS ON THE EXAMPLE OF THE CHURCH UNDER THE INVOCATION OF ST. NICHOLAS BISHOP IN DOMARADZ

S u m m a r y

The issue of conducting the revaluation works of wooden historic buildings is considered to be the most difficult conservation task. The construction and carpentry solutions used in the fifteenth century and later years have been forgotten by modern architects - conservators and carpentry teams. The works done, which can be considered as the reconstruction works in the church in Domaradz, prove that prior to conservation works of historic buildings, the specialist mycological testing as well as architectural and conservation studies should be performed. Only the results of studies provide a basis for formulating the conservation recommendations. The adopted course of proceedings in the church was based on a method of preserving cultural strata, original material structures and system of carpentry joints. The successive stages of restoration works, starting from the replacement of ground beams, ending up with the structural reinforcement of the roof framework, was carried out after a thorough evaluation of the state of preservation of these elements. During the works the fragments of earlier structural forms and polychrome were uncovered. The uncovered beam, which is a remnant of the so-called archades, has been exposed, in order to demonstrate the traces of historical architectural forms of the object. This method is commonly used in the conservation practice.

Keywords: restaurant, reconstruction, repair, rebuilding, historic value, polychrome

DOI:10.7862/rb.2016.259

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Sławomir GRABARCZYK¹

ZMIENNOŚĆ OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO SYSTEMU GRZEWCZEGO SZKLARNI Z EKRANEM TERMOIZOLACYJNYM

W pracy przedstawiono wyniki badań i analiz zużycia energii w wolnostojącej szklarni z ekranem termoizolacyjnym. Celem tych badań była analiza zmienności obciążenia cieplnego w szklarni z ruchomym ekranem termoizolacyjnym. Analizy wykonano w oparciu o pomiary parametrów klimatu, mikroklimatu szklarni, zużycia energii oraz parametrów opisujących funkcjonowanie wyposażenia technicznego szklarni. Według analiz średni miesięczny współczynnik obciążenia zawiera się w zakresie od 9% do 69%. Przedstawiono miesięczną i dobową strukturę zużycia energii w badanej szklarni z ekranem i bez ekranu. W analizach zmienności obciążenia cieplnego systemu grzewczego szklarni z ekranem termoizolacyjnym zaleca się korzystać z danych zużycia energii lub zapotrzebowania na ciepło.

Słowa kluczowe: szklarnia, ekran termoizolacyjny, system grzewczy, zużycie ciepła, obciążenie cieplne

1. Wprowadzenie

Zmienność obciążenia cieplnego systemu grzewczego szklarni jest uwarunkowana wpływem zewnętrznych czynników klimatycznych na mikroklimat szklarni, a także funkcjonowaniem wyposażenia technicznego: ruchomego ekranu termoizolacyjnego, wietrzników. Ekran termoizolacyjny zmniejszają zużycie ciepła w szklarni, ale nie zmniejszają zapotrzebowania na moc cieplną. Zapotrzebowanie szklarni na paliwo określa się zwykle na podstawie uporządkowanego wykresu obciążeń cieplnych lub w oparciu o średnioroczny współczynnik wykorzystania maksymalnej mocy grzewczej.

W artykule postanowiono zaprezentować wyniki badań zmienności obciążenia cieplnego szklarni na podstawie pomiarów przeprowadzonych w całorocznie eksploatowanej szklarni. Wykonanie tych analiz było możliwe z uwagi na kompleksowość przeprowadzanych pomiarów, jak również ich kompletność z uwagi na niewielkie braki w zarejestrowanych danych. Pomiary dotyczyły nie

¹ Sławomir Grabarczyk, Politechnika Warszawska, Filia w Płocku, Instytut Budownictwa, ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock; tel. 243672114; slawekg@pw.plock.pl

źródła ciepła a budynku szklarni, a zatem zaprezentowane wyniki stanowią obciążenie cieplne systemu grzewczego tego obiektu.

2. Opis procedury badawczej

2.1. Obiekt badań

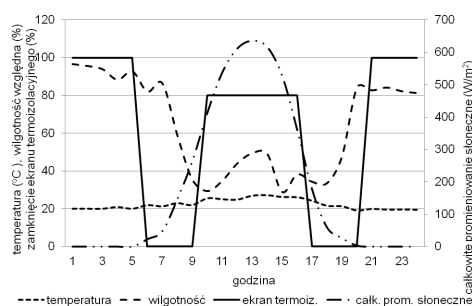
Ekran termooizolacyjny instalowane wewnątrz szklarni zmieniają właściwości termooizolacyjne przegrody zewnętrznej (rys. 1). Skutkuje to zmianą zapotrzebowania na energię cieplną nie tylko zależnie od pory roku, pory dnia ale także stanu zamknięcia ekranu termooizolacyjnego. W analizach zwrócono szczególną uwagę na okres funkcjonowania szklarni z dodatkową osłoną, co ma miejsce w porze nocnej, kiedy zamknięty ekran zmniejsza straty ciepła. Typowy schemat funkcjonowania ekranu w szklarni przedstawiono na rys. 2.

Przedmiotem analiz jest szklarnia wolnostojąca z pojedynczym pokryciem zlokalizowana w Skierniewicach. Ogólny współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej wynosi $6,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, natomiast w warunkach funkcjonowania ekranu termooizolacyjnego jako dodatkowej osłony jego wartość zmniejsza się do $4,66 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [1]. Ogólny współczynnik przenikania ciepła, charakterystyczny dla przegród szklarni, określono na podstawie pomiarów zużycia ciepła w badanym obiekcie uwzględniając: materiał pokrycia, rodzaj systemu grzewczego i warunki przeprowadzania badań, zgodnie z literaturą [2].

Na przegrodach pionowych szklarni po stronie zewnętrznej przytwierdzono osłonę z folii pęcherzykowej. W szklarni zainstalowano ekran termooizolacyjny HS 787 zbudowany z włókniny akrylowo-poliestrowej z paskami aluminium. Energooszczędność, określająca w procentach ograniczenie strumienia strat ciepła przez przegrodę zewnętrzną szklarni w przypadku tego ekranu wynosi 50%. Ekran HS 787 zainstalowano równoległe do ścian bocznych i poziomo na wysokości okapu. Charakterystykę badanej szklarni przedstawia tabela 1.



Rys. 1. Ekran termooizolacyjny HS 787 w szklarni
Fig. 1. Thermal screen type HS 787 inside greenhouse



Rys. 2. Stan zamknięcia ekranu termooizolacyjnego w okresie jednego dnia

Fig. 2. Thermal screen position during one day

Tabela 1. Charakterystyka szklarni

Table 1. Greenhouse description

Wielkość	Wartość	Jedn.
Powierzchnia zabudowy szklarni	1250	m ²
Powierzchnia pokrycia szklarni	1844,5	m ²
Szerokość szklarni	20,0	m
Wysokość ściany bocznej szklarni	2,2	m
Długość szklarni	62,5	m
Kąt nachylenia połaci dachu	27	stopień
Ogólny współczynnik przenikania ciepła szklarni bez / z ekranem	6,68 / 4,66	W/(m ² K)
Kubatura szklarni pod pokryciem ze szkła / pod ekranem	6187,5 / 3518,8	m ³

2.2. Założenia do badań

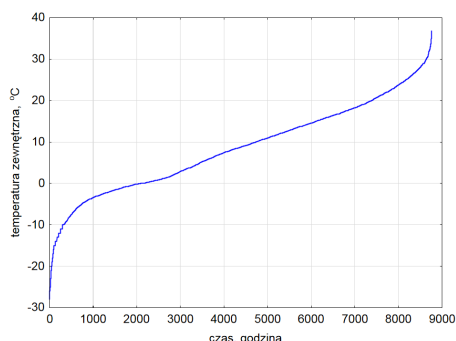
Określenie rzeczywistego obciążenia cieplnego systemu grzewczego szklarni wymagało przeprowadzenia pomiarów zużycia ciepła dostarczanego do szklarni – ciepłomierzem Aquatherm, rejestracji parametrów mikroklimatu i danych opisujących funkcjonowanie wyposażenia technicznego szklarni oraz klimatu zewnętrznego – systemem pomiarowym Volmatic. Przyjęto interwał czasowy pomiędzy pomiarami równy 10 minut.

3. Metodyka i wyniki badań

W efekcie przeprowadzonych badań uzyskano kompletne dane pomiarowe z okresu od 15 maja 2005 do 14 maja 2006 r. Wyniki pomiarów zostały zagregowane do zbiorów zawierających dane zarejestrowane z interwałem czasowym 10 min. i ogólnej liczbie rekordów równej 52560, a także zbiorów z interwałem równym jednej godzinie i łącznej liczbie rekordów wynoszącej 8760.

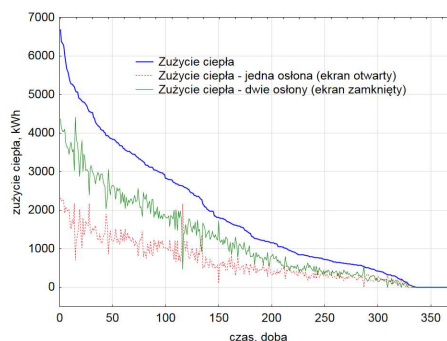
4. Analiza wyników

W oparciu o przygotowane zbiory danych pomiarowych sporządzono uporządkowany wykres występowania temperatury zewnętrznej dla danej lokalizacji i okresu badań (rys. 3). W okresie przeprowadzania pomiarów stwierdzono występowanie bardzo wysokich temperatur powietrza zewnętrznego, osiągających w lipcu 36,8°C, natomiast w styczniu bardzo niskich temperatur zewnętrznych dochodzących do -28°C. Uporządkowany wykres rzeczywistych obciążeń systemu grzewczego zbudowano w oparciu o pomiary zużycia ciepła, a nie obserwacje mocy chwilowych z uwagi na okresowe dostarczanie strumienia ciepła przez system grzewczy. Wyniki zaprezentowano z podziałem na okresy eksploatacji szklarni z ekranem termoizolacyjnym i bez ekranu (rys. 4).



Rys. 3. Uporządkowany wykres temperatury zewnętrznej

Fig. 3. Systematic graph for outside air temperature



Rys. 4. Uporządkowany wykres obciążeń cieplnych systemu grzewczego szklarni

Fig. 4. Systematic graph for heating load in greenhouse

Wyniki analiz zmienności obciążeń cieplnych systemu grzewczego pozwalają określić, że w miesiącach zimniejszych średnie miesięczne zużycie ciepła w czasie eksploatacji szklarni z ekranem jest ponad dwukrotnie większe niż w okresie gdy ekran jest otwarty. W miesiącach najcieplejszych różnice te zanikają i w szklarni zużywane są porównywalne ilości ciepła w porze dnia i nocy.

Analizę występowania temperatury w szklarni w przekroju całego roku przedstawiono z podziałem na porę nocną – bez zysków słonecznych oraz przy całkowitym promieniowaniu słonecznym padającym na płaszczyznę poziomą $I_c > 0 \text{ W/m}^2$ (tabela 2). Ważne jest to głównie z powodu funkcjonowania ekranu – otwieranego już przy minimalnej dawce natężenia światła.

Tabela 2. Średnie miesięczne temperatury w szklarni podczas pory dnia i nocą. Oznaczenia: t_{weW} – temperatura w szklarni [°C], I_c – całkowite promieniowanie słoneczne [W/m^2]

Table 2. Mean monthly temperatures in greenhouse during daytime and during the night. Symbols: t_{weW} – greenhouse temperature [°C], I_c – global solar radiation [W/m^2]

Miesiąc	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
$t_{weW}; I_c = 0$	19,0	17,5	14,1	15,9	17,0	15,6	21,6	21,9	22,1	21,2	19,2	18,4
$t_{weW}; I_c > 0$	18,5	18,4	19,0	18,8	25,3	23,7	27,5	26,3	26,0	22,6	19,5	18,0

Analiza eksploatacji szklarni i jej systemu grzewczego w ciągu pełnego roku funkcjonowania, pozwoliła na określenie liczby godzin ogrzewania – tu wartości związanej bezpośrednio z dostarczeniem energii cieplnej, wykazanej na urządzeniu pomiarowym jakim jest ciepłomierz. W wyniku analiz stwierdzono, że w okresie 3425 godzin szklarnia funkcjonuje bez ogrzewania – czynnik grzewczy nie jest dostarczany, a temperatura w szklarni przekracza wartość nastawy, a tym samym nie jest konieczne uzupełnianie strumieniem ciepła z systemu grzewczego (tabela 3). W okresie 5335 godzin, czyli prawie 61% czasu w roku, szklarnia wy-

maga ogrzewania, przy czym 3461 godzin gdy ekran stanowi drugą przegrodę szklarni, natomiast 1874 godziny, gdy ekran zmienia swe położenie: jest w ruchu lub w stanie otwartym, bądź jest niecałkowicie zamknięty.

Tabela 3. Liczba godzin bez ogrzewania i liczba godzin ogrzewania szklarni z ekranem i bez ekranu termozolacyjnego. Oznaczenia: L_g – liczba godzin ogrzewania [h], L_0 – liczba godzin braku ogrzewania [h], N – liczba obserwacji (godzin)

Table 3. Number of hours with and without turning on heating system – greenhouse with and without thermal screen. Symbols: L_g – numbers of hours with turning on heating system [h], L_0 – numbers of hours without turning on heating system [h], N – number of observation (hours)

Miesiąc		Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
L_0	N	22	87	344	346	559	649	430	373	320	218	72	5
	%	3,0	12,9	46,2	48,1	75,1	90,1	57,8	50,1	44,4	29,3	10,0	0,7
L_g	N	722	585	400	374	185	71	314	371	400	526	648	739
	%	97,0	87,1	53,8	51,9	24,9	9,9	42,2	49,9	55,6	70,7	90,0	99,3
L_g z ekranem	N	482	372	230	216	105	40	181	232	274	373	443	513
	%	64,8	55,4	30,9	30,0	14,1	5,6	24,3	31,2	38,1	50,1	61,5	69,0
L_g bez ekranu	N	240	213	170	158	80	31	133	139	126	153	205	226
	%	32,3	31,7	22,8	21,9	10,8	4,3	17,9	18,7	17,5	20,6	28,5	30,4

Zmienność obciążenia systemu grzewczego szklarni można wyrazić również wartością współczynnika maksymalnej mocy grzewczej LF w sezonie grzewczym lub w analizowanym okresie [3]. Współczynnik ten określa się na podstawie częstotliwości występowania temperatury zewnętrznej, co przekłada się na zmiany obciążenia cieplnego systemu grzewczego i określa z wzoru (1):

$$LF = \frac{\sum_i^N \tau_i (t_{wew} - \overline{t_{zew,i}})}{\tau_g (t_{wew} - t_{zew,min})} \quad (1)$$

gdzie: N – liczba obserwacji w analizowanym okresie,

τ_i – długość trwania przedziału czasowego,

τ_g – czas trwania sezonu grzewczego lub analizowanego okresu,

t_{wew} – temperatura w szklarni,

$\overline{t_{zew,min}}$ – minimalna temperatura na zewnątrz szklarni,

$\overline{t_{zew,i}}$ – średnia temperatura powietrza na zewnątrz szklarni w przyjętym przedziale czasowym.

Średnioroczna wartość współczynnika maksymalnej mocy grzewczej, obliczona ze wzoru (1) wynosi 0,31 i została ustalona dla temperatury zewnętrznej -20°C , czyli projektowej temperaturze zewnętrznej w III strefie klimatycznej okresu zimowego. Analizę zmienności obciążenia systemu grzewczego szklarni

wykonano także dla miesięcy analizowanego roku badań. Średnie miesięczne wartości współczynnika maksymalnej mocy grzewczej zawiera tabela 4.

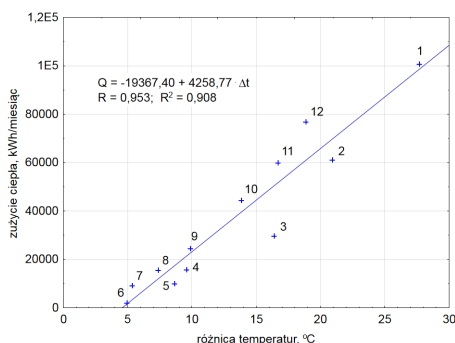
Tabela 4. Średnia miesięczna wartości współczynnika maksymalnej mocy grzewczej LF

Table 4. Mean monthly Load Factor

Miesiąc	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paź	Lis	Gru
LF	0,69	0,53	0,44	0,21	0,13	0,09	0,10	0,14	0,17	0,29	0,40	0,48

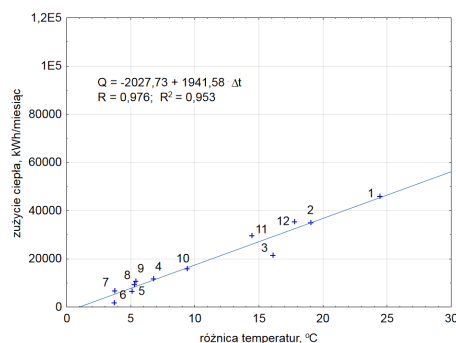
Zmienność obciążenia systemu grzewczego szklarni waha się od 9-10% w miesiącu czerwcu i lipcu do 69% maksymalnej mocy grzewczej w miesiącu styczniu. Weryfikacja zmienności obciążenia systemu grzewczego, zwłaszcza w oparciu o pomiary mocy obliczeniowej jest trudna do oceny [4], dlatego pozostałe analizy wykonano w oparciu o pomiar rzeczywistego zużycia ciepła w szklarni z ekranem zmieniającym właściwości przegrody zewnętrznej.

Wyniki badań w szklarni z ekranem pozwoliły na określenie zależności zużycia ciepła od różnicy temperatur powietrza, zarówno w okresie funkcjonowania ekranu jako dodatkowej osłony (rys. 5) jak i w czasie gdy ekran był otwarty (rys. 6). Zależność jest silniejsza dla szklarni z ekranem, ponieważ dłuższy jest czas eksploatacji szklarni w miesiącach zimowych. Szklarnia z otwartym ekranem jest użytkowana w czasie gdy zyski słoneczne zmniejszają zużycie ciepła.



Rys. 5. Zużycie ciepła w szklarni z ekranem termoizolacyjnym w funkcji różnicy temperatur

Fig. 5. Energy consumption of greenhouse with thermal screen as function of different temperature



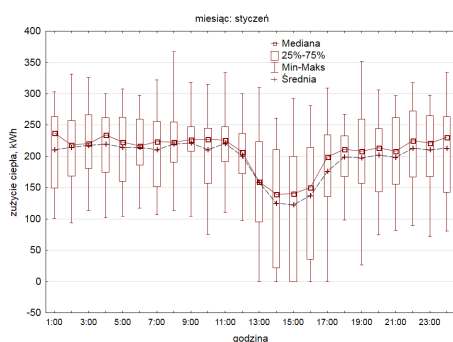
Rys. 6. Zużycie ciepła w szklarni z otwartym ekranem w funkcji różnicy temperatur

Fig. 6. Energy consumption of greenhouse without thermal screen as function of different temperature

Określone na podstawie badań zależności zużycia ciepła od różnicy temperatur pozwalają na uproszczone obliczenie zapotrzebowania na paliwo dla źródła ciepła w szklarni o zmiennych właściwościach przegrody, zakładając typowy schemat funkcjonowania ekranu termoizolacyjnego. Oczywiście taki scenariusz

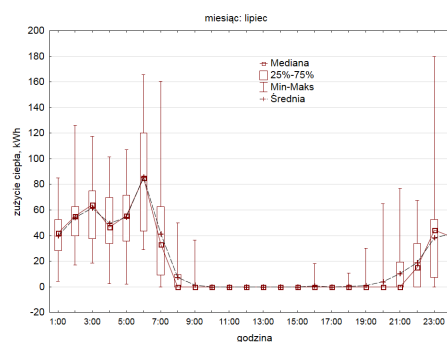
jest możliwy w obiekcie o zbliżonej wielkości i podobnych rozwiązaniach w zakresie ograniczenia strat ciepła.

Analiza zmienności obciążenia systemu grzewczego szklarni pozwala stwierdzić, że większa połowa obserwacji zużycia ciepła w miesiącach od maja do sierpnia jest zerowa. Wynika to z cykliczności dostarczania strumienia ciepła z systemu grzewczego i jego sterowania. Obserwacje zmienności obciążenia systemu grzewczego szklarni w przekroju dobowym, na podstawie zarejestrowanych danych z całego roku badań, wykazują znaczącą nierównomierność, zwłaszcza między godziną 6:00 a 15:00, kiedy różnice w zużyciu ciepła są czterokrotne. Analiza zmienności zużycia ciepła w przekroju godzinowym została zilustrowana dla przykładowych miesięcy na rys. 7 i 8, odpowiednio dla stycznia i lipca.



Rys. 7. Wykres ramka-wąsy dla zużycia ciepła w miesiącu styczniu

Fig. 7. Box and whiskers plot for energy consumption in January



Rys. 8. Wykres ramka-wąsy dla zużycia ciepła w miesiącu lipcu

Fig. 8. Box and whiskers plot for energy consumption in July

Średnie godzinowe wartości obciążeń cieplnych w porze nocnej w miesiącu styczniu kształtują się na poziomie pow. 200 kWh, podczas gdy w miesiącu lipcu największa średnia godzinowa wartość nie przekracza 100 kWh. W najcieplejszym miesiącu roku, w godzinach od 8:00 do 21:00 większość obserwacji zużycia ciepła jest zerowa i sporadycznie występują przypadki gdy istnieje potrzeba uruchomienia systemu grzewczego.

5. Wnioski

Wartości współczynnika maksymalnej mocy grzewczej LF wskazują, że średniomiesięczna zmienność obciążenia systemu grzewczego szklarni waha się w granicach od 9% w czerwcu do 69% maksymalnej mocy grzewczej w styczniu. W okresie przeprowadzania pomiarów w styczniu zaobserwowano wystąpienie temperatury zewnętrznej poniżej wartości projektowej, a średnie miesięczne temperatury w styczniu i marcu były niższe o ok. 4°C od wartości w ty-

powym roku meteorologicznym. Pozwala to na ocenę obciążenia systemu grzewczego w sytuacjach odstających od projektowych.

Analizę zmienności obciążeń cieplnych systemu grzewczego szklarni z ekranem termoizolacyjnym, zmieniającym właściwości przegrody zewnętrznej obiektu, można dokonywać się na podstawie rzeczywistych pomiarów zużycia ciepła, ponieważ daje to możliwość porównania wyników z zapotrzebowaniem na ciepło, obliczonym np. w oparciu o bilans strumieni ciepła w szklarni. Chwilowe wartości mocy cieplnej wskazywane przez ciepłomierz, z racji na cykliczny dopływ strumienia cieplnego, nie do końca nadają się do budowy wykresu obciążenia cieplnego szklarni z ekranem termoizolacyjnym. W celu właściwej oceny zmienności obciążenia cieplnego sugeruje się korzystanie z danych rejestrowanych zużycia ciepła z odstępem jednej godziny lub mniejszym.

Literatura

- [1] Grabarczyk S.: Wpływ zastosowania ekranów termoizolacyjnych w obiektach szklarniowych na zużycie energii, Dysertacja, Politechnika Warszawska, Płock 1999.
- [2] Tantau H.-J.: Heizungssysteme im Gewachshaus, ITG, Hannover 1982.
- [3] Kurpaska S.: Szklarnie i tunele foliowe - inżynieria i procesy, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań 2007.
- [4] Wojdyga K.: Prognozowanie zapotrzebowania na ciepło w miejskich systemach ciepłowniczych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.

VARIABILITY OF HEATING LOAD IN GREENHOUSE WITH THERMAL SCREEN

Summary

This paper presents results of investigation of the free-standing greenhouse with movable thermal screen inside. Energy consumption by the modern greenhouse object is analyzed, basing on the in-situ measurements. The aim of these investigation was analysis variability of heating load in greenhouse with thermal screen. The analysis was based on the registration of the external climate parameters, greenhouse microclimate, energy consumption and parameters describing the functioning of the technical equipment of greenhouse.

The computations show that the mean monthly Load Factor is in the range from 9% in June to 69% in January. Shows the structure of energy consumption per month with regard to the functioning of the greenhouse with and without a thermal screen as well as its profile changes in cross daily. In analyzes of variability heating load in greenhouse with additional cover it is recommended to use the data about energy consumption or heat demand.

Keywords: greenhouse, thermal screen, heating system, energy consumption, heating load

DOI:10.7862/rb.2016.260

Przestano do redakcji: 02.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Tomasz GRUDNIEWSKI¹

PRÓBA MODYFIKACJI POWIERZCHNI CZYNNEJ OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO POPRZEZ ZMIANĘ PARAMETRÓW PODŁOŻA

Sputtering magnetronowy jest techniką napyłania warstw cienkich znajdującą coraz większe zastosowanie w procesach wytwarzania elektroniki i ogniw fotowoltaicznych [1,2]. Celem prezentowanych w artykule prac badawczych, jest analiza możliwości zastosowania podłoża alternatywnego do powszechnie stosowanych i tym samym osiągnięcie zmian topografii warstw otrzymywanych w procesie sputteringu magnetronowego. Zaburzenie topografii podłoża może skutkować większym uporządkowaniem struktury warstwy, co oznacza bardziej jednolitą powierzchnię, lub zjawiskiem całkowicie odwrotnym. Oba rezultaty są pożądane z punktu widzenia zastosowań produkcyjnych. Z jednej strony poszukuje się cienkich i jednolitych warstw, a z drugiej warstw o zmodyfikowanej topografii. Według autora, modyfikacja topografii warstw pochłaniających promieniowanie, może doprowadzić do zwiększenia powierzchni czynnej ogniwa fotowoltaicznego a co za tym idzie zwiększyć jego wydajność [3]. W czasie eksperymentów autor używał jako podłoża standardowego szkła laboratoryjnego (float) oraz laminatu (papier z żywicą). Dokonano serii naniesień warstw cienkich, celem otrzymania kompletnego ogniwa. Ogniwa na szkło jak i na laminacie były wykonane w tych samych warunkach i parametrach kolejnych procesów. Kolejne warstwy wchodzące w skład budowy ogniwa były tak nanoszone, by istniała możliwość ich późniejszej analizy (stosowano odpowiednie przesłony). Po wykonaniu ogniw, została sprawdzona ich wydajność kwantowa, którą odniesiono do obserwacji otrzymanych w wyniku skanowania AFM kolejnych warstw.

Słowa kluczowe: ogniwa fotowoltaiczne, modyfikacja topografii warstwy, wydajność kwantowa, nanoszenie warstw

1. Wprowadzenie

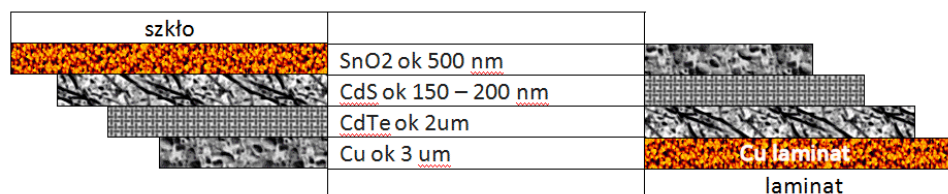
Napyłanie z wykorzystaniem sputteringu magnetronowego jest jedną z technik wytwarzania warstw ultracienkich [4]. Do głównych zalet tej metody należą: brak konieczności stosowania wysokich temperatur w czasie procesu,

¹ Tomasz Grudniewski, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Zakład Informatyki, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska; tel. 833449908; knt@pswbp.pl

oraz możliwość użycia substancji nieprzewodzących jako podłoże lub substancję napyłaną. Proces sputteringu zachodzi w komorze próżniowej, do której wprowadza się gaz, najczęściej jest to argon wysokiej czystości rzadziej z niewielką domieszką tlenu lub azotu (sputtering reaktywny), następnie do targetu wykonanego z substancji, którą się napyła, podłączane jest stały lub zmienny sygnał sterujący, który doprowadza do jonizacji gazu w komorze [5,6]. Cząsteczki plazmy kierowane przez magnesy znajdujące się pod targetem bombardują jego powierzchnię i doprowadzają do wybijania cząstek, które następnie osadzają się na pierwszej napotkanej powierzchni. Dotychczas autor próbował stosować metody modyfikacji topografii poprzez m.in. przesłony mechaniczne – eksperymenty te nie dały jednak zadowalających rezultatów. Celem pracy autora było zbadanie możliwości modyfikacji topografii nanoszonych warstw poprzez wprowadzenia nierównego podłoża, tak by zwiększyć powierzchnię aktywną, co jest pożądane przy badaniach nad ogniwami fotowoltaicznymi. Eksperymenty były przeprowadzane z wykorzystaniem magnetronu pracującego w trybie odgórnym (target znajduje się nad podłożem, na które nanoszone są warstwy). Jako podłoża ogniw wykorzystano szkiełka mikroskopowe typu float oraz płytki pcb (laminat – papier utwardzany żywicą).

2. Opis procedury badawczej

W eksperymencie do nanoszenia kolejnych warstw ultracienkich ogniw fotowoltaicznych, użyto maszyny firmy Alliance Concept Line 440. Urządzenie to posiada możliwość instalacji czterech źródeł materiałów (targetów), odpowiednie oprogramowanie procesu, przesuwanie próbką (powstającym ogniwem) pod kolejnymi targetami umożliwia budowę zaawansowanych struktur. Urządzenie jest z powodzeniem stosowane w komercyjnej produkcji pojedynczych warstw jak i nawet całych paneli fotowoltaicznych [4]. Schematyczny wygląd ogniw wytwarzanych na potrzeby prezentowanych eksperymentów przedstawia Rys. 1. W Tabeli 1 zawarto parametry procesów, które wykorzystywano przy tworzeniu kolejnych warstw. Jak łatwo zaobserwować użyte w eksperymentach ogniwa są zbudowane odwrotnie – z innej strony znajduje się podłoże. Należy tutaj wspomnieć, że podłoże laminatowe było pokryte grubą warstwą miedzi (do zastosowań w mi-



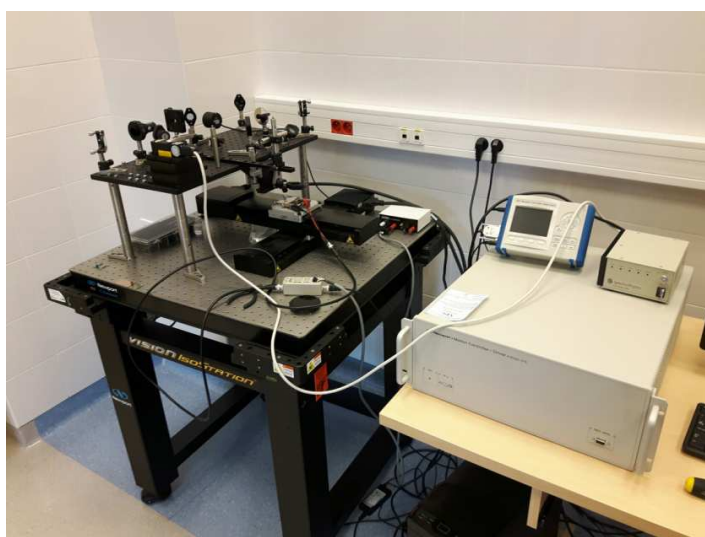
Rys. 1. Schemat budowy ogniw przygotowywanych do eksperymentów oraz grubości naniesionych warstw

Fig. 1. Scheme of the prepared cells and thickness of the applied layers

Tabela 1. Zestawienie parametrów wykonania poszczególnych warstw w analizowanych przetwornikach

Table 1. Layers sputtering process parameters

Warstwa	Parametry procesów nanoszenia
SnO ₂	moc generatora: 700W/RF; temperatura: 250 °C; gazy Ar/O ₂ : 100/5 sccm; czas 10 min.
CdS	moc generatora: 1000W/RF; temperatura: 150 °C; gaz Ar: 100 sccm; czas 7,5 min.
CdTe	moc generatora: 800W/RF; temperatura: 150 °C; gaz Ar: 100 sccm; czas 40 min.
Cu	moc generatora: 600W/DC; temperatura: 25 °C; gaz Ar: 100 sccm; czas 5 min.



Rys. 2. Układ pomiarowy służący do powierzchniowego mapowania zmian wydajności ogniw fotowoltaicznych

Fig. 2. The measuring setup used for the photovoltaic cells surface efficiency mapping

kroelektronice). By usunąć zanieczyszczenia i spowodować uzyskanie jak najcieńszej warstwy, płytki poddano trawieniu (bombardowaniu wysoko energetycznymi cząstkami, celem wybicia atomów miedzi – do pożądanej grubości).

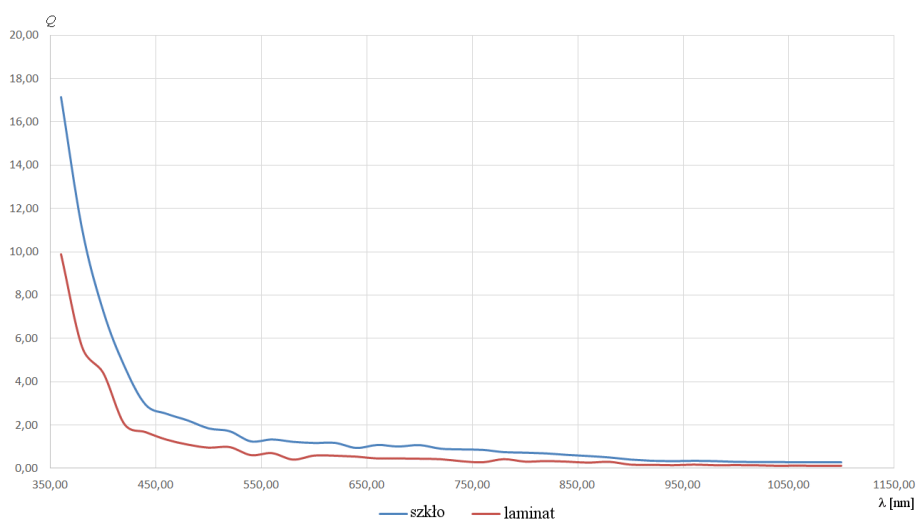
Grubości warstw określono na podstawie wcześniejszych eksperymentów dotyczących powiązania warunków procesu z pomiarami z wykorzystaniem elipsometru (Horiba Uvisel-2). Pomiarów wydajności i generowanej mocy, wykonanych ogniw dokonano z zastosowaniem dwóch układów symulatorów firmy Oriol. Wykorzystane układy umożliwiły pomiar wydajności kwantowej przetworników w odniesieniu do długości fali oświetlającej (Oriol IQE-200) oraz dla

światła białego (Oriel Sol 3A). Porównania topografii wybranych próbek dokonano stosując mikroskop sił atomowych (NT-MDT Ntegra Spectra C). Mapowanie wydajności ogniw fotowoltaicznych wykonano stosując zestaw pomiarowy pokazany na Rys. 2. Układ z Rys. 2. posiada oprogramowanie i urządzenia kontrolno-pomiarowe umożliwiające analizę zmian wydajności ogniw w różnych punktach. Wyniki badań z wykorzystaniem zestawu z Rys. 2. mogą posłużyć jako informacja o jakości procesu wykonania lub pokazać zmiany wynikające z fluktuacji topografii kolejnych warstw.

3. Metodyka i wyniki badań

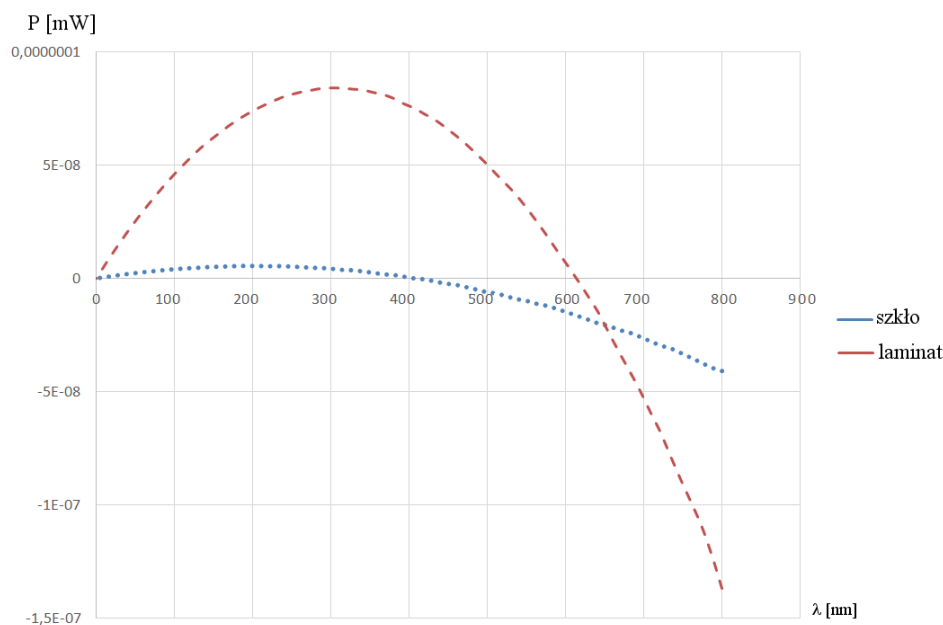
Pierwszym zbadanym zagadnieniem był pomiar wydajności kwantowej wybranych (najbardziej reprezentatywnych wg autora) ogniw w zależności od długości fali oświetlającej (Rys. 3). Pomiar wydajności kwantowej wykonano dla określonego pola powierzchni ogniw.

Kolejnym parametrem było sprawdzenie mocy generowanej przez ogniwa w odniesieniu do długości fali oświetlającej (Rys. 4). Zebrane dane dotyczą ogniwa fotowoltaicznego wykonanego na szkle jak i na laminacie.



Rys. 3. Wydajność kwantowa ogniw (szkło/laminat)

Fig. 3. Cells quantum efficiency (glass / fiberglass)

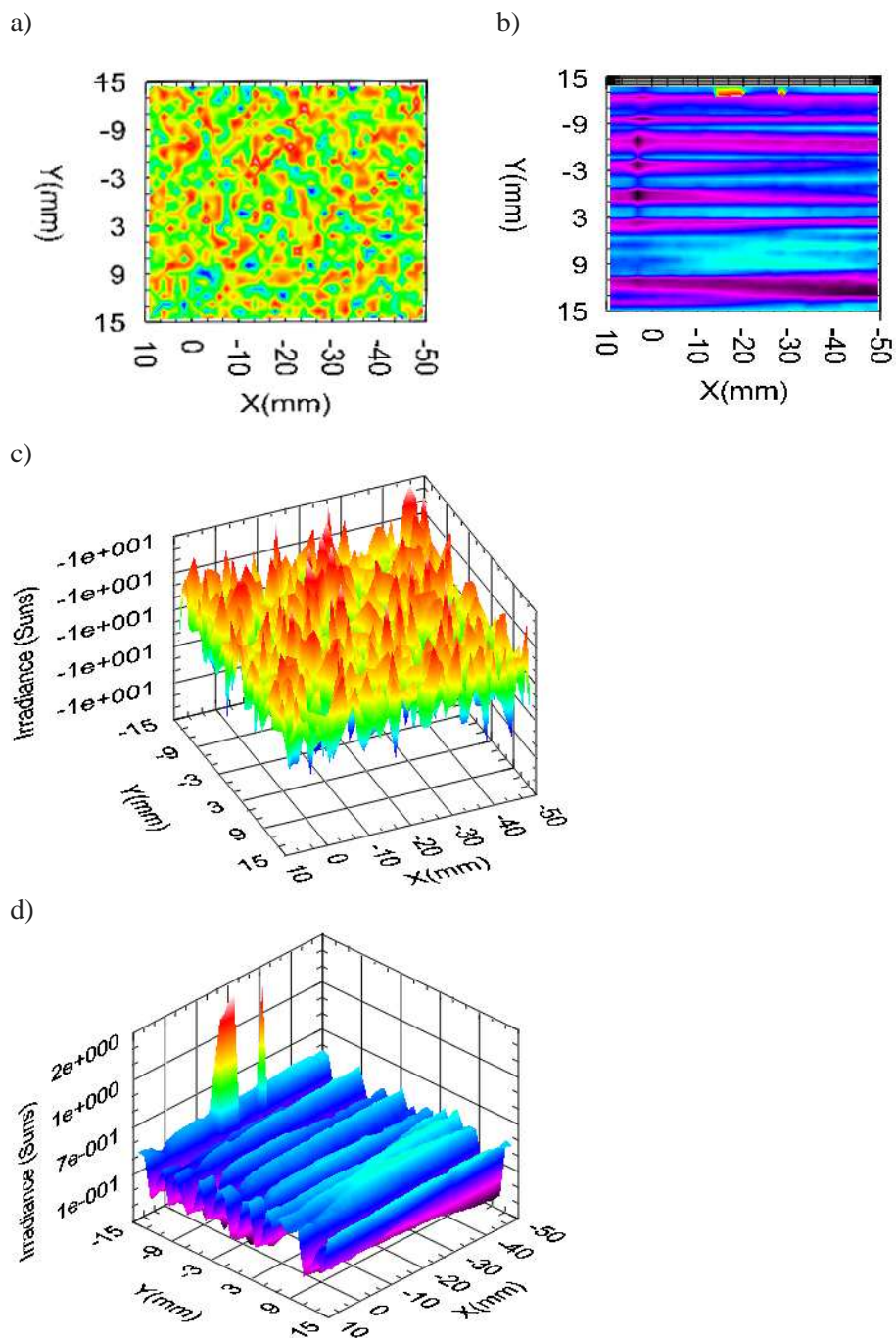


Rys. 4. Moc wybranych ogniw w odniesieniu do długości fali oświetlającej

Fig. 4. The generated power of the selected cells according to the wavelength of the light

Różnice w mocy generowanej przez badane ogniwa, skłoniły autora do wykonania dalszych pomiarów. Istniało przypuszczenie, że zaburzenia przenoszone przez warstwy powinny powodować spadek wydajności ogniw – a działa się zupełnie odwrotnie. W celu sprawdzenia zaburzeń w topografii autor wykonał 2 dodatkowe pomiary: a) mapowanie powierzchni pod kątem zmian wydajności (Rys. 5); b) obrazowanie AFM kolejnych powierzchni ogniw. Autor dobrał proces wykonania ogniw tak by po naniesieniu wszystkich warstw istniała możliwość indywidualnej analizy AFM każdej indywidualnie. Ze względów objętościowych w prezentowanym artykule umieszczono tylko obrazy AFM warstwy CdTe dla dwóch powiększeń.

Powierzchnie ogniw są takie same i ogniwo na szkle ma większą wydajność kwantową praktycznie w całym zakresie, pomimo tego ogniwo na laminacie generuje większą moc. Na mapie widać że te ogniwo na laminacie jest dużo bardziej jednorodne, ta moc generowana jest praktycznie maksymalnie na całym obszarze, a ogniwo na szkle, pomimo tego że w kilku punktach widocznych na mapie generują większą moc, pozostała jego część jest prawie nieaktywna. Wymogi objętościowe tego artykułu nie pozwalają autorowi skupić się jedynie na wybranych fragmentach badań i przemyśleń dotyczących analizowanego zagadnienia.



Rys. 5. Mapy wydajności wykonanych ogniw: a i c) podłoże laminat; b i d) podłoże szkło

Fig. 5. Mapping of the prepared cells: a, c) the laminate substrate; b, d) glass substrate

4. Wnioski

1. Autorowi udało się uzyskać w pełni funkcjonujące ogniwo fotowoltaiczne na podłożu z laminatu papierowo żywicznym, które cechowało się bardzo zadowalającymi parametrami z punktu widzenia użytkowego.
2. Jakość (płaskorównoległość) kolejno nanoszonych warstw jest powieleniem struktury podłoża i może mieć wpływ na efektywność ogniw.
3. Potwierdzono wcześniejsze przypuszczenia (oraz prowadzone przez autora badania), wg. których fluktuacje warstwy absorpcyjnej mogą prowadzić do wzrostu powierzchni czynnej a tym samym zmian w efektywności [7].
4. Ze względu na obserwowane (Rys. 5) fluktuacje, tematyka wymaga dalszych badań – między innymi planuje się zwiększenie grubości kolejnych warstw, zastosowanie innych podłoży.

Literatura

- [1] Sahin A., Kaya H., Thin-Film Solar Cells, 2010.
- [2] Posadowski W. M.: Pulsed magnetron sputtering of reactive compounds, Thin Solid Films, 1999.
- [3] Sławomir Gułkowski. Modelowanie charakterystyk I-V ogniw słonecznych w środowisku matlab/simulink. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 203-208, DOI:10.7862/rb.2014.88.
- [4] Luhn V., Zarapin V., Zharski I., Zhukowski P.: Sensorowe właściwości cienkich warstw SnO₂ wytwarzanych rozpylaniem magnetronowym, Elektronika. Konstrukcje, technologie, zastosowania 11/2011.
- [5] Park M. W., Lee W. W., Lee J. G., Lee Ch. M, A Comparison of the Mechanical Properties of RF- and DC- Sputter-Deposited Cr Thin Films, Materials Science, 2007.
- [6] Musil J., Baroch P., Vlcek J., Nam K.H., Han J.G.: Reactive magnetron sputtering of thin films: present and trends, Thin Solid Films, 2005.
- [7] Krawczak E., Gułkowski S., Olchowik J. M.: Badanie efektywności pracy fotowoltaicznego systemu „off-grid” w warunkach zimowo-wiosennych dla Lubelszczyzny. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 317-328, DOI:10.7862/rb.2014.98.

PHOTOVOLTAIC CELL ACTIVE SURFACE CHANGE USING SUBSTRATES WITH DIFFERENT TOPOGRAPHY PARAMETERS

Summary

Magnetron Sputtering can create thin layers with can be used for electronic elements or photovoltaic cells [1,2]. The objective presented in the article concern the possibility of using photovoltaic cells substrates alternative to the commonly used. The author hypothesizes that the changes

in the topography of the layers obtained by the sputtering magnetron are the consequence of disorders to the topography of the substrate. This disorder may result in a greater re-arrangement of the layer structure, leading to a more uniform after-surface, a phenomenon completely the opposite of what was thought. Both results are desirable in production applications. On the other hand, the most sought after result is the thin, uniform layers being the other layers of the modified topography. Disturbed layers can increase the active surface of the photovoltaic cell and thus increase its efficiency [3]. During the experiments, the author used as a base standard laboratory glass (float) and the laminate (paper with resin). There have been a series of thin layers of annotations, in order to obtain a complete cell. Cells on glass and the laminate was manufactured under the same conditions and parameters of other processes. Successive layers included in the construction of the cells to be applied so that it is possible subsequent analysis (using the appropriate aperture). After the cells were tested for quantum efficiency, which was related to the observation obtained by scanning successive layers of AFM.

Keywords: photovoltaic cells, layer topography modification, quantum efficiency, thin layer creation

DOI:10.7862/rb.2016.261

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Tomasz GRUDNIEWSKI¹
Sławomir CZERNIK²
Zofia LUBAŃSKA³
Marta CHODYKA⁴
Jerzy NITYCHORUK⁵

ANALIZA WŁASNOŚCI WARSTW CDS W ZALEŻNOŚCI OD PARAMETRÓW PROCESU WYTWARZANIA Z WYKORZYSTANIEM NAPYLANIA PLAZMOWEGO

W prezentowanym artykule, autorzy skupili się na analizie zmian wydajności ogniw fotowoltaicznych, których jednym z kluczowych składników jest CdS. Wykorzystując urządzenie do (napylania) sputteringu magnetronowego, autorzy podjęli próbę modyfikacji wybranych składników procesu nanoszenia warstw materiału. Celem wskazanego działania było zwiększenie wydajności ogniw, usprawnienie oraz obniżenie kosztów procesu produkcyjnego. Autorzy przebadali grupę wytworzonych przez siebie w różnych (wskazanych eksperymentem) warunkach ogniw, analizując ich wydajność w przypadku światła białego, wydajność względem długości fali oświetlającej oraz odnieśli otrzymane wyniki do zmian w topografii warstw CdS. Domniemywano, że podobnie jak w przypadku innych materiałów (autorzy we wcześniejszych pracach zajmowali się poprawą parametrów elektro-optycznych podłoży przewodzących), utrzymywanie procesu w możliwie wysokiej temperaturze spowoduje lepsze uporządkowanie struktury CdS a tym samym poprawę parametrów elektro-optycznych. Postanowiono zbadać, czy podobna zależność wpłynie na wydajność ogniwa fotowoltaicznego. Równolegle autorzy pracują nad technikami mającymi zmodyfikować topografię ogniw fotowoltaicz-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Tomasz Grudniewski, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Zakład Informatyki, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska; tel. 833449909; knt@pswbp.pl

² Sławomir Czernik, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Centrum Badań nad Innowacjami, ul. Sidorska 105, 21-500 Biała Podlaska; cbni@pswbp.pl

³ Zofia Lubańska, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Zakład Informatyki, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

⁴ Marta Chodyka, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Zakład Informatyki, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

⁵ Jerzy Nitychoruk, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Zakład Budownictwa, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska; tel. 833449907; jerzy.nitychoruk@pswbp.pl

nych w celu zwiększenia powierzchni czynnej. Postanowiono zatem zbadać przedstawione powyżej zagadnienia w możliwie najszerszy sposób.

Słowa kluczowe: ogniwa fotowoltaiczne, modyfikacja topografii warstwy, wydajność kwantowa, nanoszenie warstw

1. Wprowadzenie

Coraz powszechniej stosowaną techniką wytwarzania ultra cienkich warstw materiałów w mikroelektronice staje się napylenie cienkich warstw z wykorzystaniem plazmy. Ze względu na aspekty ekonomiczne jest to proces szczególnie opłacalny w eksperymentach na skalę laboratoryjną. Pojedyncza inwestycja w źródła materiału (targety), pozwala przeprowadzać eksperymenty przez wiele lat. Jedynymi kosztami są: obsługa urządzenia oraz doprowadzone media. Sam proces napylenia polega na wzbudzeniu plazmy w otoczeniu gazu szlachetnego i doprowadzenia do wybicia atomów pierwiastka ze źródła. Wybite atomy, w sposób losowy są rozpraszane na materiale podłoża [1,2]. O ile idea wykorzystania urządzenia do nanoszenia pojedynczych warstw jest powszechnie znana, to pojawiają się problemy w przypadku chęci modyfikacji topografii napylnego materiału, napylenia w sposób selektywny w wybranych obszarach bądź wprowadzenia do istniejących źródeł dodatkowego pierwiastka. Autorzy w swoich dotychczasowych pracach zajmowali się wymienionymi zagadnieniami. Szczególną uwagę w przypadku wytwarzania warstw ultra cienkich, kładzie się na ich jakości. Jakość warstw jest czynnikiem kluczowym i oznacza płaską jednolitą strukturę bez zbędnych artefaktów [3]. Jednym z czynników poprawiających jakość warstw jest temperatura [4]. Powszechnie wiadomo, że przeprowadzenie procesu napylenia w wysokiej temperaturze daje znacznie lepsze efekty co do jakości warstwy niż przeprowadzenie tego samego procesu w temperaturze pokojowej [5,6]. Autorzy wytworzyli 27 ogniw fotowoltaicznych i postanowili sprawdzić, czy w przypadku warstwy absorpcyjnej jakość odgrywa rolę znaczącą.

2. Opis procedury badawczej

W eksperymencie do nanoszenia kolejnych warstw ultracienkich ogniw fotowoltaicznych, użyto maszyny firmy Alliance Concept Line 440 (Rys. 1.). Urządzenie to posiada możliwość instalacji czterech źródeł materiałów (targetów), odpowiednie oprogramowanie procesu, przesuwanie próbką (powstającym ogniwem) pod kolejnymi targetami umożliwia budowę zaawansowanych struktur. Urządzenie jest z powodzeniem stosowane w komercyjnej produkcji pojedynczych warstw jak i nawet całych paneli fotowoltaicznych [3-5]. Niewątpliwą zaletą urządzenia jest funkcja służąca umożliwiająca wprowadzanie próbek bez konieczności wypompowywania gazów roboczych. Pomędzy służą a obszarem, w którym znajdują się źródła producent zainstalował obszar, w którym możliwe



Rys. 1. Alliance Concept Line 440

Fig. 1. Alliance Concept Line 440

jest oczyszczanie powierzchni w próżni (trawienia) - wysoko energetycznego wybijania atomów z powierzchni próbki.

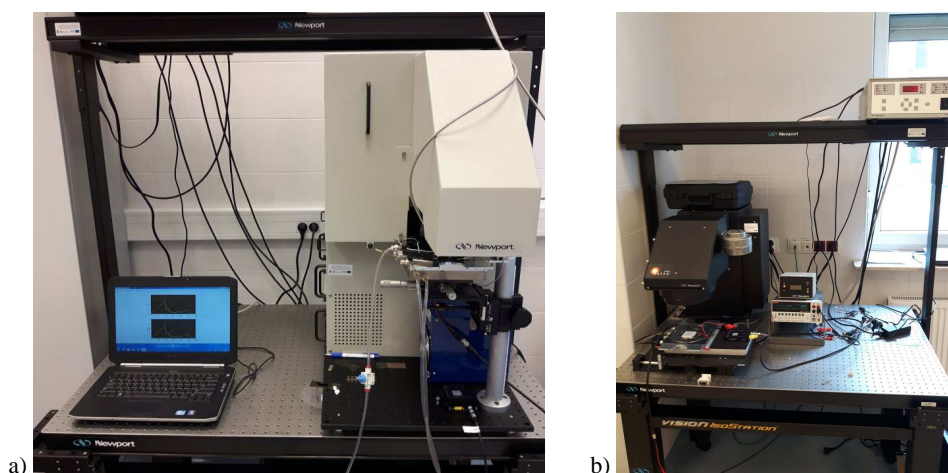
Opanowanie procesów technologicznych związanych z użytkowaniem Line 440 umożliwiło autorom sprawne kontrolowanie parametrów wytwarzanych warstw. Schematyczny wygląd wytwarzanych na potrzeby prezentowanych eksperymentów ogniw przedstawia Rys. 2.

Warstwa	Materiał	Parametry procesu	Grubość
	Szkoło		1mm
	SnO ₂	15 min, Ar: 33,75 sccm, O ₂ : 11,25 sccm, 800 W/RF, 250 °C	~500nm
	CdS	10min, Ar: 100 sccm	~250nm
	CdTe	40 min, Ar: 100 sccm, 800 W/RF, 150 °C	~2250nm
	Cu	5 min, Ar: 100 sccm, 600 W/DC	>3um

Rys. 2. Schemat oraz parametry wykonania ogniw wykorzystywanych w eksperymentach

Fig. 2. Scheme and process parameters of the cells used in the experiments

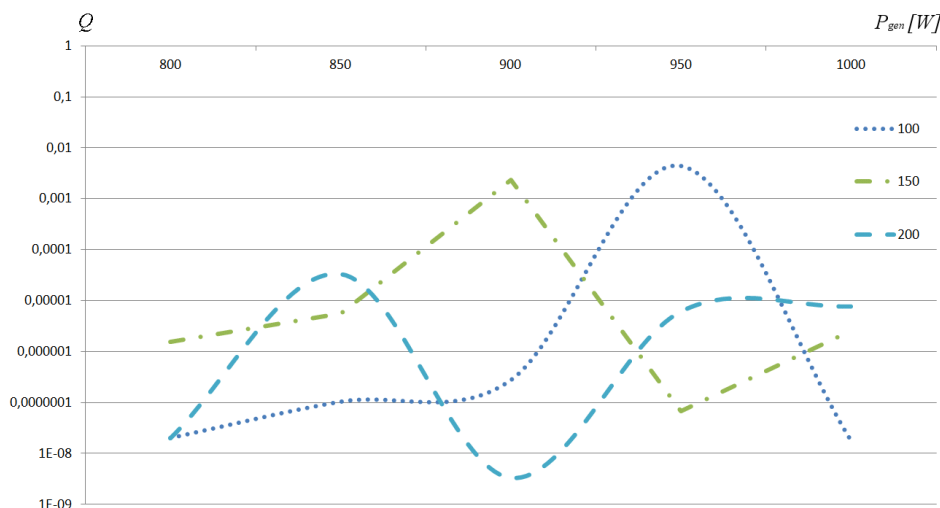
Grubości warstw określono na podstawie wcześniejszych eksperymentów dotyczących powiązania warunków procesu oraz pomiarów z wykorzystaniem elipsometru (Horiba Uvisel-2). Pomiarów wydajności wykonanych przetworników dokonano z wykorzystaniem dwóch układów symulatorów firmy Oriol (Rys. 3). Wykorzystane układy umożliwiały pomiar wydajności kwantowej przetworników w odniesieniu do długości fali oświetlającej (Oriol IQE-200) oraz dla światła białego (Oriol Sol 3A). Porównania topografii wybranych próbek dokonano stosując mikroskop sił atomowych (NT-MDT Ntegra Spectra C).



Rys. 3. Układy wykorzystywane w badaniach: a) symulator Oriel IQE-200; b) symulator Oriel Sol 3A
Fig. 3. The systems used in experiments: a) simulator Oriel IQE-200; b) simulator Oriel Sol 3A

3. Metodyka i wyniki badań

Jak wspomniano wcześniej, autorzy postanowili skorelować, uprościć i ulepszyć proces nanoszenia warstw CdS w celu otrzymania jak najkorzystniejszej relacji pomiędzy wydajnością przetwornika a uproszczeniem procesu. Magnetron Line 440 umożliwia modyfikację m.in.: czasu nanoszenia warstwy, mocy dostarczonej w procesie napyłania, modyfikacji składu gazów roboczych oraz temperatury procesu. Najbardziej czasochłonnym i pochłaniającym najwięcej energii jest proces powolnego podgrzewania próbek. Dotychczasowe doświadczenia autorów (oraz dane literaturowe), polegające na nanoszeniu cienkich warstw materiałów oraz wytwarzaniu tlenków, potwierdzały teorię, iż warstwy wysokotemperaturowe cechowały się znacznie lepszą topografią oraz lepszymi parametrami elektrooptycznymi [3,7,8]. Postanowiono zatem sprawdzić, czy podobne zależności można zaobserwować w przypadku nanoszenia warstwy pełniącej rolę absorbera. Autorzy domniemywali, że fluktuacje powierzchni (cecha charakterystyczna dla struktur otrzymywanych w niskich temperaturach) mogą nie wpływać znacząco na pogorszenie parametrów absorpcyjnych a znacząco skrócić czas potrzebny na wytworzenie. Autorzy na potrzeby eksperymentu wytworzyli 27 funkcjonujących ogniw. Na Rys. 4 zawarto krzywe wydajności, wykreślone dla próbek otrzymanych przy różnych temperaturach i różnych mocach generatora magnetronu. Krzywe otrzymano z połączenia wyników dla poszczególnych ogniw (otrzymanych dla różnych mocy generatora), celem zaobserwowania kierunku zmian w wydajności. Na wykresie umieszczono wykresy przy trzech wybranych temperaturach (po analizie uznano je za najbardziej reprezentatywne). Poza wskazanymi na wykresie, identyczne eksperymenty wykonano dla temperatur: 125 i 175°C.



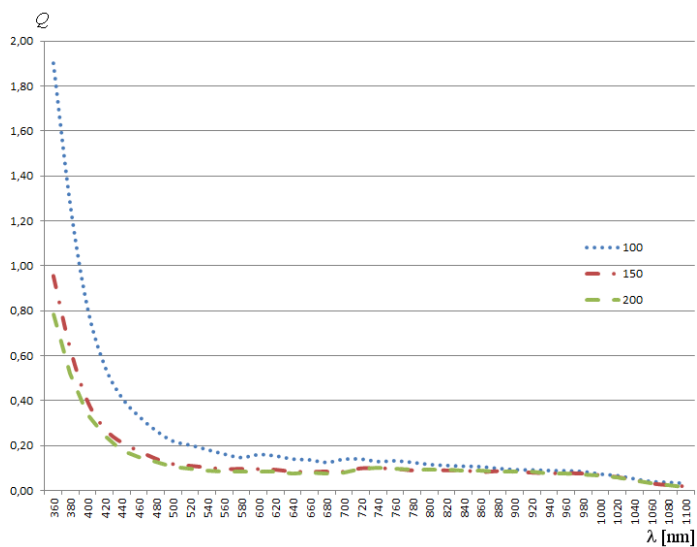
Rys. 4. Wydajność [%] ogniw w funkcji temperatury oraz mocy generatora magnetronu

Fig. 4. The cells efficiency [%] as a function of temperature and power of the magnetron generator

Jak łatwo zaobserwować, odpowiednia kombinacja odpowiednio dobranej mocy generatora oraz temperatury może doprowadzić do bardzo obiecujących efektów. Z przedstawionego powyżej wykresu wynika, że z punktu widzenia użyteczności ogniwa, największą wydajnością wykazały się warstwy naniesione w temperaturze 100 stopni.

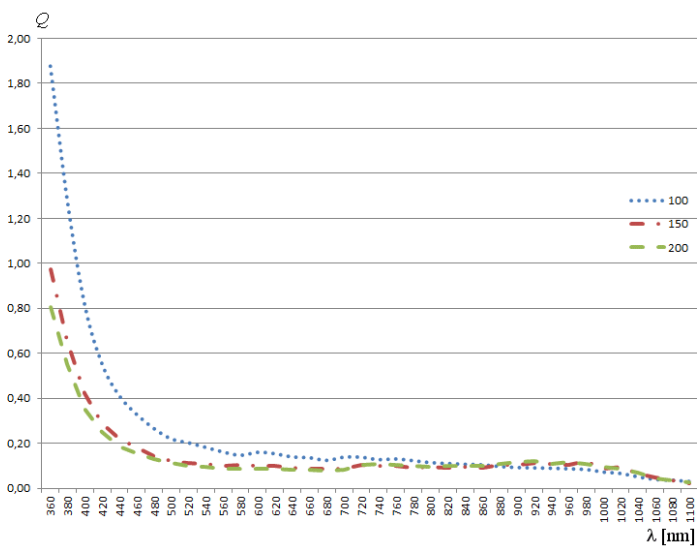
Dodatkowo postanowiono zbadać wydajności kwantowe w zależności od długości fali świetlnej celem potwierdzenia danych zilustrowanych na Rys. 4. Otrzymane rezultaty przedstawiono na Rys. 5 i Rys. 6. Jak łatwo zaobserwować potwierdziły one dane z Rys. 4.

Interesujące zatem stało się przeanalizowanie topografii próbek. We wcześniejszych eksperymentach autorzy dążyli do modyfikacji topografii z zastosowaniem różnych metod (głównie mechanicznych). Autorzy we wcześniejszych eksperymentach obserwowali, iż ze spadkiem temperatury procesu, topografia otrzymywanych warstw jest zaburzona. Po analizie wykresu (Rys. 4) istniało prawdopodobieństwo, że w wyniku spadku temperatury na powierzchni CdS również pojawiły się fluktuacje. Jedyną metodą umożliwiającą sprawdzenie tego stanu było wykorzystanie mikroskopii sił atomowych (Rys. 7). Pokazane na Rys. 7 fotografie dotyczą wycinka CdS o wymiarach $1 \times 1 \mu\text{m}$.



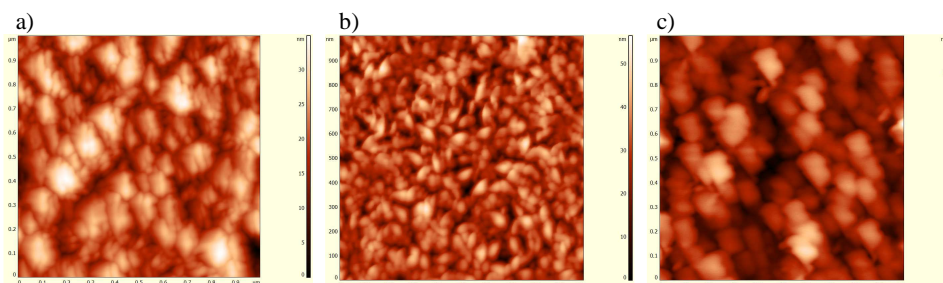
Rys. 5. Wydajność kwantowa [EQE %] w funkcji długości fali oświetlającej

Fig. 5. The quantum efficiency [EQE %] as a function of the illuminating wavelength



Rys. 6. Wydajność kwantowa [IQE %] w funkcji długości fali oświetlającej

Fig. 6. The quantum efficiency [IQE %] as a function of the illuminating wavelength



Rys. 7. Obrazy topografii warstwy CdS w zależności od zmian temperatury nanoszenia: a) 100°C; b) 150°C; c) 200°C

Fig. 7. Topography images of the CdS layers obtained in different temperatures: a) 100°C; b) 150°C; c) 200°C

4. Wnioski

1. Potwierdzono zależność wpływu temperatury procesu wytwarzania na końcową topografię otrzymanej warstwy (Rys. 7).
2. Zrealizowano założenia wstępne polegające na optymalizacji procesu wytwarzania ogniwa fotowoltaicznego poprzez obniżenie temperatury procesu i modyfikację mocy generatora magnetronu.
3. Stwierdzono brak istotnej zależności pomiędzy jakością warstwy CdS a wydajnością ogniwa fotowoltaicznego.
4. Potwierdzono, że metoda modyfikacji procesu nanoszenia warstw może posłużyć do zmian w topografii a tym samym modyfikacji obszaru czynnego ogniwa fotowoltaicznego.

Literatura

- [1] Posadowski W. M.; Pulsed magnetron sputtering of reactive compounds, *Thin Solid Films*, vol. 343-344, s. 85-89, 1999.
- [2] Mech K, Kowalik R., Żabiński P.; Cu thin films deposited by DC magnetron sputtering for contact surfaces on electronic components, *Archives of Metallurgy and materials*; vol. 56; 2011.
- [3] Grudniewski T, Lubańska Z., Czernik S.: Charakterystyka AFM cienkich warstw SnO₂ uzyskanych podczas sputteringu magnetronowego przy wybranych warunkach procesu. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury* – *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (2/15), 2015, s. 99-103, DOI:10.7862/rb.2015.40.
- [4] S. Gulkowski, E. Krawczak, J. Olchowik. Optimization of metallic precursor thickness ratio for CIGS solar cell prepared by magnetron sputtering process. *Proceedings of 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany*, s. 1330-1332.
- [5] M. Batzill, U. Diebold, *The surface and materials science of thin oxide*, *Progress in Surface Science* 79, s.47-154, 2005.

- [6] Kaczmarek D.: Modyfikacja wybranych właściwości cienkich warstw TiO_2 , Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [7] Takayuki I., Hiroaki M., Takashi I., Wide erosion nickel magnetron sputtering using an eccentrically rotating center magnet; *Vacuum* 83, s. 470-474, 2009.
- [8] Takayuki I., Target utilization of planar magnetron sputtering using a rotating tilted unbalanced yoke magnet, *Vacuum* 84, s. 339-347, 2010.

ANALYSIS OF CdS LAYERS PROPERTIES ACCORDING TO THE MANUFACTURING PROCESS USING MAGNETRON SPUTTERING

S u m m a r y

In this paper, the authors focused on the analysis of changes in the efficiency of photovoltaic cells, where one of the main components is CdS. Using the magnetron sputtering device, the authors attempted to modify the selected components during applying layers of material. The purpose of that experiment was to increase cell efficiency, streamlining and reducing the cost of the production process. The authors studied a group of 27 prepared photovoltaic cells, created in different (indicated by experiment) process conditions. The different effects was examined: the cell efficiency in the case of white light illumination, efficiency in relation to the wavelength of the illumination, and also the obtained results to changes in the topography of the CdS layer. It was alleged that, as in the case of other materials (the authors of the earlier work dealt with the improvement in performance electro-optical conductive substrates), keeping the process as possible high temperature will result in a better structuring of CdS and thus improving the performance of electro-optical devices. It was decided to investigate whether a similar relationship will affect the performance of the photovoltaic cell. In parallel, the authors are working on techniques having to modify the topography of photovoltaic cells to increase the active surface. It was therefore decided to examine the above issues in the widest possible way.

Keywords: photovoltaic cells, layer topography modification, quantum efficiency, thin layer creation

DOI:10.7862/rb.2016.262

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Sławomir GUŁKOWSKI¹

OTRZYMYWANIE CIENKICH WARSTW ABSORBERA CIGS METODĄ ROZPYLANIA MAGNETRONOWEGO DLA ZASTOSOWAŃ FOTOWOLTAICZNYCH

W artykule przedstawiono metodę rozpylania magnetronowego w zastosowaniu do nanoszenia cienkich warstw krystalicznych absorbera CIGS stosowanych w cienkowarstwowych ogniwach słonecznych. Metoda rozpylania magnetronowego jest efektywną metodą produkcji cienkich warstw CIGS. Proces nanoszenia warstw można podzielić na dwie zasadnicze części: pierwsza to tworzenie prekursora CIG, tj. nanoszenie warstw metalicznych miedzi, galu i indu w odpowiednich proporcjach. Etap drugi to krystalizacja absorbera CIGS w wyniku procesu wygrzewania prekursora w obecności selenu. W artykule skupiono się na opracowaniu odpowiednich proporcji poszczególnych pierwiastków wchodzących w skład prekursora. Przebadano następujące konfiguracje nanoszenia poszczególnych warstw absorbera: CuGa/In oraz CuGa/In/Cu. Poszczególne warstwy naniesione zostały na podłoże molibdenowe, stanowiące tylny kontakt ogniwa budowanego na bazie absorbera CIGS. Warstwa molibdenu została przebadana metodą czterooszczą w celu znalezienia zależności rezystywności od grubości warstwy. Przeprowadzono analizę składu pierwiastkowego warstwy za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego wyposażonego w system EDS. Dla każdej z otrzymanych warstw określono atomowe współczynniki proporcji występowania miedzi oraz galu w składzie warstwy. Na podstawie otrzymanych wyników badań dokonano optymalizacji parametrów technologicznych procesu takich jak: moc katody, ciśnienie oraz czas procesu, a także temperatura. Znaleziono zależności grubości warstw w funkcji czasu nanoszenia dla ustalonych warunków ciśnienia i mocy. Grubości poszczególnych warstw określono na podstawie badań profilometrycznych. W oparciu o opracowane parametry wykonane warstwy prekursora poddawane są obróbce termicznej w celu uzyskania absorbera CIGS.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, ogniwa cienkowarstwowe, absorber CIGS, rozpylanie magnetronowe

1. Wprowadzenie

¹ Sławomir Gułkowski, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii, ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin; tel. 81 538 46 54; s.gulkowski@pollub.pl

Ogniwa słoneczne zbudowane na bazie diselenku miedziowo-indowo-galowego (ang. Cooper-Indium-Gallium-Diselenide - CIGS) stanowią obiecującą alternatywę dla ogniw wykonanych w oparciu o powszechnie wykorzystywane technologie krzemowe zarówno pod kątem ceny jak i sprawności. Wynika to z możliwości otrzymywania wysokiej jakości struktur półprzewodnikowych o grubości kilku mikrometrów na podłożach o dużej powierzchni i niskim koszcie, takich jak szkło sodowe czy stal nierdzewna. Dla porównania w krzemowym ogniwie krystalicznym grubość warstwy wynosi 300 μm . Ponadto znaczną część kosztów produkcji krzemowych ogniw słonecznych (65%) pochłania etap przygotowania wysokiej jakości podłoża Si, na który składają się procesy oczyszczania, krystalizacji a także cięcia, które prowadzą do strat materiału [1]. W przypadku ogniw heterozłączowych problem stanowi dopasowanie sieci krystalicznej [2]. Istotną przewagą cienkowarstwowych absorberów CIGS nad materiałami krzemowymi w zastosowaniach fotowoltaicznych jest również prosta przerwa energetyczna oraz wysoki współczynnik absorpcji, który umożliwia, przy grubościach warstwy rzędu kilku mikronów, absorpcję całości promieniowania padającego na ogniwo oraz jego konwersję na prąd elektryczny.

W ostatnich latach sprawność laboratoryjnych ogniw CIGS znacznie wzrosła i na chwilę obecną przekracza 22%. Sprawność komercyjnych modułów wynosi ok. 15%. Koszt produkcji szacuje się na 0.49\$/Wp, dla porównania koszt produkcji powszechnie używanych modułów krzemowych modułów krystalicznych wynosi 0.334\$/W [3].

Wysokiej wydajności ogniwa słoneczne CIGS zbudowane są w oparciu o złącze p-n, na które składa się absorber diselenku miedziowo-indowogalowego typu p oraz siarczek kadmu typu n. Struktura złącza umieszczana jest najczęściej na podłożu ze szkła sodowego (SLG – Soda Lime Glass), na które nanoszona jest warstwa molibdenu stanowiąca kontakt dolny. W dalszej kolejności tworzone są warstwy przewodzące stanowiące kontakt górny ogniwa: ZnO/ZnO-Al/Al. Prowadzone są również prace badawcze nad wykorzystaniem warstwy SnO₂ otrzymywanej metodą rozpylania magnetronowego [4].

Absorber CIGS jest kryształem o strukturze chalkopirytu w skład którego wchodzi cztery pierwiastki: miedź, ind, gal oraz selen. Utworzenie odpowiedniej struktury kryształu wymaga doboru właściwego składu atomowego wymienionych pierwiastków. Równania (1), (2) przedstawiają metodę obliczania składu atomowego miedzi i galu w strukturze absorbera.

$$AR_{Cu} = \frac{Cu}{In+Ga} \quad (1)$$

$$AR_{Ga} = \frac{Ga}{In+Ga} \quad (2)$$

Wielkość współczynnika AR_{Cu} powinna mieścić się w przedziale $0.7 \div 1.0$. Natomiast w przypadku AR_{Ga} ilość Ga nie powinna przekraczać 0.3. Skład atomowy selenu w strukturze absorbera to ok. 50%.

W artykule przedstawiono metodę rozpylania magnetronowego jako technikę osadzania cienkich warstw z powierzchni elektrody rozpylanej (targetu). Dokonano optymalizacji parametrów technologicznych procesu nanoszenia warstw pod kątem składu pierwiastkowego absorbera.

2. Opis procedury badawczej

Do nanoszenia warstw metalicznych wykorzystany został magnetron firmy Alliance Concept Line 450, przedstawiony na rysunku 1. Uwzględniając możliwość pracy urządzenia zarówno w trybie DC (Direct Current) jak i RF (Radio Frequency) system umożliwia nanoszenie zarówno materiałów przewodzących jak i nieprzewodzących na podłoże w kształcie koła o średnicy równej średnicy tarczy katody. Przykładowe katody (targety) pokazane zostały na rysunku 2. Średnica katody wynosi 4 cale.



Rys. 1. Magnetron firmy Alliance Concept 450

Fig. 1. Alliance Concept Sputtering Magnetron System Line 450



Rys. 2. Tarcza katody (target)

Fig. 2. Sputtering target

Urządzenie wyposażone jest w turbo pompę, umożliwiającą odpompowanie komory do ciśnienia $p_0=10^{-5}$ mbar na początku procesu, oraz utrzymanie określonego poziomu próżni podczas procesu. Gazem roboczym we wszystkich przeprowadzonych eksperymentach był Argon.

2.1. Przygotowanie podłoży

Badania eksperymentalne przeprowadzono na podłożach szklanych o rozmiarach $2.5\text{cm} \times 7.5\text{cm}$ ze szkła sodowego (SLG – Soda Lime Glass), które przed procesem nanoszenia poddane zostały czyszczeniu chemicznemu w myjce ultradźwiękowej w acetonie, alkoholu etylowym a następnie wysuszone strumieniem gazu N_2 .

W pierwszej kolejności naniesiona została warstwa molibdenu. Parametry technologiczne procesu dobrane zostały zgodnie z wykonaną charakterystyką szybkości depozycji Mo dla zadanych warunków, tj. moc $P = 80\text{W}$, przepływ argonu – 20sccm , ciśnienie $p = 2.0 \cdot 10^{-2}\text{mbar}$, czas trwania procesu $t = 60\text{min}$ oraz temperatura w komorze $T = 25^\circ\text{C}$. Otrzymane warstwy przebadane zostały pod kątem przewodnictwa elektrycznego.

2.2. Magnetronowe osadzanie składników absorbera

Osadzanie składników absorbera dokonano z wykorzystaniem tarczy katodowych (targetów) o czystości nie mniejszej niż 99.99%. Z uwagi na bardzo niską temperaturę topnienia galu, nie jest praktykowana produkcja katod z tego materiału. Umieszczenia galu w strukturze absorbera dokonano z wykorzystaniem targetu CuGa. Pozostałe katody to czyste tarcze indu (In) i miedzi (Cu). W celu określenia optymalnych warunków procesu nanoszenia składników absorbera przeprowadzono serię eksperymentów, w których określono czasy trwania procesu nanoszenia poszczególnych warstw materiału targetu dla niezmiennych pozostałych parametrów technologicznych procesu tj. mocy, ciśnienia czy temperatury. Na podstawie badań EDS określono atomowe składy pierwiastkowe opisane równaniami (1) i (2) w funkcji współczynników, zdefiniowanych jako stosunek grubości poszczególnych warstw, tj. CuGa/In oraz Cu/In. Szczegółowy plan przeprowadzonych eksperymentów przedstawiony został w tabelach 1 – 3. Dla wszystkich trzech materiałów katody zastosowano następujące, stałe, parametry procesu rozpylania: moc $P = 80\text{W}$, przepływ argonu – 20sccm , ciśnienie $p = 2.0 \cdot 10^{-2}\text{mbar}$, oraz temperatura w komorze $T = 25^\circ\text{C}$. Grubości warstw określono w oparciu o czasy depozycji zgodnie z wykresami charakterystyk zamieszczonymi w niniejszej oraz we wcześniejszej pracy [5].

W tabeli 1 przedstawiono grubości kolejnych warstw nanoszonych w jednym cyklu, jedna warstwa po drugiej, w następującej kolejności: CuGa/In. Przyjęto stałą wartość grubości dla warstwy CuGa oraz zmienną dla warstwy In. Analiza EDS pozwala wyznaczyć zależność składu pierwiastkowego tak przygotowanej struktury. W celu zwiększenia dokładności analizy EDS zmodyfikowano program nanoszenia warstw w taki sposób, aby całkowita grubość warstwy absorbera (a właściwie prekursora) została osiągnięta poprzez cykliczne nanoszenie kolejnych warstw w następującej kolejności (4 cykle): CuGa/In/CuGa/In. Parametry zastosowane w tej części eksperymentu przedstawia tabela 2.

Tabela 1. Parametry warstw CuGa, In nanoszonych w jednym cyklu eksperymentalnym

Table 1. Parameters of the CuGa, In layers deposited in one experimental cycle

Nr próbki	Cykle	Grubość CuGa [nm]	Grubość In [nm]	CuGa/In
1	1	200	500	0.4
2	1	200	400	0.5
3	1	200	300	0.7
4	1	200	200	1.0

Tabela 2. Parametry warstw CuGa, In nanoszonych w czterech cyklach eksperymentalnych

Table 2. Parameters of the CuGa, In layers deposited in four experimental cycles

Nr próbki	Cykle	Grubość CuGa [nm]	Grubość In [nm]	CuGa/In
5	4	70	95	0.74
6	4	60	105	0.57
7	4	50	145	0.35

Ekspertymenty przeprowadzone w oparciu o parametry przedstawione w tabelach 1 i 2 umożliwiają optymalizację składu pierwiastkowego pod kątem występowania galu w strukturze warstwy. Kolejna seria eksperymentów dotyczy nanoszenia warstw miedzi przy ustalonym współczynniku CuGa/In w celu optymalizacji składu pierwiastkowego pod kątem jej występowania w strukturze warstwy. Tabela 3 przedstawia grubości poszczególnych warstw osadzanych cyklicznie wg schematu CuGa/In/Cu/CuGa/In/Cu.

Tabela 3. Parametry warstw CuGa, In, Cu nanoszonych w czterech cyklach eksperymentalnych

Table 3. Parameters of the CuGa, In, Cu layers deposited in four experimental cycles

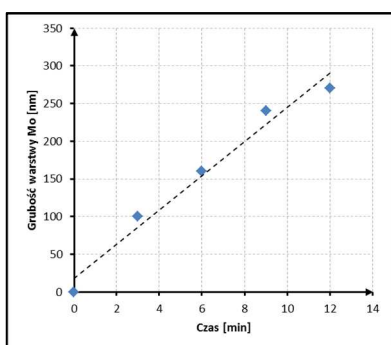
Nr próbki	Cykle	Grubość CuGa [nm]	Grubość In [nm]	Grubość Cu [nm]	CuGa/In	Cu/In
8	4	50	145	10	0.3	0.1
9	4	50	145	25	0.3	0.2
10	4	50	145	60	0.3	0.4

2.3. Analiza spektralna składu pierwiastkowego warstwy

Wszystkie podłoża zostały zbadane pod kątem analizy pierwiastkowej metodą EDS. Wykorzystano do tego celu skaningowy mikroskop elektronowy Hitachi SU 3500. Zastosowano napięcie przyspieszające 20kV. Obserwacji mikroskopowej dokonano dla odległości roboczej (working distance) wynoszącej 10mm.

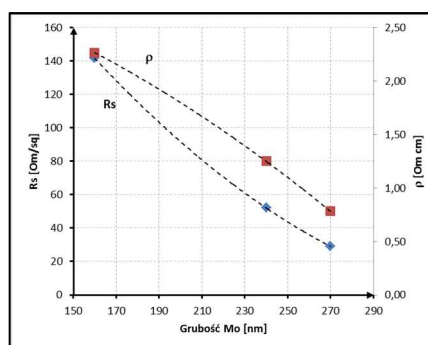
3. Wyniki badań i ich analiza

Otrzymane metodą rozpylania magnetronowego warstwy molibdenu jak i warstwy stanowiące składniki absorbera CIGS przebadane zostały odpowiednio pod kątem rezystywności jak i składu pierwiastkowego. Rysunek 3 przedstawia wykres zależności grubości warstwy Mo w funkcji czasu dla zadanych, wymienionych wcześniej parametrów technologicznych procesu. Rysunek 4 przedstawia wykresy zależności oporu w funkcji grubości warstwy.



Rys. 3. Grubość warstwy molibdenu w funkcji czasu deponycji

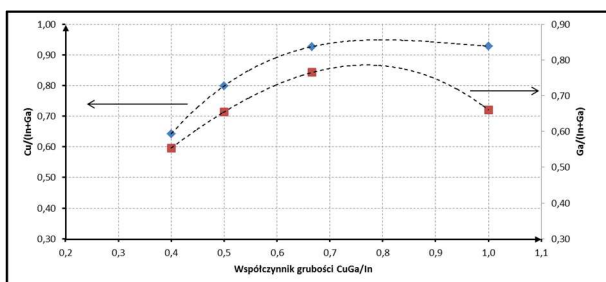
Fig. 3. Thickness of the molibdenium layer in the function of deposition time



Rys. 4. Zależności oporu warstwy molibdenu w funkcji grubości warstwy

Fig. 4. Dependence of the sheet resistant and resistivity on the Mo layer thickness

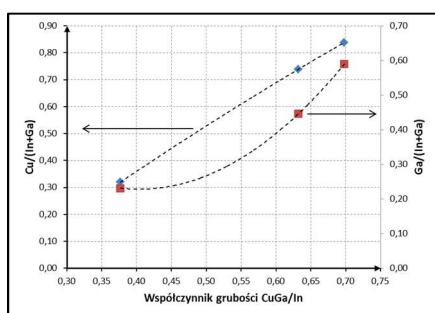
W oparciu o powyższe wykresy określono czas nanoszenia warstwy Mo, dla której docelową wartość oporu R_s ustalono na ok. $10\Omega/\text{sq}$. Grubość warstwy wyniosła ok $1\mu\text{m}$. Na tak przygotowane podłoże naniesiono warstwy CuGa oraz In zgodnie z parametrami przedstawionymi w tabelach 1 i 2. Rysunek 5 przedstawia wyniki badań EDS warstw otrzymanych w jednym cyklu (tabela 1), rysunek 6 natomiast wyniki badań EDS struktury otrzymanej w czterech cyklach (tabela 2).



Rys. 5. Zawartość miedzi i galu w strukturze warstwy w funkcji współczynnika grubości CuGa/In warstw

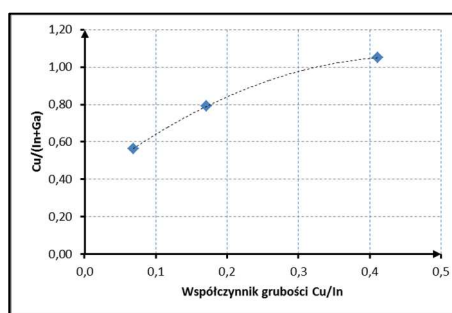
Fig. 5. Amount of copper and gallium in the layer's structure in the function of CuGa/In thickness ratio

Wyniki pomiarów z rysunku 5 jednoznacznie wskazują zawyżoną zawartość galu w strukturze warstwy. Ponadto, porównując rezultaty przedstawione na rysunkach 5 i 6 należy stwierdzić, że sposób nanoszenia warstw ma istotne znaczenie dla rejestrowanych sygnałów EDS. Stąd wybór sekwencyjnej metody osadzania. Z wykresu przedstawionego na rysunku 6 wynika, że wartość Ar_{Ga} jest mniejsza niż 0.3 dla współczynnika grubości CuGa/In nie większego niż 0.4. Jednakże przy tej wielkości współczynnika zawartość miedzi rzędu 0.3 jest niewystarczająca. Z tego powodu dodano do procesu etap nanoszenia warstwy Cu zgodnie z parametrami opisanymi w tabeli 3.



Rys. 6. Zależność koncentracji pierwiastków dla warstw otrzymanych w czterech cyklach eksperymentalnych

Fig. 6. Dependence of composition of the layers obtained in four experimental cycles



Rys. 7. Zależność koncentracji Cu w strukturze warstwy w funkcji współczynnika grubości Cu/In

Fig. 7. Dependence of Cu concentration in the layer on Cu/In thickness ratio

Rezultaty badań EDS warstw CuGa/In/Cu przedstawiono na rysunku 7. Z wykresu wynika, że parametr AR_{Cu} osiąga wymaganą wartość opisaną zależnością (1) w przypadku współczynnika grubości Cu/In mieszczącego się w przedziale od 0.2 do 0.4.

4. Wnioski

Z przedstawionych rezultatów badań wynika, że stosując metodę sekwencyjnego osadzania warstw techniką rozpylania magnetronowego z materiałów CuGa, In, Cu przy założeniu określonych grubości kolejnych warstw możliwe jest uzyskanie właściwego składu pierwiastkowego poszczególnych materiałów wchodzących w skład absorbera ogniwo zbudowanych na bazie diselenku miedziowo-indowo-galowego. Stosunek grubości warstw CuGa/In nie powinien przekraczać 0.4 dla zachowania odpowiedniej koncentracji galu w strukturze absorbera. W przypadku warstwy miedzi stosunek grubości Cu/In przy zachowaniu stałej wartości CuGa/In powinien zawierać się w przedziale między 0.2 a 0.4. Utworzona struktura po poddaniu procesowi wygrzewania w temperaturze 600°C w obecności selenu powoduje powstanie absorbera CIGS.

Literatura

- [1] Hegedus S., Luque A.: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2003.
- [2] Zdyb A., Olchowik, Mucha M.: The Dependence of GsAs and Si Surface Energy on Crystal Planes Misorientation Angle, Materials Science Poland, 24, No 4 (2006) 1109-1114.
- [3] Horowitz H. Fu R. Woodhouse M. An analysis of glass-glass CIGS manufacturing costs. Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 154, 2016, p. 1-10.
- [4] Grudniewski T., Lubańska Z., Czernik S.: Charakterystyka AFM cienkich warstw SnO₂ uzyskanych podczas sputteringu magnetronego przy wybranych warunkach procesu. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXII, z. 62 (2/15), 2015, s. 99-106, DOI:10.7862/rb.2015.40.
- [5] Gulkowski S., Krawczak E., Olchowik J.M.: Optimization of Metallic Precursor Thickness Ratio for CIGS Solar Cell Prepared by Magnetron Sputtering Process. Proceedings of the 31st EU PVSEC, Hamburg, 2015, p. 1330-1332.

PREPARATION OF THIN LAYER CIGS ABSORBER BY MAGNETRON SPUTTERING TECHNIQUE FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

Summary

This paper presents the sputtering magnetron system technology used to thin crystalline absorber deposition as a basic structure of CIGS solar cells. Magnetron sputtering is an effective method of thin CIGS layers production. Deposition process can be divided into two steps: first one is the precursor deposition which consist of deposition process of metallic layers with appropriate composition. Second step consist of crystallization process of CIGS absorber by heating precursor sample in high temperature in selenium ambient. This paper focuses on composition of the precursor structure. Following configuration of the layer structure has been investigated: CuGa/In and CuGa/In/Cu. As a substrate soda lime glass (SLG) covered by thin molybdenum layer deposited with use of sputtering magnetron system was chosen. Back contact Mo layer has been analyzed with use of four point probe in order to find dependence of the sheet resistance on thickness of the layer. With use of scanning electron microscopy with electron dispersive spectroscopy (EDS) system chemical characterization of the layers has been done. For each layer ratios of Cu/(In+Ga) and Ga/(In+Ga) have been calculated. On the basis of measurement results optimization of the technological parameters of the process like cathode power, pressure, temperature and deposition time was done. Dependence of the thickness of the layer in the function of deposition time for a given gas pressure and power has been found. In order to obtain CIGS absorber annealing process of precursor layer is demanded.

Keywords: photovoltaics, thin film solar cells, CIGS absorber, magnetron sputtering

DOI:10.7862/rb.2016.263

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Arkadiusz GUŻDA¹
Norbert SZMOLKE²

POWIETRZNE POMPY CIEPŁA DO CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ Z WBUDOWANYM ZASOBNIKIEM WODNYM

W pracy przedstawiono charakterystykę powietrznych pomp ciepła z zintegrowanym zasobnikiem wodnym do produkcji ciepłej wody użytkowej. Przedstawiono zasadę działania powietrznych pomp ciepła. Omówione zostały podstawowe elementy konstrukcyjne takie jak: sprężarki, skraplacze, parowacze oraz zawory regulacyjne. Przytoczono sprawności 28 urządzeń dostępnych na rynku europejskim, których współczynnik COP kształtował się w zakresie od 2,3 do 3,8. Średnia wartość COP wyniosła 3,1.

Słowa kluczowe: efektywność, PN-EN 16147, współczynnik COP, elementy konstrukcyjne

1. Wprowadzenie

Ostatnimi czasy można zauważyć coraz większe zainteresowanie inwestorów odnawialnymi źródłami energii (OZE). Jest to związane ze wzrostem świadomości społeczeństwa, iż należy w mniejszym zakresie wykorzystywać konwencjonalne źródła energii zwiększając jednocześnie udział źródeł odnawialnych. Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii niesie za sobą wymierne korzyści ekologiczne i ekonomiczne. Zasada ta dotyczy również produkcji ciepłej wody użytkowej (CWU).

Jednym z przykładów alternatywnych systemów przygotowujących ciepłą wodę użytkową są pompy ciepła typu powietrze-woda z wbudowanym zasobnikiem wodnym. Są to urządzenia, które pozwalają na wykorzystanie ciepła niskotemperaturowego do celów przygotowywania ciepłej wody użytkowej. Zaintere-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Arkadiusz Guźda, Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole; tel. 77 4498388; arkadiusz.guzda@gmail.com

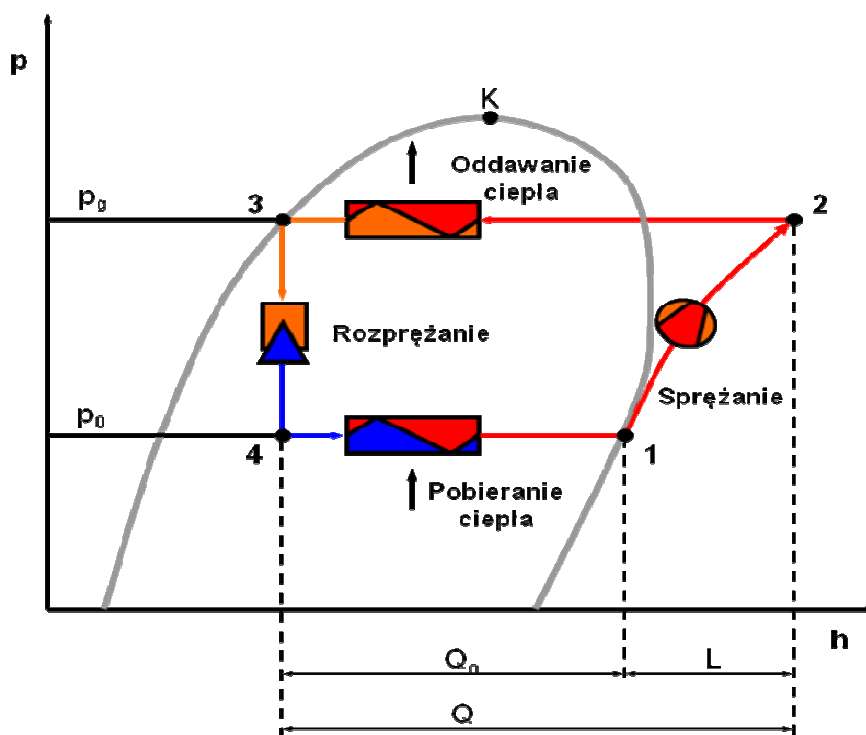
² Norbert Szmolke, Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole; tel. 77 4498391; n.szmolke@po.opole.pl

sowanie pompami ciepła wzrasta, co związane jest ze wzrostem cen paliw energetycznych, takich jak węgiel czy gaz ziemny.

Pompy ciepła są to urządzenia o zerowej emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Działanie tych urządzeń polega na wykorzystaniu ciepła o temperaturze niższej w celu wytworzenia ciepła o temperaturze wyższej, które można spożytkować na przygotowywanie ciepłej wody użytkowej.

Proces podnoszenia temperatury wymaga doprowadzenia do rozpatrywanego układu energii napędowej. Rodzaj doprowadzonej energii zależy od rozwiązania konstrukcyjnego danej pompy ciepła; może to być energia elektryczna, mechaniczna czy też chemiczna [1].

Aby bliżej zobrazować proces przemian zachodzących w pompie ciepła, na rys.1 przedstawiono wykres obiegu teoretycznego w układzie ciśnienie-entalpia właściwa p-h, charakterystyczny dla sprężarkowej pompy ciepła.



Rys. 1. Wykres obiegu teoretycznego p-h, gdzie: Q_0 - ilość ciepła pozyskana w skraplaczu, Q - ilość ciepła pobrana w parowaczu, L - praca dostarczona do sprężarki

Fig. 1. Chart of the theoretical cycle p-h, where: Q_0 - the quantity of heat produced in condenser, Q - the quantity of heat absorbed by the evaporator, L - work delivered to the compressor

Czynnik roboczy w stanie ciekłym wyływający ze skraplacza ulega rozprężeniu od ciśnienia p_k panującego w skraplaczu do ciśnienia parowania p_0

(punkt 3-4) w zaworze rozprężnym. Aby doszło do zmiany faz czynnika termodynamicznego (punkt 4-1), ciepło pobierane jest z dolnego źródła - powietrza atmosferycznego. Para, która wypływa z parownika ulega sprężeniu w sprężarce (punkt 1-2) do ciśnienia skraplania p_g ; jest to możliwe dzięki doprowadzeniu do układu dodatkowej energii z zewnątrz. Następnie czynnik oddaje ciepło w skraplaczu (punkt 2-3), i cały proces zachodzi od początku.

Efektywność pracy urządzenia wyraża się współczynnikiem COP (ang. coefficient of performance) i wyraża się wzorem

$$COP = \frac{Q}{L} = \frac{Q_o + L}{L} = 1 + \frac{Q_o}{L} \quad (1)$$

gdzie: Q – ilość ciepła pobranego w parowaczu,
 Q_o – ilość ciepła pozyskana w skraplaczu,
 L – praca dostarczona do sprężarki.

Istotną rolę w procesie sprężania pełnią czynniki termodynamiczne, zwane również czynnikami roboczymi, gdyż to za ich pomocą można przetransportować ciepło z niższego na wyższy poziom temperatury; obecnie w pompach ciepła stosuje się najczęściej: R134a, R407c oraz R410A [2].

2. Charakterystyka podstawowych elementów powietrznych pomp ciepła z wbudowanym zasobnikiem

Do podstawowych elementów powietrznych pomp ciepła z zintegrowanym zasobnikiem wodnym możemy zaliczyć: sprężarki, skraplacze, parowacze, zbiorniki ciepłej wody użytkowej, urządzenia dławiące, presostaty i termostaty, urządzenia pomocnicze oraz zabezpieczające.

2.1. Sprężarki

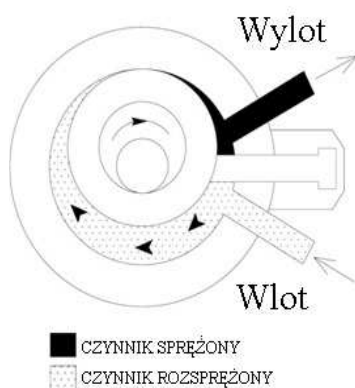
Obecnie, w budowie pomp ciepła z zintegrowanym zasobnikiem wodnym najczęściej używane są sprężarki rotacyjne. W tego typu sprężarkach czynnik roboczy sprężany jest za pomocą ruchu obrotowego tłoka w cylindrze. Dzięki wykorzystaniu wirującego tłoka wyeliminowano układ korbowy, taka konstrukcja cechuje się zwartą budową i mniejszym hałasem.

Zasada działania polega na sprężaniu gazu dzięki wirującemu tłokowi, który jest osadzony mimośrodowo wobec cylindra. Łopatką, pod wpływem naporu sprężyny, przylega do powierzchni tłoka, dzieląc na dwie części przestrzeń w cylindrze sprężarki: ssawną i tłoczną. Działanie sprężarki rotacyjnej przedstawiono na rys.2.

2.2. Skraplacze

Skraplacze w powietrznych pompach ciepła z wbudowanym zasobnikiem mają za zadanie skroplenie pary czynnika roboczego, czego następstwem jest uwolnienie energii, którą można spożytkować na podgrzanie wody w zbiorniku. W pompach ciepła powietrze-woda do produkcji ciepłej wody użytkowej najczęściej spotykane jest rozwiązanie ze skraplaczem węzownicowym, które przedstawiono na rys.3.

W tego typu rozwiązaniach współczynnik przenikania ciepła U skraplacza przyjmuje wartości na poziomie 200-250 $W/(m^2 \cdot K)$, ze względu na małą prędkość przepływu wody przez wymiennik [1].



Rys. 2. Działanie sprężarki rotacyjnej [opracowanie własne]

Fig. 2. Diagram of a rotary compressor [own elaboration]



Rys. 3. Przykład skraplacza, na podstawie [3]

Fig. 3. An example of condenser, based on [3]

2.3. Parowacze

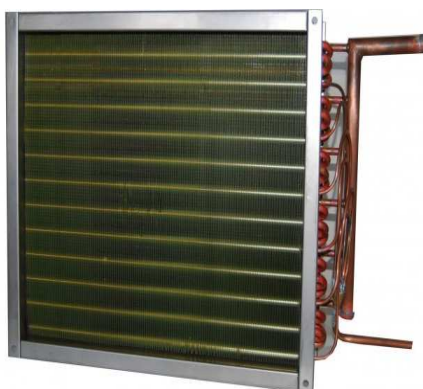
Parowacze mają za zadanie pozyskanie ciepła z powietrza atmosferycznego i przekazanie go do wrzącego czynnika roboczego. W omawianych pompach ciepła konstrukcja parowacza składa się najczęściej z zespołu poziomych rur, połączonych kolektorami, w których następuje wrzenie czynnika. Przykład parowacza pokazano na rys.4. Ze względu na to, że w parowaczu następuje osuszanie powietrza rurki powinny być połączone równolegle, a ich zasilanie powinno odbywać się w sposób równomierny. Dzięki takiemu rozwiązaniu ogranicza się powstawanie szronu na rurkach parowacza; w przypadku oszronionej powierzchni rosną opory cieplne, co powoduje zmniejszenie współczynnika przenikania ciepła [1].

2.4. Urządzenia regulacyjne

Głównym zadaniem urządzeń regulacyjnych w pompach ciepła jest obniżenie ciśnienia czynnika chłodniczego, dopływającego do parowacza, w stosunku do ciśnienia panującego w skraplaczu. Ponadto mają one za zadanie regulować przepływ strumienia cieczy roboczej dopływającej do parownika w zależności od chwilowego obciążenia pompy ciepła.

W pompach ciepła do produkcji ciepłej wody użytkowej najczęściej używa się termostatycznych zaworów rozprężnych z zewnętrznym wyrównaniem ciśnienia, którego przykład pokazano na rys.5. Termostatyczny zawór rozprężny z zewnętrznym wyrównaniem ciśnienia posiada czujnik termometryczny zamontowany na przewodzie ssawnym za parowaczem. Dzięki rurce kapilarnej, której zadaniem jest przenoszenie zmian ciśnienia, spowodowanych przez temperaturę otoczenia czujnika na przeponie, możliwe jest napędzanie grzybka zaworu.

Na dolną stronę przepony działa ciśnienie zdławionego czynnika roboczego, dopływającego do parowacza. Poprzez wzrost przegrzania pary w przewodzie ssawnym sprężarki następuje wzrost siły działającej na przeponę. Wzrost ten powoduje zwiększenie stopnia otwarcia zaworu.



Rys. 4. Przykład parowacza, na podstawie [4]

Fig. 4. An example of evaporator, based on [4]



Rys. 5. Przykład termostatycznego zaworu rozprężnego, na podstawie [5]

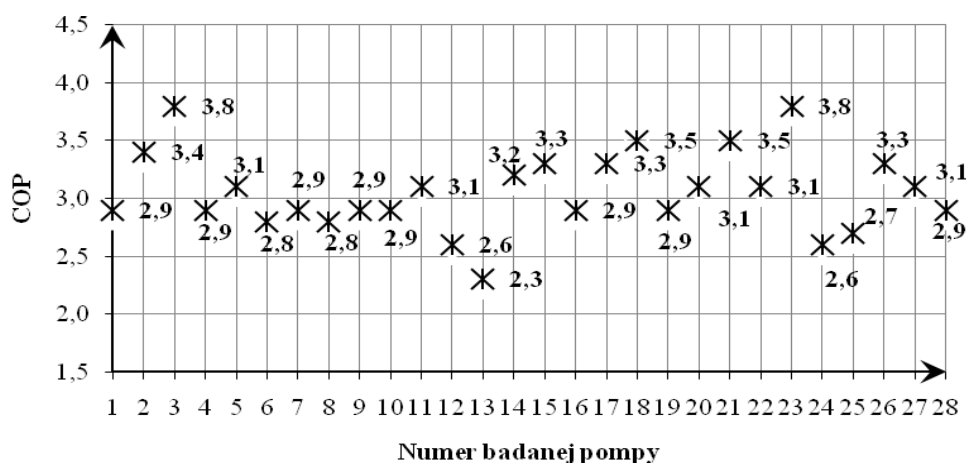
Fig. 5. An example of thermostatic expansion valve, based on [5]

3. Efektywność powietrznych pomp ciepła z wbudowanym zasobnikiem wodnym

Pompa ciepła typu powietrze-woda z wbudowanym zasobnikiem wodnym może w samodzielny sposób pokrywać potrzeby użytkowników budynku jednorodzinne na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Według obowiązującej normy PN-EN 16147 wskaźnik COP wyznacza się w trakcie cyklu pobierania (dziennego, określonego profilu poboru ciepłej wody użytkowej dla przeciętnego gospodarstwa domowego). Czas trwania takiego cyklu wynosi przynajmniej 24 godziny. Podczas jego przebiegu wykorzystuje się zdefiniowaną w normie [6] energię poboru CWU oraz wynikającą z pracy pompy ciepła energię dostarczoną [7].

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych przez NTB Interstate University of Applied Sciences of Technology Buchs, przedstawionych w [8] dotyczących efektywności powietrznych pomp ciepła z zintegrowanym zasobnikiem; na rys. 6. zestawione zostały wyniki badań COP dla 28 pomp ciepła do produkcji ciepłej wody użytkowej, będących w ofercie producentów pomp na rynku europejskim. Wszystkie pompy ciepła zostały przebadane zgodnie z PN-EN 16147:2011.



Rys. 6. Wyniki badań COP wybranych pomp ciepła, na podstawie [8]

Fig. 6. Test results of COP selected heat pumps, based on [8]

Analizując powyższy wykres, można zauważyć iż efektywność powietrznych pomp ciepła do produkcji ciepłej wody użytkowej jest różna. Waha się ona w granicach od 2,3 do 3,8. Natomiast wartość średnia oscyluje w granicy 3,1. W 25 przebadanych pompach ciepła zastosowano sprężarki rotacyjne. W pozostałych były to sprężarki spiralne, typu scroll (2 przypadki) oraz jedną sprężarkę tłokową. We wszystkich urządzeniach czynnikiem roboczym jest R134a. W tab.1 przedstawiono niektóre cechy konstrukcyjne oraz warunki pomiaru badanych pomp ciepła.

Tabela 1. Cechy konstrukcyjne pomp ciepła i warunki pomiaru, na podstawie [8]

Table 1. Test principles and constructions features, based on [8]

Numer pompy ciepła	Pojemność czynnika	Rodzaj powietrza docierającego do pompy ciepła	Temperatura dolnego źródła	Rodzaj sprężarki
1	1.10	wewnętrzne	15	scroll
2	1.25	wewnętrzne	15	rotacyjna
3	1.00	wewnętrzne	20	rotacyjna
4	1.28	wewnętrzne	15	rotacyjna
5	1.45	wewnętrzne	15	rotacyjna
6	0.83	wewnętrzne	15	rotacyjna
7	1.28	wewnętrzne	15	rotacyjna
8	1.70	zewnętrzne	7	rotacyjna
9	1.70	zewnętrzne	7	rotacyjna
10	1.72	zewnętrzne	7	rotacyjna
11	1.20	wewnętrzne	15	rotacyjna
12	1.00	zewnętrzne	7	rotacyjna
13	1.00	wewnętrzne	15	łukowa
14	0.90	wewnętrzne	15	rotacyjna
15	0.90	wewnętrzne	20	łukowa
16	0.95	wewnętrzne	15	rotacyjna
17	0.90	wewnętrzne	20	rotacyjna
18	1.10	wewnętrzne	15	rotacyjna
19	1.10	wewnętrzne	15	rotacyjna
20	0.66	wewnętrzne	15	rotacyjna
21	0.85	wewnętrzne	15	rotacyjna
22	0.73	wewnętrzne	15	rotacyjna
23	1.00	wewnętrzne	20	rotacyjna
24	0.90	zewnętrzne	7	rotacyjna
25	0.90	wewnętrzne	20	rotacyjna
26	0.90	wewnętrzne	20	rotacyjna
27	1.00	wewnętrzne	15	rotacyjna
28	1.00	zewnętrzne	7	rotacyjna

4. Wnioski

Pompy ciepła typu powietrze-woda z wbudowanym zasobnikiem wodnym, stanowią obecnie jedną z najtańszych alternatyw w produkcji ciepłej wody użytkowej. Omawiane w niniejszym artykule elementy konstrukcyjne tj. sprężarki, parowniki i zawory rozprężne są obecnie najczęściej stosowanymi w budowie powietrznych pomp ciepła do produkcji ciepłej wody użytkowej.

Dobór odpowiedniej sprężarki w pompie ciepła ściśle uwarunkowany jest wymaganą mocą cieplną urządzenia, liczby użytkowników oraz od rodzaju zastosowanego czynnika chłodniczego.

Ponadto, zaprezentowano wyniki badań współczynnika efektywności pracy pompy ciepła (COP) 28 urządzeń dostępnych na rynku europejskim. Współczynnik COP badanych urządzeń wahał się w granicy 2,3-3,8. Wszystkie badania przeprowadzono zgodnie z obowiązującą normą europejską PN-EN 16147.

W większości przypadków, w konstrukcji pomp ciepła zastosowano sprężarki rotacyjne, skraplacz w postaci rury nawiniętej na zbiornik, termostatyczny zawo-

ru rozprężnego oraz parownika z poziomo ułożonymi rurami. Dokładne nazwy i typy urządzeń stanowią prywatną tajemnicę firmy.

Efektywność pomp ciepła w omawianym badaniu, zależała również od warunków pomiaru tj. temperatury źródła ciepła. W większości przypadków efektywność podano dla temperatury rzędu 15°C.

Podczas zakupu pompy ciepła warto zadać sobie trud i zapoznać się z opiniami na temat elementów konstrukcyjnych wybieranej pompy ciepła, gdyż okazać się może, że za niewielką dopłatą możemy zakupić urządzenie, w którym zastosowano elementy o zwiększonej trwałości i niezawodności.

Literatura

- [1] Rubik M.: Pompy ciepła. Poradnik. Ośrodek Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie", Warszawa 2006.
- [2] Guźda A.: Wybrane czynniki robocze w pompach ciepła. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, 2015, Mechanika z. 105, s.73-76.
- [3] <http://www.pompycieplacwu.pl/> {dostęp 12.05.2016 r.}.
- [4] <http://www.juwent.com.pl/> {dostęp 12.05.2016 r.}.
- [5] <http://products.danfoss.pl/>{dostęp 12.05.2016 r.}.
- [6] PN-EN 16147:2011 Pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – Badanie i wymagania dotyczące oznakowania zespołów do ogrzewania pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej.
- [7] Lachman P.: Co oznacza "pompa ciepła do przygotowywania c.w.u. klasy energetycznej A"?. Instal Reporter, 2014, IR nr 01, s. 15-18.
- [8] WPZ-Bulletin, 08-2015, Information sheet of the Heat Pump Test Center WPZ in Buchs, Switzerland.

AIR-WATER HEAT PUMP WITH INTEGRATED TANK FOR DOMESTIC HOT WATER

Summary

In this paper the characteristic of air-water heat pump with integrated tank for hot water purpose was described. The principle of operation of air source heat pump was presented. Furthermore, the basic construction elements such as: compressors, condensers, evaporators and the control valves was characterized. The principle operation of mentioned above elements used in air source heat pump with integrated tank was described. The paper presents the current norm EN 16147 for calculating the coefficient of performance of heat pumps for domestic hot water production. Moreover the efficiency of 28 devices available on the European market was presented. Whereas the coefficient of performance were in range from 2.3 to 3.8. The averaged value COP of the heat pumps were 3.1.

Keywords: efficiency, PN-EN 16147, coefficient of performance, constructions elements

DOI:10.7862/rb.2016.264

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Dariusz HEIM¹
Dominika KNERA²
Anna WIEPRZKOWICZ³

WIELOASPEKTOWY SPOSÓB BADANIA EFEKTYWNOŚCI ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ ZERO- ENERGETYCZNEGO BUDYNKU BIUROWEGO

W pracy podano sposób badania i oceny efektywności energetycznej budynków na przykładzie wybranych pomieszczeń obiektu biurowego użytkowanego w polskich warunkach klimatycznych. Pomieszczenia dostosowano do standardu zero-energetycznego. Źródłem zasilania są zintegrowane z nimi urządzenia energetyki odnawialnej. Przeprowadzono pomiary dynamiki cieplnej ściany zewnętrznej oraz energii elektrycznej produkowanej przez panele fotowoltaiczne zainstalowane na zewnętrznej powierzchni ściany. Zaproponowano metodę bilansowania strumieni energii na granicy pomieszczenia, czyli przegród ograniczających kubaturę o kontrolowanych parametrach środowiska wewnętrznego. Dokonano analizy wyników biorąc pod uwagę periodyczny charakter zmian poszczególnych wielkości, długości okresów nieciągłości oraz uzyskane wartości ekstremalne. Na podstawie wyników z analizowanego okresu stwierdzono, że uzyskanie standardu obiektu autonomicznego jest niezwykle trudne, natomiast możliwe jest spełnienie kryteriów obiektu niemal zero-energetycznego.

Słowa kluczowe: budynek nZEB, efektywność energetyczna, odnawialne źródła energii, pomiary in-situ, wymiana ciepła

1. Wprowadzenie

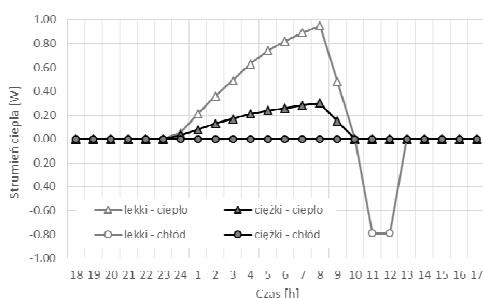
Określanie efektywności energetycznej budynków może być dokonywane metodami obliczeniowymi lub pomiarowymi. W obu przypadkach na końcowy wynik ma wpływ wiele zmiennych, w tym np. zmienne środowiskowe, których predykcja obarczona jest dużą niepewnością. Oczywiście jest, że chwilowa

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Dariusz Heim, Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, ul. Wólczajska 213, 90-924 Łódź; tel. +48 42 631-39-20; dariusz.heim@p.lodz.pl

² Dominika Knera, Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, ul. Wólczajska 213, 90-924 Łódź; tel. +48 42 631-39-20; dominika.knera@p.lodz.pl

³ Anna Wieprzkowicz, Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, ul. Wólczajska 213, 90-924 Łódź; tel. +48 42 631-39-20; anna.wieprzkowicz@p.lodz.pl

zmiana parametrów środowiska zewnętrznego nie ma charakteru powtarzalnego i dopiero dokonane przybliżenia powodują, że możliwe jest określanie pewnych trendów. Nieregularne zmiany dotyczą także środowiska wewnętrznego zależnego od nieprzewidywalnego zachowania użytkowników. Jeżeli założymy, że strumień energii, dodatnie i ujemne, w zadanym obszarze bilansowania istotnie się różni, wtedy problem efektów chwilowych ma mniejsze znaczenie, zaś bilansowanie energii w dłuższych okresach obarczone jest niewielkim błędem [1]. W przypadku zbliżonych wartości obu strumieni większego znaczenia nabiera bilansowanie energii w krótszych interwałach czasowych. W fizyce budowli jest to zjawisko charakterystyczne np. dla okresów przejściowych, gdy zmiana zapotrzebowania z ciepła na chłód może nastąpić w ciągu 1 doby w zależności od pojemności cieplnej budynku. Podobną sytuację obserwujemy w przypadku budynków o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię. Na rysunku 1 pokazano przykładowy, teoretyczny przebieg strumienia ciepła dostarczanego przez idealny (bez wewnętrznych strat) system klimatyzacji do budynku o wysokiej efektywności energetycznej.

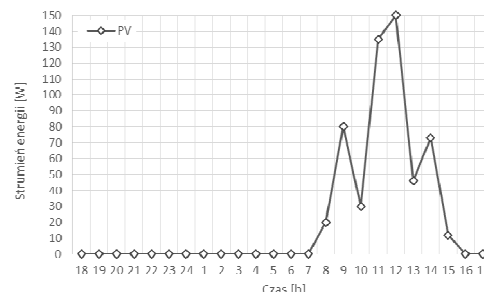


Rys. 1. Obliczeniowy, chwilowy strumień ciepła dostarczany w wybranym dniu przez system techniczny HVAC budynku energooszczędnego (przykład)

Fig. 1. Calculated heat flux for selected days provided by HVAC system in low energy building (an example)

Podobnie nierównomiernym, zależnym od chwilowego dostępu energii promieniowania słonecznego charakteryzuje się podstawowy system zasilania budynku w energię odnawialną z paneli fotowoltaicznych (rys. 2). Zmienność ta wynika nie tylko z różnych warunków zachmurzenia, długości dnia etc., lecz również z charakterystyki prądowo napięciowej samego ogniwa jak i parametrów decydujących o uzyskaniu wymaganej różnicy potencjałów.

Celem pracy było określenie możliwości zbadania efektywności energetycznej zaawansowanych systemów energetycznych budynków z uwzględnieniem dynamiki zmian i efektów chwilowych. Na opracowanym w ramach projektu GPEE [2] stanowisku badawczym przeprowadzono szereg pomiarów, których wyniki i sformułowane wnioski zamieszczono w poniższej pracy.



Rys. 2. Obliczeniowy, chwilowy strumień energii elektrycznej produkowanej w wybranym dniu przez pionowe fasady PV (przykład)

Fig. 2. Calculated electricity flux produced by PV facades for selected days (an example)

2. Bilans energetyczny budynków niemal zero-energetycznych

2.1. Definicja budynku nZEB

Prawidłowe określenie standardu budownictwa niskoenergetycznego jest niezwykle istotne dla potrzeb tworzenia nowych wymagań podstawowych jak i ram oraz zasad systemu wspierania tego typu budownictwa. W ostatnich latach pojawiło się wiele opracowań, w których autorzy podejmowali próbę ogólnego zdefiniowania budynku zero- lub niemal zero-energetycznego. Do ciekawszych prac z tego obszaru należą m.in. publikacje Kolokotsa i inni (2011) [3] oraz Kurnitski i inni (2014) [4]. Natomiast w obszarze budynków biurowych pewne rozwiązania zostały przedstawione przez Pikas E. i inni (2014) [5]. Jak wynika z ilości prac badawczych prowadzonych w ww. obszarze temat końcowej definicji pozostaje nadal otwarty.

Bez względu na rodzaj obiektu, którego ma dotyczyć definicja zależna ona będzie od przyjętych założeń oraz uwarunkowań lokalnych. Do podstawowych założeń należą:

- granice obszarów bilansowania;
- współczynniki wagowe;
- zasady bilansowania;
- uwarunkowania wewnętrzne;
- sposób oceny i weryfikacji.

Natomiast wśród uwarunkowań lokalnych wymienić należy te wynikające z warunków:

- klimatycznych;
- ekonomicznych;
- politycznych.

W celu zbilansowania poszczególnych strumieni np. ciepła i energii elektrycznej oraz porównania ich ze sobą, niezbędne jest uzyskanie wspólnego punk-

tu odniesienia czyli rodzaju energii poddawanej bilansowaniu. Poza decyzją dotyczącą formy energii wpływ na ostateczny wynik będzie miał długość przyjętego okresu analiz. W budynkach autonomicznych, czyli odłączonych od sieci elektroenergetycznej, okres powinien być jak najkrótszy, zaś w przypadku braku wewnętrznych magazynów energii wręcz dobowy. Najprostsze systemy akumulatorowe są w stanie podtrzymać działanie systemu przez okres kilku dni gorszych warunków pogodowych, jednak nigdy nie będą one działały jako magazyn sezonowy. W tej sytuacji możliwe jest dodatkowe dostosowanie zapotrzebowania w zależności od przewidywanej dostępności energii ze źródeł odnawialnych.

Czynnikiem mającym wpływ na ostateczny bilans energetyczny budynku jest oczekiwany poziom jakości środowiska wewnętrznego, w tym komfortu cieplnego. Wszystkie obiekty zero- lub prawie zero-energetyczne powinny zapewniać użytkownikom możliwie wysokie parametry komfortu na przestrzeni całego roku [6]. W rzeczywistych warunkach użytkowania nie jest jednak możliwe uzyskanie takich samych uwarunkowań wewnętrznych i zewnętrznych przez co w każdym z przypadków konieczna jest weryfikacja w warunkach rzeczywistych. Najczęściej dotyczy ona następujących aspektów: uwarunkowań klimatycznych, sposobu użytkowania, spełnienia kryteriów jakości środowiska wewnętrznego, uzyskanych efektów energetycznych. Monitoring energetyczny obiektów jest niezbędny również w celu wyeliminowania pewnych nieprawidłowości lub korekty błędnych założeń projektowych oraz posiada dodatkową wartość edukacyjną dla jego użytkowników.

2.2. Bilans energetyczny budynku nZEB

Założono, że składowymi bilansu energetycznego budynku jest zapotrzebowanie na ciepło/chłód (energia końcowa), energia elektryczna na potrzeby napędu wentylacji mechanicznej oraz do oświetlenia sztucznego, możemy założyć, że w celu uzyskania standardu zero-energetycznego konieczne jest zrównoważenie zapotrzebowania produkcją energii elektrycznej na miejscu, równanie 1.

$$Q_{HC} + Q_{EV} + Q_{EL} = Q_{RES} \quad (1)$$

gdzie: Q_{HC} – energia do ogrzewania/chłodzenia z uwzględnieniem strat i zysków ciepła;

Q_{EV} – energia elektryczna do napędu centrali wentylacyjnej;

Q_{EL} – energia elektryczna do oświetlenia z uwzględnieniem światła dziennego;

Q_{RES} – energia ze źródeł odnawialnych produkowana na miejscu.

Składowa Q_{HC} wynika z chwilowych bilansów ciepła z uwzględnieniem strat na drodze przenikania, wentylacji oraz zysków ciepła od wewnętrznych oraz od promieniowania słonecznego. Składowe Q_{EV} i Q_{EL} to energia pomocni-

cza odpowiednio do napędu centrali wentylacyjnej oraz oświetlenia wbudowanego, przy czym zakłada się, że oba systemy pracują przy zmiennym obciążeniu. Centrala wentylacyjna sterowana jest parametrem określonym przez obecność użytkowników, zaś oświetlenie elektryczne dodatkowo możliwością wykorzystania światła dziennego. W rozważaniach pominięto energię pomocniczą do napędu urządzeń wyposażenia biurowego, typu, komputery, monitory, drukarki etc. Składowe równania po lewej stronie powinny zostać zbilansowane w cyklu rocznym poprzez energię elektryczną wyprodukowaną na miejscu przez systemy zintegrowane z budynkiem. Zakłada się, że będą to fasadowe systemy fotowoltaiczne.

3. Monitoring strumieni energii

3.1. Założenia sposobu użytkowania pomieszczenia biurowego

Biorąc pod uwagę specyfikę pomieszczeń biurowych przyjęto, że jest ono użytkowane w okresie od godziny 8 do 16, w którym założono:

- spełnienie wymagań komfortu termicznego z uwzględnieniem zysków ciepła lecz bez zewnętrznych źródeł energii, ciepła i chłodu ($Q_{HC}=0$);
- zapewnienie wymaganej jakości powietrza wewnętrznego poprzez kontrolowany napływ świeżego powietrza dostarczanego przez lokalną jednostkę nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła ($Q_{EV}>0$);
- zapewnienie wymaganego oświetlenia na płaszczyźnie roboczej poprzez zastosowanie oświetlenia uzupełniającego ($Q_{EL}>0$).

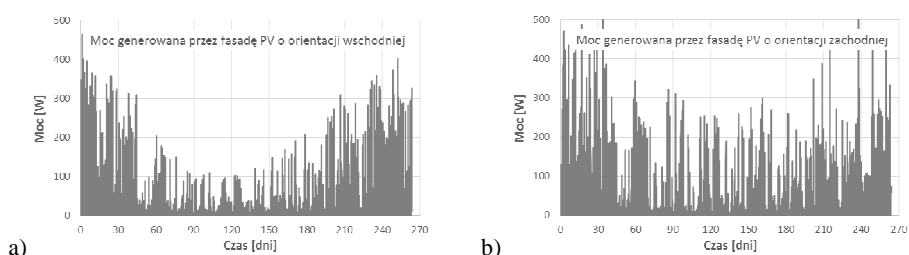
Przyjęto, że źródłem energii elektrycznej dla pomieszczenia są panele PV pokrywające w całości część pełną eksperymentalnej fasady. Na podstawie wcześniejszych analiz teoretycznych wykonanych za pomocą metod numerycznych [7] stwierdzono, że przyjęty i zrealizowany model fasady eksperymentalnej daje największą nadprodukcję energii elektrycznej po uwzględnieniu potrzeb oświetleniowych pomieszczenia. Tym samym możliwe jest efektywne zmagazynowanie nadmiaru energii i wykorzystanie na inne potrzeby pomieszczenia, w tym np. zasilanie systemu wentylacji mechanicznej.

Na podstawie przyjętego schematu pracy instalacji wentylacyjnej oraz uwzględniając uśrednioną godzinową moc źródeł światła elektrycznego otrzymano średnie, chwilowe zapotrzebowanie na moc elektryczną pomieszczenia na poziomie 20,1 W.

3.2. Monitoring energii ze źródeł odnawialnych

Produkcja energii elektrycznej monitorowana była zgodnie ze schematem przyjętym w pracy [8]. Wyniki przedstawione w dalszej części pracy dotyczą pomiarów po stronie prądu stałego i opracowane zostały na podstawie danych chwilowych próbkowanych z krokiem 5 minutowym. Na rysunku 3a przedstawiono wartości mocy w okresie od 18 sierpnia 2015 do 20 maja 2016 roku uży-

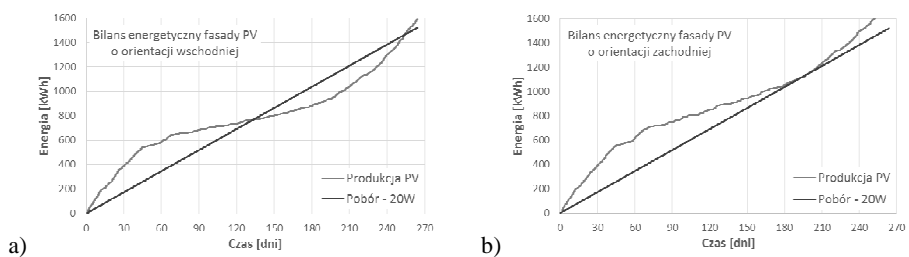
skane dla fasady wschodniej, zaś na rysunku 3b fasady zachodniej. W obu przypadkach charakter uzyskanych wyników jest podobny, aczkolwiek zdecydowanie wyższe, chwilowe wartości mocy uzyskano w przypadku orientacji zachodniej. Można stwierdzić iż, dla orientacji wschodniej okres jesienno-zimowy charakteryzuje się zdecydowanie niższymi (4-5 krotnie) wartościami mocy elektrycznej. Natomiast w przypadku orientacji zachodniej wartości są jedynie 2-krotnie niższe.



Rys. 3. Chwilowa moc elektryczna generowana przez fasadę PV o orientacji a) wschodniej oraz b) zachodniej

Fig. 3. Electrical power produced by a) east and b) west oriented PV facade

W celu oszacowania rzeczywistego potencjału energetycznego wykonano analizę energii zakumulowanej w systemie po stronie wschodniej (rys. 4a) i zachodniej (rys. 4b). Jednocześnie pokazano linię trendu zapotrzebowania na energię pomocniczą w systemach wentylacji i oświetlenia przy założeniu stałej mocy elektrycznej na poziomie 20W. Obie fasady PV bilansują zapotrzebowanie na energię w analizowanym okresie.



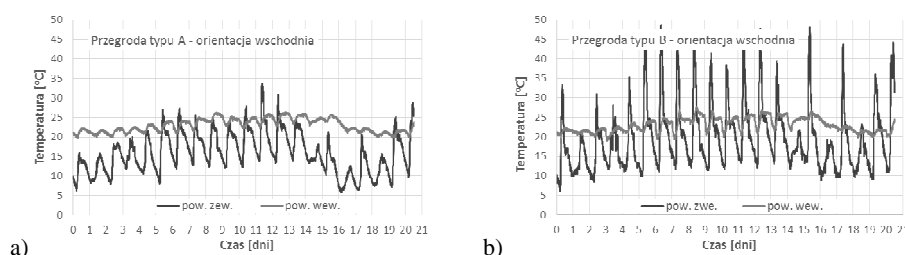
Rys. 4. Zakumulowana produkcja energii w okresie od 18 sierpnia 2015 do 20 maja 2016 r. przez fasadę a) wschodnią oraz b) zachodnią

Fig. 4. Accumulated electricity produced by a) east and b) west oriented PV facade

4. Monitoring przenikalności cieplnej

Kolejnym elementem decydującym o zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania/chłodzenia budynku są straty ciepła do podgrzania powietrza wenty-

lacyjnego oraz straty ciepła na drodze przenikania. Przy zastosowaniu systemu odzysku ciepła w połączeniu z wentylacją mechaniczną oraz założeniu koherentności wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego z zyskami ciepła dominującym stają się straty ciepła na drodze przenikania. W przedmiotowym badaniu dokonano pomiaru temperatur obu powierzchni ściany wschodniej (rys. 5) oraz określono ekstremalne wartości strumienia ciepła. Pomimo tej samej wartości współczynnika przenikania ciepła zaobserwowano istotną zmianę strumienia ciepła przenikającego przez obie ściany (tab. 1).



Rys. 5. Temperatura powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej dla dwóch rozwiązań technicznych ściany zewnętrznej a) modyfikowanej MFZ oraz b) tradycyjnej

Fig. 5. Internal and external surface temperature for two types of external wall a) modified by PCM and b) traditional

Tabela 1. Strumienie ciepła uzyskane dla dwóch typów ściany

Table 1. Heat fluxes determined for two types of wall

Parametr	Typ A	Typ B
q_{\min} [W/m^2]	- 1,91	- 5,32
q_{\max} [W/m^2]	3,56	3,10
q_{sr} [W/m^2]	1,48	0,69

5. Wnioski

Na podstawie wyników badań eksperymentalnych z uwzględnieniem przyjętych założeń stwierdzono, że:

- możliwe jest uzyskanie zerowego bilansu energetycznego (energia końcowa i pomocnicza) pomieszczenia biurowego przy założeniu magazynowania energii elektrycznej na poziomie <10% rocznej produkcji;
- możliwe jest istotne (o 50%) ograniczenie zmian strumienia ciepła przez przegrodę zewnętrzną jedynie poprzez zwiększenie pojemności cieplnej izolacji.

Niniejsza praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu pt.: „Promowanie zrównoważonego podejścia do efektywności energetycznej w budownictwie jako narzędzia ochrony klimatu w miastach Niemiec i Polski: opracowanie technologii fasady dla potrzeb budynków o zerowej emisji” (GPPE).

Literatura

- [1] Heim D., Knera D., Machniewicz A. Wybrane aspekty efektywności energetycznej ścian zewnętrznych obiektów biurowych, Wybrane zagadnienia budownictwa energooszczędnego, s.31-42, Płock, 2014.
- [2] Heim D., Zbiciński I., Barecka M., Knera D., Machniewicz A., Szczepańska-Rosiak E. New facade developed for sustainable, zero-energy office building – theoretical assumptions and numerical analysis. 40th IAHS World Congress on Housing "Sustainable Housing Construction", 2014.
- [3] Kolokotsa D., Rovas D., Kosmatopoulos E., Kalaitzakis K. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings, Solar Energy 85, pp. 3067-3084, 2011.
- [4] Kurnitski J., Buso T., Corgnati S.P., Derjanecz A., Litiu A. nZEB definitions in Europe, REHVA Journal – March 2014.
- [5] Pikas E., Thalfeldt M., Kurnitski J., Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings, Energy and Buildings, Volume 74, pp. 30-42, May – 2014.
- [6] Heim D., Budynki biurowe o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię, Budownictwo energooszczędne w Polsce - stan i perspektywy. Bydgoszcz 2015, s. 21-32.
- [7] Heim D., Knera D., Szczepańska-Rosiak E. Functionality of an active external wall - optimal glazing/BIPV ratio taking into account total indoor illuminance, Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, Dec. 7-9, 2015.
- [8] Knera D., Heim D. Application of a BIPV to cover net energy use of the adjacent office room, Management of Environmental Quality (article in press).

MULTI-ASPECT ASSUMPTION FOR ENERGY PERFORMANCE EXAMINATION OF EXTERNAL WALL IN ZERO-ENERGY OFFICE BUILDING

Summary

The method of building energy performance assessment was presented and discussed. As an example of the building part under Polish climatic conditions two experimental rooms were developed and constructed. The measurement results obtained for two facades, oriented east and west, were analysed and discussed. The following physical parameters were measured in-situ: electricity produced by PV panels and thermal dynamic of external partition. Based on the monitoring results authors proposed the method to determine the energy efficiency of such system to obtained nearly zero energy standard.

Keywords: energy performance, renewable energy sources, in-situ measurements, heat transfer, energy production

DOI:10.7862/rb.2016.265

Przesłano do redakcji: 10.07.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Wioleta ISKRA-KOZAK¹

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA POPIOŁÓW WYSOKOWAPNIOWYCH DO OTRZYMYWANIA ZAPRAW TYNKARSKICH

W artykule przeanalizowano możliwość stosowania popiołów lotnych z Elektrowni Pątnów do otrzymania zapraw tynkarskich. Ze względu na zmienny skład chemiczny tych popiołów utylizacja tego typu surowca jest trudna. W trakcie przeprowadzonych badań napotkano problem wzrostu objętości wywołany zbyt szybkim wiązaniem anhydrytu oraz krystalizacją wodorotlenku magnezu. Konsekwencją tych procesów jest niszczenie stwardniałej zaprawy. Badaniom poddano właściwości reologiczne oraz podstawowe parametry stwardniałej zaprawy. Wykonane badania wybranych właściwości zapraw, wskazują, że popiół lotny może być wykorzystany do otrzymania zapraw tynkarskich i murarskich.

Słowa kluczowe: popiół lotny, pucolana, peryklaz, tlenek wapnia

1. Wstęp

Popiół lotny towarzyszy spoiwom mineralnym od tysięcy lat i w znaczny sposób może modyfikować właściwości użytkowe spoiw. Jest wartościowym dodatkiem mineralnym stosowanym w wielu gałęziach przemysłu. Świadome wprowadzenie popiołu do spoiw mineralnych święciło triumfy już w starożytnym Rzymie, aby nadać zaprawom wapiennym cechy materiałów wiążących, jako dodatek wprowadzano popioły wulkaniczne. Rozwój energetyki spowodował pojawienie się dużej ilości popiołów o właściwościach pucolanowych, a często także hydraulicznych. Znalazły one zastosowanie jako składnik cementu oraz dodatek do betonu [4,8].

W Polsce popioły lotne wapieniowe powstają głównie ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni Bełchatów oraz na terenie okręgu konińskiego (Pątnów, Adamów, Konin). Tego typu popioły mają bardziej złożony skład mineralny aniżeli popioły lotne krzemionkowe. Odnosi się to zarówno do składników krystalicznych, jak i fazy szklistej [2].

¹ Wioleta Iskra-Kozak, Politechnika Rzeszowska, Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa, al. Powstańców Warszawy 12 35-959 Rzeszów, tel. 178651701, w_iskra@prz.edu.pl

Poszczególne frakcje ziarnowe tych popiołów mają zróżnicowany skład chemiczny i mineralny. CaO najczęściej występuje w trzech składnikach: w anhydrycie, w postaci wolnej i w fazie szklistej. Najczęściej najdrobniejsza frakcja ziarnowa jest najbogatsza w związki wapnia, zatem powinna wykazywać najlepsze właściwości hydrauliczne [5].

Czas wiązania tych popiołów mieści się w granicach od kilku minut do nawet kilkunastu godzin, a stwardniały zaczyn popiołowy może osiągać wytrzymałości na ściskanie nawet do 30 MPa.

Ze względu na zbyt dużą zawartość wolnego CaO czy MgO oraz stosunkowo małą aktywność pucolanową, popioły te nie cieszą się dużym powodzeniem wśród producentów materiałów budowlanych [1,3].

W przypadku zbyt wysokiej zawartości wolnego CaO zaprawa popiołowa w początkowym okresie wykazuje znaczną wytrzymałość, po czym następuje spadek wytrzymałości, który wynika z opóźnionej hydratacji CaO. Wapno wypalone w wysokiej temperaturze powoli hydratyzuje, którego efektem jest zmiana objętości która może prowadzić do zniszczenia zaczynu popiołowego [9].

Kolejnym problemem jest wzrost objętości spowodowany krystalizacją wodorotlenku magnezu. Proces ten wywołuje naprężenia rozciągające w stwardniałym zaczynie, co prowadzi do powstania mikropęknięć. Takie zaprawy wykazują dużą nasiąkliwość, niską mrozoodporność, a co za tym idzie wysoki spadek wytrzymałości [9].

2. Materiały i metody badań

Wykorzystane w badaniach popioły lotne charakteryzowały się zróżnicowanym składem chemicznym. W tabelach poniżej przedstawiono skład popiołu lotnego niefrakcjonowanego (Tab. 1) oraz popiołu lotnego rozdzielonego na frakcje przez separację pneumatyczną (Tab. 2).

Tabela 1. Skład chemiczny popiołu lotnego z Elektrowni Pątnów po separacji

Table 1. Chemical composition of the fly ash from the power Station Pątnów after the separation

KOD	K-001/F1	K-001/F2	K-001/F3	K-001/F4	K-001/F5	K-001/F6
Frakcja	0 - 15 μm	15 - 30 μm	30 - 45 μm	45 - 63 μm	63 - 100 μm	100 - 1000 μm
Zawartość	%					
Strata prażenia	1,266	0,378	0,224	0,207	0,617	0,041
SiO ₂	13,833	21,665	30,944	44,675	64,556	88,87
Al ₂ O ₃	7,002	7,837	8,375	8,988	7,986	1,827
Fe ₂ O ₃	3,467	5,518	8,729	10,059	9,116	5,971
CaO	48,295	46,038	37,524	25,441	11,552	2,077
MgO	6,661	6,407	5,309	3,777	1,954	0,353
SO ₃	16,812	9,583	6,182	4,157	2,003	0,339
K ₂ O	0,347	0,326	0,569	0,832	0,927	0,215
Na ₂ O	0,189	0,126	0,127	0,138	0,128	0,035
CaO reaktywne	35,82	38,86	32,93	22,48	10,14	1,84
CaO wolne	13,56	16,77	13,46	7,34	3,39	1,73

Tabela 2. Skład chemiczny popiołu lotnego z Elektrowni Pątnów przed separacją

Table 2. Chemical composition of the fly ash from the power Station Pątnów before the separation

KOD	K-001
Fracja	
Zawartość	%
Strata prażenia	0,784
SiO ₂	50,754
Al ₂ O ₃	6,091
Fe ₂ O ₃	5,968
CaO	24,757
MgO	3,571
SO ₃	6,185
K ₂ O	0,460
Na ₂ O	0,107
CaO reaktywne	20,12
CaO wolne	7,15

Mieszanki zostały przygotowane zgodnie z PN-EN 1015-2:1998. Przed przygotowaniem receptur przeprowadzono badania wstępne na recepturach próbnych.

Pierwszym problemem jaki się pojawił podczas badań był wzrost objętości próbek, wywołany zbyt szybkim wiązaniem gipsu, przez co wapno nie mogło w plastycznej matrycy w pełni hydratyzować [7]. Aby temu zjawisku zapobiec, dodano klinkier portlandzki (jako regulator czasu wiązania) w ilości odpowiednio 5% i 10%. Dodatkowo zastosowano kwas cytrynowy w celu opóźnienia czasu wiązania gipsu. Zawartość opóźniacza wyniósł około 0,5% masy gipsu. Jako kruszywo drobne zastosowano piasek o wielkości ziarn do 1 mm, odmiany 2 [14].

Po wykonaniu badań wstępnych sporządzono 4 receptury o składach przedstawionych w tabeli 3.

Tabela 3. Receptury badanych zapraw

Table 3. Prescriptions for examined mortars

Oznaczenie	Skład zaprawy [%]					Zawartość w stosunku do spoiwa [%]	W/S
	Popiół K001	Popiół (F1+F2)	Popiół (F3+F4+F5)	Klinkier portlandzki	Piasek do 1mm	Kwas cytrynowy	
IW-1	52	-	-	10	38	0,5	0,32
IW-2	39	-	-	5	56	0,5	0,35
IW-3	-	34	18	10	38	0,5	0,38
IW-4	-	26	13	5	56	0,5	0,40
IW-5*	52	-	-	10	38	0,5	0,37

*Popiół lotny poddano dodatkowemu zmieleniu w celu usunięcia dużych ziaren peryklazu

W trakcie pierwszych 7 dni dojrzewania próbek, zauważono, że próbki ponownie zwiększają swoją objętość. Problem ten głównie dotyczył zapraw, które w swoim składzie zawierały popioły lotne o grubszej frakcji (popiół K001 oraz popiół o frakcji F6). Analizując skład stwierdzono, że problem wynika z obecności dużych ziaren peryklazu, znajdujących się we frakcji F6 oraz w popiele lotnym K001. W celu wyeliminowania tego problemu odrzucono frakcję F6, a popiół K001 (zaprawa IW-1) poddano zmieleniu. Po zmieleniu popiół lotny poddano oznaczeniu miękkości przez przesiewanie na mokro na sicie 0,045 mm, zgodnie z PN-EN 451-2:1998, a następnie sporządzono zaprawę o składzie IW-5 [13].

W celu określenia właściwości reologicznych zapraw wykonano następujące badania:

- a) konsystencji metodą stożka pomiarowego według PN-B-04500:1985 oraz stolika rozptywu według PN-EN 1015-3:2000 [10, 12];
- b) czasu zachowania właściwości roboczych według PN-EN 1015-9:1999 [13].

Przeprowadzono również badania stwardniałych zapraw:

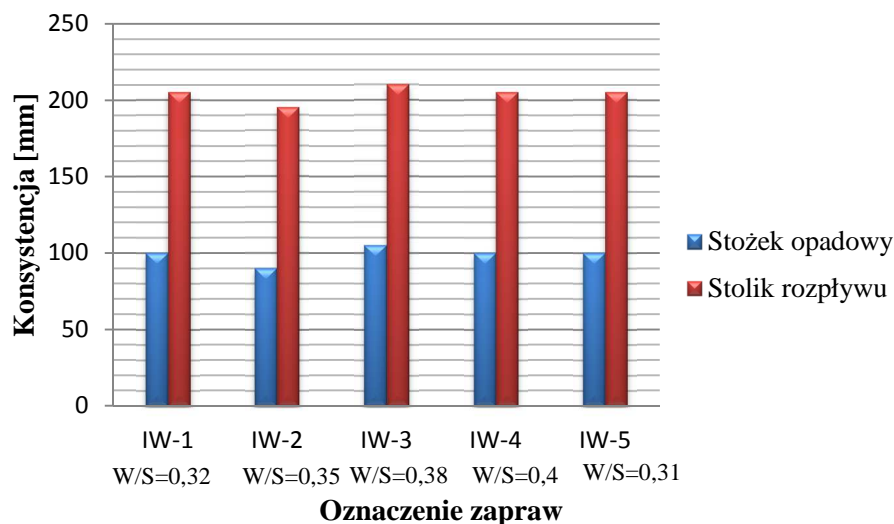
- a) wytrzymałości na zginanie i ściskanie po 7 i 28 dniach dojrzewania stosując próbkę o wymiarach 40x40x160 mm według PN-EN 1015-11:2001 [14];
- b) zmian liniowych po 7 i 28 dniach dojrzewania za pomocą aparatu Graf-Kaufmana na beleczkach z czopami o wymiarach 40x40x160 mm według PN-B-04500:1985 [10];
- c) nasiąkliwości po 28 dniach dojrzewania na próbkach o wymiarach 40x40x160 mm według PN-B-04500:1985 [10];
- d) przyczepności do podłoża po 28 dniach dojrzewania na krążkach o średnicy 50 mm według PN-EN 1015-12:2002 [15].

Dodatkowo przeprowadzono obserwacje mikroskopowe SEM wraz z analizą EDS stosowanych popiołów lotnych.

3. Omówienie wyników badań

3.1. Konsystencja

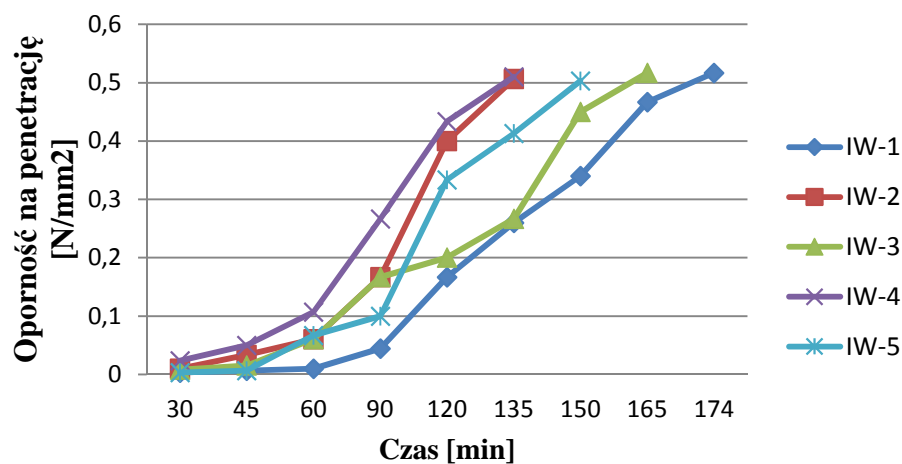
Z analizy wyników konsystencji badanej metodą stożka pomiarowego i stolika rozptywu można zauważyć, że wyniki wszystkich badanych zapraw są porównywalne (Rys. 1). Dążono do uzyskania głębokości zanurzenia stożka w granicach 10-11 cm, ponieważ przewiduje się, że zaprawa będzie podawana mechanicznie [6]. Podczas badania metodą stolika rozptywu dążono do uzyskania rozptywu w granicach 20-21 cm. Stosunek w/s poszczególnych zapraw jest porównywalny. Z uzyskanych wyników wynika, że najwyższe wartości w obu badaniach wykazały zaprawy IW-3, IW-4 i IW-5, zawierające frakcję drobną. Wodożądność wzrasta wraz z wzrostem zawartości frakcji F1 i F2.



Rys. 1. Konsystencja zapraw badana metodą stożka pomiarowego i stolika rozplywu

Fig. 1. Consistency of mortars examined with the method of the measuring cone and the method of the table of the syneresis

3.2. Czas zachowania właściwości roboczych



Rys. 2. Czas zachowania właściwości roboczych poszczególnych zapraw

Fig. 2. Time of keeping the property of working individual mortars

Z analizy czasu zachowania właściwości roboczych badanych zapraw (Rys. 2) wynika, że najdłużej właściwości robocze wykazują zaprawy IW-1, IW-3 i IW-5. Czas ten wydłuża się do prawie 170 min, czyli o 20% w porówna-

niu z zaprawami IW-2 i IW-4. Warto zwrócić uwagę, że ilość dodawanego kwasu cytrynowego pozostała stała. Wydłużenie czasu wynika z zawartości klinkieru portlandzkiego w poszczególnych zaprawach. Im wyższa jego zawartość w zaprawie (w tym przypadku 10%) tym czas zachowania właściwości roboczych większy. Wynika to prawdopodobnie z zawartości gipsu w popiołach będącego źródłem jonów siarczanowych. Na powierzchni ziaren glinianu trójwapieniowego tworzy się cienka warstewka, nieprzepuszczalnego dla wody ettringitu – uwodnionego siarczanoglinianu wapnia, który hamuje postęp hydratacji C_3A zapobiegając błyskawicznemu wiązaniu [7]. Dodatkowo czas zostaje wydłużony poprzez 0,5% dodatek kwasu cytrynowego.

3.3. Wytrzymałość na zginanie i ściskanie

Tabela 4. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie po 7 i 28 dniach dojrzewania zapraw

Table 4. Findings of the bending strength and compressive strengths after 7 and 28 days of ripening of mortars

Wytrzymałość na zginanie i ściskanie $\pm\delta$ [MPa]										
Okres (dni)	IW-1		IW-2		IW-3		IW-4		IW-5	
	R _f	R _c	R _f	R _c	R _f	R _c	R _f	R _c	R _f	R _c
7	0,74 $\pm 0,02$	1,38 $\pm 0,01$	0,65 $\pm 0,09$	1,13 $\pm 0,08$	0,59 $\pm 0,02$	1,41 $\pm 0,07$	1,01 $\pm 0,05$	2,78 $\pm 0,11$	2,00 $\pm 0,43$	9,38 $\pm 0,51$
28	5,11 $\pm 0,44$	19,57 $\pm 0,41$	1,32 $\pm 0,17$	6,69 $\pm 0,26$	2,61 $\pm 0,08$	9,88 $\pm 0,11$	2,30 $\pm 0,19$	10,40 $\pm 0,06$	5,18 $\pm 0,15$	15,33 $\pm 0,12$

R_f – wytrzymałość na zginanie

R_c – wytrzymałość na ściskanie

Analizując wyniki badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie można dostrzec, że najwyższe wytrzymałości otrzymano dla zapraw IW-1 i IW-5 (Tab. 4). Wyniki uzyskane dla tych zapraw są porównywalne. Najniższą wytrzymałość na zginanie i ściskanie otrzymano dla zaprawy IW-2.

Zgodnie z PN-EN 1015-11:2001 zaklasyfikowano badane zaprawy w zależności od wytrzymałości na ściskanie według poszczególnych klas (Tab. 5, Tab. 6).

Tabela 5. Klasyfikacja badanych zapraw zgodnie z PN-EN 1015-11:2001

Table 5. Classification of examined mortars according to PN-EN 1015-11:2001

Oznaczenie	Klasa
IW-1	CS IV
IW-2	CS III
IW-3	CS IV
IW-4	CS IV
IW-5	CS IV

Tabela 6. Klasyfikacja badanych zapraw zgodnie z PN-EN 1015-11:2001

Table 6. Classification of examined mortars according to PN-EN 1015-11:2001

Oznaczenie	Klasa
IW-1	M 15
IW-2	M 5
IW-3	M 5
IW-4	M 10
IW-5	M 15

3.4. Nasiąkliwość

Na podstawie wyników badań nasiąkliwości (Tab. 7) stwierdzono, że zaprawa IW-2 charakteryzuje się najwyższą nasiąkliwością. W porównaniu z pozostałymi wariantami zapraw (IW-1, IW-3, IW-4, IW-5) jest większa o około 40% i będzie prawdopodobnie wykazywała najniższą mrozoodporność. Najniższą nasiąkliwość wykazują zaprawy IW-3 oraz IW-4, odpowiednio 12% i 12,8%.

Tabela 7. Nasiąkliwość zapraw w stosunku do masy w %

Table 7. Absorbability of examined mortars towards mass in %

Nasiąkliwość zapraw w stosunku do masy, [%]				
IW-1	IW-2	IW-3	IW-4	IW-5
17,5 ± 0,03	23,2 ± 0,12	12,0 ± 0,04	12,8 ± 0,16	15,5 ± 0,01

3.5. Zmiany liniowe w okresie twardnienia

Interpretując wyniki za pomocą zmian liniowych wszystkich zapraw można stwierdzić, że wszystkie badane próbki zwiększyły swoją objętość (Tab. 8). Największe zmiany liniowe wykazały zaprawy IW-1 oraz IW-2, prawdopodobnie wskutek wzrostu objętości dużych ziaren peryklazu zawartych w popiele lotnym K001. W związku z tym, popiół lotny K001 (wariant IW-1) poddano zmiełnieniu, co spowodowało znaczny spadek objętości (wariant IW-5, spadek o 90%).

Najmniejsze zmiany liniowe wykazały zaprawy IW-3 i IW-4. Mimo, iż popiół lotny o drobnej frakcji (F1-F5) podczas analizy wykazywał niewielkie ilości peryklazu to nie okazał się on szkodliwy (prawdopodobnie ze względu na niewielki rozmiar jego ziaren).

Tabela 8. Zmiany liniowe w okresie 7 i 28 dni dojrzewania

Table 8. Linear changes in period 7 and 28 days of ripening

Skurcz w okresie twardnienia [%]					
Okres (dni)	IW-1	IW-2	IW-3	IW-4	IW-5
7	-1,64 ± 0,02	-1,02 ± 0,35	-0,46 ± 0,21	-0,07 ± 0,02	-0,21 ± 0,02
28	-2,24 ± 0,11	-4,67 ± 0,28	-0,97 ± 0,14	-0,14 ± 0,04	-0,23 ± 0,06

3.6. Przyczepność do podłoża

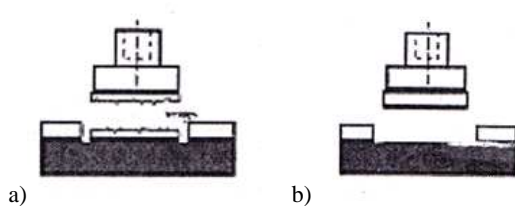
Największą przyczepność do podłoża (Tab. 9) wykazały zaprawy IW-4 i IW-5. Wyniki badań przyczepności tych dwóch zapraw są porównywalne i wynoszą około 2,25 MPa. Zaprawy IW-1 i IW-3 wykazały o około 50% niższą przyczepność, natomiast zaprawa IW-2 o prawie 80% w stosunku do zapraw IW-4 i IW-5.

Tabela 9. Przyczepność do podłoża badanych zapraw tynkarskich

Table 9. Adhesion of masonry mortars to base examined

Przyczepność do podłoża [N/mm ²]				
IW-1	IW-2	IW-3	IW-4	IW-5
1,37 ± 0,08	0,5 ± 0,02	1,05 ± 0,03	2,28 ± 0,07	2,23 ± 0,02

Modele pęknięcia do których doszło podczas badania przedstawiono na rysunkach poniżej (Rys.3). W zaprawach IW-4 i IW-5 nastąpiło pęknięcie kohezyjne w samej zaprawie. W przypadku pozostałych zaprawa IW-1, IW-2 i IW-3 nastąpiło pęknięcie adhezyjne na styku zaprawy z podłożem [6].

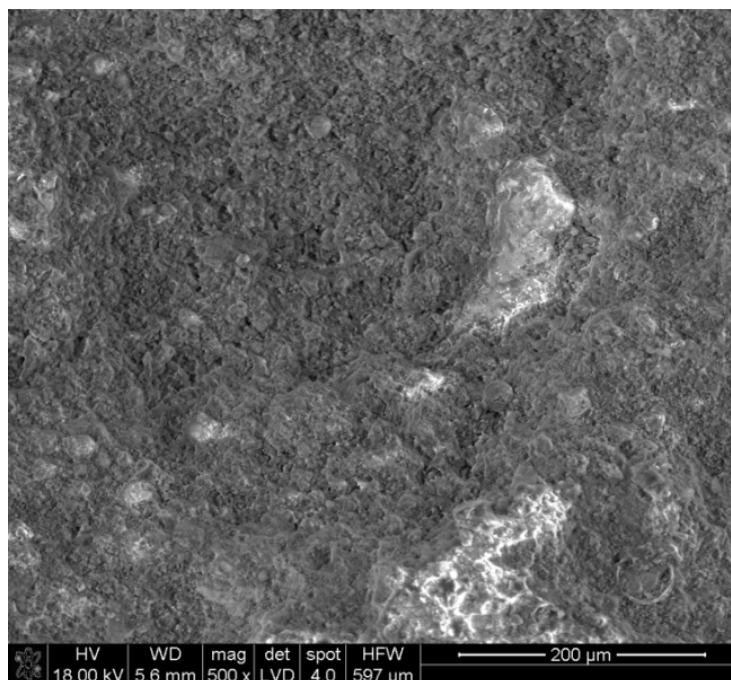


Rys. 3. a) Pęknięcie kohezyjne w samej zaprawie; b) Pęknięcie adhezyjne na styku zaprawy z podłożem

Fig. 3. a) Cohesion crack in mortar; b) Adhesion crack on the joint of mortar with base

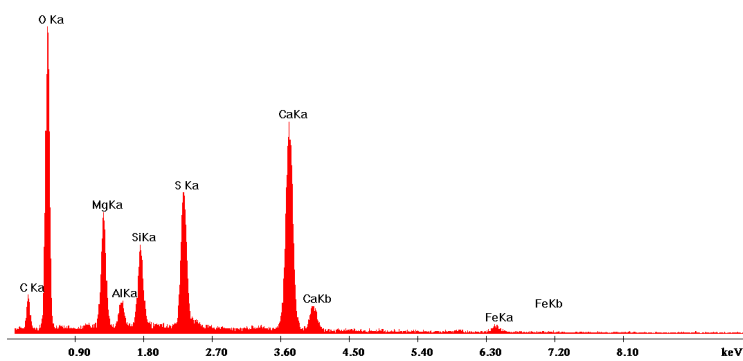
3.7. Analiza SEM

W analizie SEM oraz jakościowej i ilościowej analizie rozkładu pierwiastków w badanych próbkach stwierdzono, że główną fazą jest siarczan wapnia – CaSO₄. W popiele lotnym występują śladowe ilości glinu, żelaza oraz węgla. Szczególną uwagę zwraca pojawiający się tlenek magnezu, który spowodował wzrost objętości próbek zaprawy (Rys. 4). Dokonana analiza wykazała obecność żelaza. Zbyt wysoka jego zawartość w stwardniałej mieszance betonowej może doprowadzić do wystąpienia plam na jej powierzchni [7]. Stwierdzono śladowe ilości chloru, glinu oraz sodu (Rys. 5).



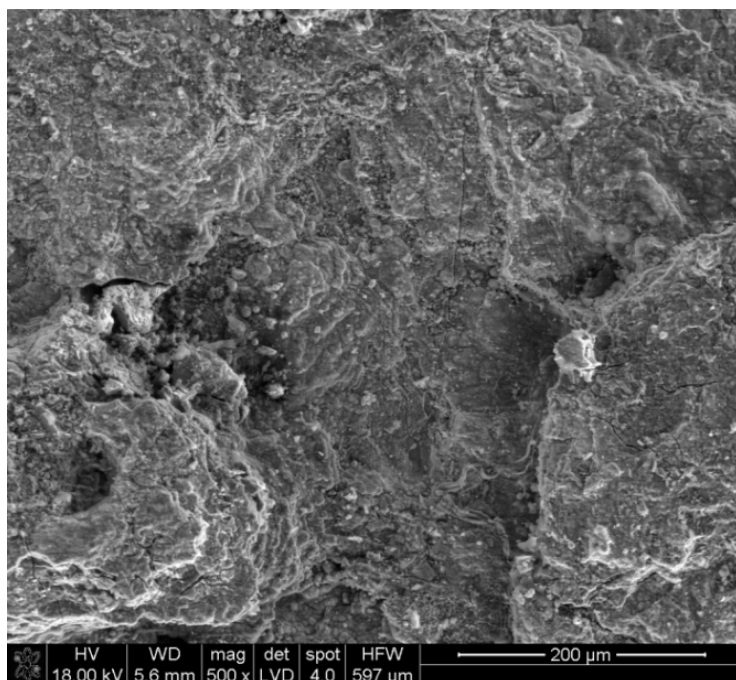
C:\SharedData\Per\111 001as.spc

Label A: K1 001as



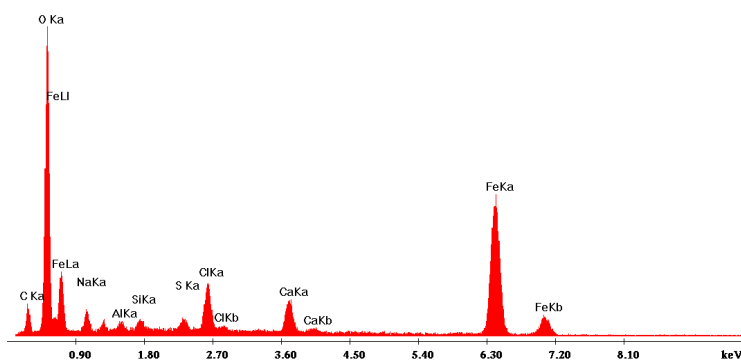
Rys. 4. Obraz SEM z analizą powierzchniową EDS popiołu lotnego siarczanowo-wapniowego z Elektrowni Pątnów

Fig. 4. Sem image with surface EDS analysis of the fly ash high-calcium from the power Station Pątnów



c:\edax32\genesis\genspc.spc

Label A: K2 001as



Rys. 5. Obraz SEM z analizą powierzchniową EDS popiołu lotnego siarczanowo-wapniowego z Elektrowni Pątnów

Fig. 5. Sem image with surface EDS analysis of the fly ash high-calcium from the power Station Pątnów

4. Wnioski

W pracy przedstawiono wyniki badań, mających na celu utylizację popiołu lotnego siarczanowo-wapniowego pochodzącego z Elektrowni Pątnów, wskutek zastosowania go do wykonania zapraw tynkarskich.

Z przeprowadzonych badań wypływają następujące wnioski:

1. Podjęta próba utylizacji popiołów lotnych siarczanowo-wapniowych z Elektrowni Pątnów poprzez zastosowanie ich do wykonania zapraw tynkarskich zakończyła się powodzeniem.
2. Przeprowadzone badania wykazały, że popiół lotny nadał zaprawom tynkarskim pożądane właściwości.
3. W celu zlikwidowania zakłóceń technologicznych polegających na pęcznieniu zapraw dodano klinkier portlandzki w celu opóźnienia czasu wiązania anhydrytu, tak aby tlenek wapnia mógł w pełni hydratyzować.
4. Występujące duże ziarna peryklazu stanowią problem, który można zlikwidować stosując wydzielone frakcje popiołu lotnego lub poddając popiół lotny zmieleniu.
5. Badane popioły mogą stanowić potencjalny składnik do otrzymywania zapraw murarskich.

Literatura

- [1] Baran T., Garbacik A.: Popioły wysokowapniowe szansą uzupełnienia bazy popiołów dla przemysłu cementowego, Instytut Ceramiki, Szkła, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych, Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych, Kraków, 2010.
- [2] Chudek M., Hycnar J., Plewa F.: Węgiel brunatny - utylizacja surowców towarzyszących i odpadów elektrownianych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
- [3] Giergiczny Z.: High calcium fly ash, Cement -Wapno - Beton, nr 5, 2005, 271-282.
- [4] Giergiczny Z., Gawlicki M.: Popiół lotny jako aktywny składnik cementów i dodatek mineralny do betonu, Materiały z Konferencji Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność, s. 277-293, Wisła 2004.
- [5] Giergiczny Z., Weryńska A.: Wpływ rozdrobnienia popiołu lotnego z węgla brunatnego na własności wytrzymałościowe spoiw cementowo-popiołowych, XXXIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Gliwice–Krynica 1987, t. 4.
- [6] Małolepszy J. (red.): Materiały budowlane. Podstawy technologii i metody badań, AGH, Kraków 2008 r.
- [7] Neville A. M.: Właściwości betonu, Kraków 2000.
- [8] Neya R.: Mineralne surowce odpadowe, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 2009.
- [9] Pytel Z.: Technologia i właściwości autoklawizowanego materiału budowlanego z siarczanowo-wapniowych popiołów lotnych, Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Kraków, 1994.

- [10] PN-B-04500:1985: Zaprawy budowlane. Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych.
- [11] PN-EN 451-2:1998: Metoda badania popiołu lotnego. Oznaczanie miążkości przez przesiewanie na mokro.
- [12] PN-EN 1015-3:2000: Metody badań zapraw do murów. Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozplywu).
- [13] PN-EN 1015-9:1999: Metody badań zapraw do murów Część 9: Określenie czasu zachowania właściwości roboczych i czasu korekty świeżej zaprawy.
- [14] PN-EN 1015-11:2001: Metody badań zapraw do murów Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy.
- [15] PN-EN 1015-12:2002: Metody badań zapraw do murów Część 12: Określenie przyczepności do podłoża stwardniałych zapraw na obrzutkę i do tynkowania.
- [16] PN-79/B-06711: Piaski do zapraw budowlanych.

THE POSSIBILITIES OF USING HIGH-CALCIUM ASHES FOR OBTAINING MASONRY MORTARS

Summary

In the article a possibility of applying fly ashes from Pątnów Power Station was analysed for obtaining masonry mortars. On account of the changeable chemical composition of these ashes the recycling of the raw material of this type is difficult. In the course of the conducted examination a problem of the volume increase triggered by too fast anhydrite setting and the crystallization of the magnesium hydroxide was encountered. A decay of hardened mortar is a consequence of these processes. Rheological properties and basic parameters of hardened mortar were tested. The performed research on the chosen properties of mortars shows that the fly ash can be used for obtaining masonry mortars and bricklaying.

Keywords: fly ash, puzzolan, periclase, calcium oxide

DOI:10.7862/rb.2016.266

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Vasyl IVANIV¹
Volodymyr CHERNIUK²

INFLUENCE OF JET-TO-MAIN STREAM TURNING ANGLE IN FLUID FLOW FROM CYLINDRICAL NOZZLE OF COLLECTOR- PIPELINE ON FLOW COEFFICIENT

For intake cylindrical nozzles with orthogonal lateral jet outlets, dependences of the flow coefficient μ on (1) Reynolds number Re_d , (2) jet-to-main stream turning angle β , which is measured relative to the direction of the main stream in a collector-pipeline, as well as (3) the ratio d/D of the diameter of the outlet hole of the nozzle to that of the collector-pipeline are obtained. The ratio d/D influences the value of the coefficient of flow more considerably than the jet-to-main stream turning angle does. The magnitude of flow coefficient varies most abruptly in the range of the magnitude of the ratio d/D from 0.35 to 0.40. For adjustment of non-uniformity of the fluid inflow into the pressure pipelines along their lengths, the nozzles of $0.35 \leq d/D \leq 0.40$ are the most suitable ones.

Keywords: intake cylindrical nozzle, lateral jet outlet, angle of jet inflow

1. Introduction

In many production processes, pipeline systems of variable flow rate pressure fluid flow are used. Streams with discrete inflow of fluid along the path take place in ventilation (exhaust ventilation systems); water drains (water drainage networks; sewerage purification plants), land reclamation (drainage systems), spillways; water supply (horizontal water intakes, beam water intakes, water supply treatment systems). The fluid inflow along the part in collector-pipeline (CP) through its apertures in walls is non-uniform. It increases with the approach to the mouth of a collector-pipeline. Exact hydraulic calculation of such pipe-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Vasyl Ivaniv, Department Hydraulics and Sanitary Engineering, Lviv Polytechnic National University, Ukraine, Lviv, S. Bendery Street 12, e-mail: ivaniv91@ukr.net

² Volodymyr Cherniuk, Department Hydraulics and Sanitary Engineering, Lviv Polytechnic National University, Ukraine, Lviv, S. Bendery Street 12, e-mail: v.cherniuk@ukr.net

lines can be done only by means of the theory of variable flow rate hydraulics [1]. Theoretical methods of calculation of collector-pipelines laid in fluid stream are being developed. In these methods, all the geometric parameters of a collector-pipeline and hydrodynamics characteristics of inner and outer fluid streams, as well as the jet-to-main stream angle relative to the direction of the main stream of the collector-pipeline are taken into account [2, 3]. The theoretical calculation dependences [2, 3] indicate that the non-uniformity of fluid inflow into the collector-pipeline can be reduced by means of adjustment of the angle β between the jet from outlet nozzle and the main stream of the pipe along the CP. To verify this idea, we have suggested application of intake cylindrical nozzle with lateral jet, the nozzle can rotate in the wall of CP about the longitudinal axis. Thus, the need to have the value of the flow coefficient μ of the intake cylindrical nozzle with orthogonal lateral outlet, the value being dependent on the angle β , has arisen. In literature there is no functional dependence for determining its flow coefficient.

In the works [4,5], results of experimental investigations of a stream which flows out of a cylindrical pipe at an angle to its longitudinal axis are presented. However, the authors of the article [4] considered curling of the stream by two tangential swirlers, which were located along the pipe. Besides, they introduced some air into the fluid stream at a butt end of the pipe. In the work [5], a fluid stream which flew from the pipe at the angle to its axis, the angle was varied from 60° to 120° , was investigated in cavitation and non-cavitation regimes. In the work [6], numerous investigations of the influence of spillage angle of laminar free submerged jet of heated liquid fuel oil onto reservoir wall is reported. The curling of stream and injection of air into it in the work [4] as well as creation of cavitation regime in the work [5] have caused a change in hydraulic resistance, and as a consequence, have led to a change in the value of the flow coefficient μ of the hole. In the work [6], the lateral jet flow is not considered.

We consider a nozzle in which the jet turns only by 90° when flowing out of the nozzle and is not burdened by additional hydraulic resistances. Besides, the flow coefficient of this nozzle must take into account the counteraction of the main stream which flows in the collector-pipeline.

2. Aim of the work

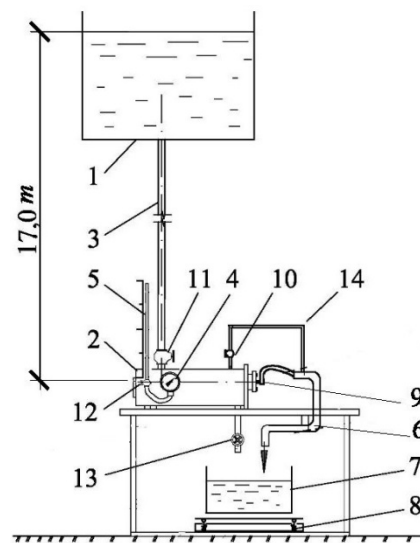
The aim is to determine functional dependences for evaluation of the flow coefficient μ of the intake cylindrical nozzle with orthogonal lateral outlet as a function of the angle β to the direction of the main stream in a collector-pipeline, as well as a function of the ratio d/D of the diameter of the outlet of the nozzle to the diameter of the collector-pipeline.

3. Techniques of carrying out the work

The experimental test bench (Fig. 1) enabled us to investigate water flow out of an outlet cylindrical nozzle under the action of the head which varied from 0 to 17 m. The working fluid was water. The heads which were less than 2.2 m were measured accurate to 0.5 mm by piezometer whose division value was 1.0 mm. The heads which were greater than 2.2 m were measured by MTU pressure gauge whose accuracy class was 0.6 and whose division value was 0.02 kg/cm².

Fig. 1. Schematic diagram of experimental test bench: 1–reservoir; 2–head tank; 3–joining pipe; 4–pressure gauge; 5–piezometer; 6–water–drain pipe; 7–water-receiving tank; 8–electronic weigher; 9–water-receiving tube with a nozzle; 10,11,12–faucets; 13–discharge pipe with a valve; 14–pipe for the exhaust of the pressure tank

Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1–górný zbiornik; 2–zbiornik ciśnieniowy; 3–połączenie rur; 4–manometr; 5–piezometr; 6–rura spustowa wody; 7–zbiornik wody odbiorczej; 8–elektroniczna waga; 9–rura z dyszą do badań; 10,11,12–zawory; 13–rura z zaworem do opróżnienia zbiornika ciśnieniowego; 14–rura do wypuszczania powietrza ze zbiornika ciśnieniowego



The investigation nozzles were installed at a butt end wall of the cylindrical tank 2 (see Fig. 1). The intake hole of the nozzle was placed in the head tank 2. To simulate the conditions of the work of the intake cylindrical nozzle in CP, the outlet end of the nozzle was introduced into the water-receiving tube, which was a part of CP in this case (Fig. 2).

As it was a single nozzle installed in the water-receiving tube that was investigated, a single end of the CP was closed by a pipe closer. The other end of the water-receiving tube was directed upward for filling it with water during the operation of the nozzle. Thus, water flow from the closed end to the other end of the water-receiving tube, which was connected with the water-draining pipe 6 (Fig. 1). The amount of water which flow through the outlet cylindrical tube was determining through volume method. The volume W of water which flow into the water-receiving tank 7 during the time t was determined through weight method with the help of electronic weather. The assembly of the nozzle attachment is given in Fig. 3.

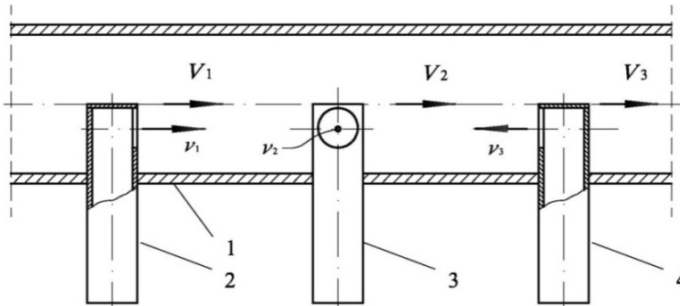


Fig. 2. Part of CP with nozzles installed with different outflow angles β : 1 – collector-pipeline; 2 – nozzle with $\beta = 0^\circ$; 3 – ditto $\beta = 90^\circ$; 4 – ditto $\beta = 180^\circ$; V_1, V_2, V_3 – velocities of streams in CP; v_1, v_2, v_3 – velocities of jet at outlets of nozzle
 Rys. 2. Część rurociągu-zbieracza z dyszami zamontowanymi pod różnymi kątami odpływu: 1 – rurociąg-zbieracz; 2 – dysza z kątami odpływu β równymi 0° ; 3 – to samo, 90° ; 4 – to samo, 180° ; V_1, V_2, V_3 – prędkości strumieni w rurociągu-zbieracza; v_1, v_2, v_3 – prędkości strumienia na wylocie z dysz 2, 3, 4

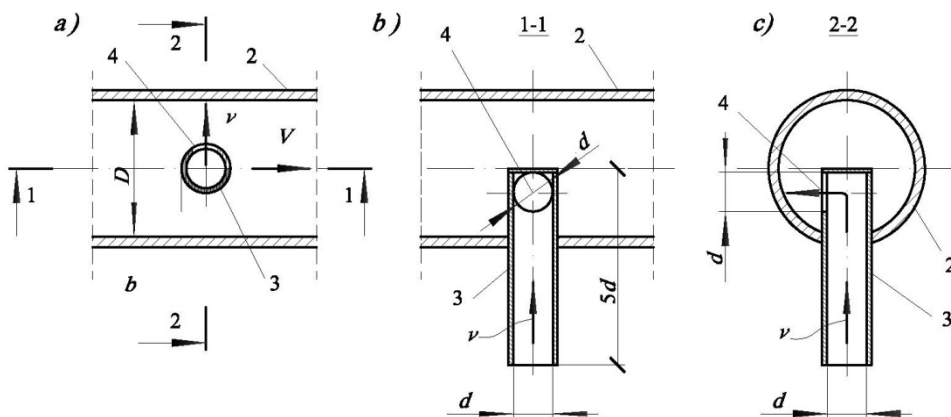


Fig. 3. Schematic-diagram of attachment of inner-nozzle with orthogonal lateral jet outlet: a – longitudinal section of receiving tube; b – section 1-1; c – section 2-2; 1 – pipe closer; 2 – receiving tube; 3 – nozzle; 4 – outlet hole

Rys. 3. Schematyczny diagram mocowania wejściowej dyszy z prostopadłym bocznym wylotem strumienia: a – przekrój podłużny doprowadzającego przewodu; b – przekrój 1-1; c – przekrój 2-2; 1 – korek; 2 – doprowadzający przewód; 3 – dysza wejściowa; 4 – otwór wylotowy

The intake cylindrical nozzle is made with a lateral outlet at 90° to its longitudinal axis (Fig. 4).

Fig. 4. Intake cylindrical nozzle with orthogonal lateral outlet

Rys. 4. Wejściowa dysza cylindryczna z prostokątnym bocznym wylotem

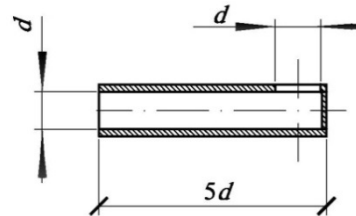
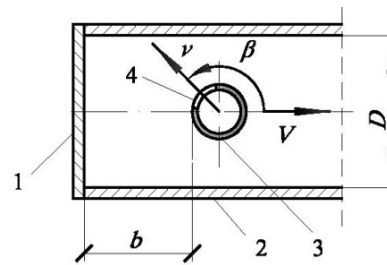


Fig. 5. Schematic diagram of reference system for angle β : 1 – pipe closer; 2 – receiving tube; 3 – intake nozzle; 4 – intake hole; V – velocity of streams in water-receiving; v – velocity of out-flowing jet

Rys. 5. Schemat obliczenia kąta β odprowadzania strumienia wody: 1 - korek; 2 – doprowadzający przewód; 3 – dysza wejściowa; 4 – otwór wylotowy; V – prędkość doprowadzającego strumienia wody; v – prędkość strumienia wypływającego z dyszy wejściowej



Geometrical characteristics of the investigated intake nozzles are given in Table 1.

Table 1. Nozzles investigated

Tabela 1. Badane dysze

Diameters, mm		Ratios of diameters d/D	Relative distance from nozzle to butt end pipe closer of water-receiving, b/D (fig. 3,a)
D	d		
10	4	0.400	1.1
22	8	0.364	1.55
22	10	0.455	1.36
45	13	0.289	0.49
45	15,6	0.347	0.24

4. Mathematical experimental data processing

The volumetric flow rate we calculated according to the formula:

$$Q = W/t \quad (1)$$

where, W is the volume of water which inflow into the water-receiving tank during the time t .

The flow coefficient μ of the nozzle we calculated according to the formula:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad (2)$$

where, Q is the flow rate of water through the hole of the nozzle, m^3/s ;

ω is the area of the effective cross-section, m ;

g is the gravity acceleration, $g = 9,81 m/s^2$;

H is the head at the outlet of the outlet hole of the nozzle, m .

The value of Reynolds number we calculated for d of the outlet hole of the nozzle according to the formula:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (3)$$

where, v is the speed of fluid outflow through the outlet hole of the outlet nozzle, m/s ;

d is the diameter of the outlet hole of the outlet nozzle, m ;

ν is the kinematic viscosity of water depending on its temperature, m^2/s

The relative change of the flow coefficient μ we determined according to the formula:

$$\psi = \frac{\mu_i - \mu_{0^\circ}}{\mu_{0^\circ}} 100\% \quad (4)$$

where, μ_{0° , μ_{i° are the flow coefficients of the nozzle for $\beta = 0^\circ$ and $\beta = i$

when $i^\circ = 45^\circ; 90^\circ; 135^\circ; 180^\circ; 45^\circ; 90^\circ; 135^\circ; 180^\circ$.

5. Results of experimental investigation

On the basis of experimental data processing, the dependence of the flow coefficient μ of the outlet nozzle with lateral jet flow on a previously set value of the Reynolds number Re_d is obtained (Fig. 6).

The dependence $\mu = f(Re)$ is obtained for all the investigated nozzles. For the nozzle of $d = 4 mm$ ($d/D = 0.400$), the independence of flow coefficient on Reynolds number (self-similarity with respect to Reynolds number Re) was obtained at $Re = 2 \cdot 10^4$ for $\beta = 0^\circ$, at $Re = 3.5 \cdot 10^4$ for $\beta = 135^\circ$ - (see. Fig. 6). For the nozzles of $d/D = 0.289; 0.347, 0.364; 0.455$ the self-similarity of the coefficient μ with respect to Reynolds number Re is observed

at 80000; 90000; 65000; 65000, respectively. For the plotting of the dependences $\mu = f(\beta)$, $\mu = f(d/D)$, the values of μ were taken from segments of self-similarity of the graphs $\mu = f(Re)$ for each of the nozzles individually, i.e. for $Re = 80000; 90000; 65000; 35000; 65000$ for $d/D = 0.289; 0.347, 0.364; 0.400, 0.455$ respectively.

The dependence of the flow coefficient μ on the angle β are given in Fig. 7; ditto on the ratio d/D in Fig. 8.

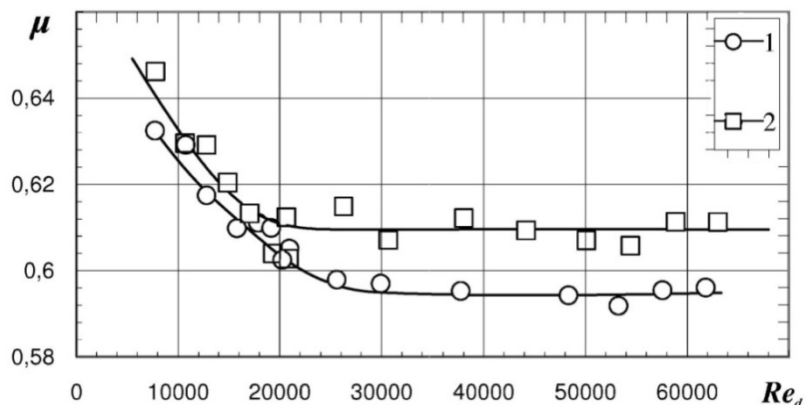


Fig. 6. Dependence $\mu = f(Re)$ for nozzle of $d = 4 \text{ mm}$ and $D = 10 \text{ mm}$ for angles $\beta : 0^\circ - (1); 135^\circ - (2)$;

Rys. 6. Zależności $\mu = f(Re)$ dla dyszy wejściowej o średnicy $d = 4 \text{ mm}$ oraz średnicy doprowadzającego przewodu $D = 10 \text{ mm}$ dla kątów β równych: $0^\circ - (1); 135^\circ - (2)$

In table 2, comparison of the effectiveness ψ of the adjustment of the flow coefficient μ of the nozzle for $\beta = 0^\circ$ and $\beta = 135^\circ$ for different values of the ratio of the diameter d of the intake hole of the nozzle to the inned diameter D of the receiving tube is given. As it is seen from Fig. 8, the ratio of the diameters d/D influences the coefficient μ more considerably than the value of the angle β does.

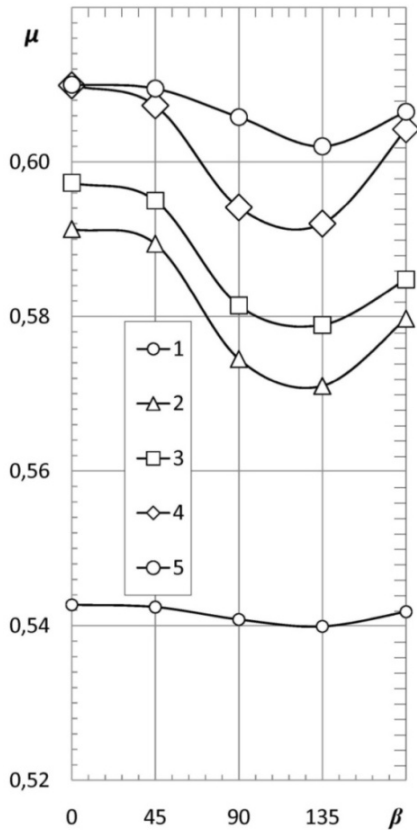


Fig. 7. Dependence of the flow coefficient $\mu = f(\beta)$ for different ratio of diameters d/D : 0.289-(1); 0.347-(2); 0.364-(3); 0.400-(4); 0.455-(5)

Rys. 7. Zależności współczynnika przepływu dyszy wejściowej $\mu = f(\beta)$ dla różnych wartości stosunku średnic d/D : 0.289-(1); 0.347-(2); 0.364-(3); 0.400-(4); 0.455-(5)

The greater the ratio of the diameters d/D is, the more considerably the value of the flow coefficient μ of the intake cylindrical nozzle with orthogonal lateral jet outflow increases for all the values of the angle β between the jet and the main stream (see Fig. 8). It is evident that with the increase in d/D , the extent of jet dilation decreases (from d to D). Thus the energy losses for dilation of the stream decrease. Accordingly, the increase in carrying capacity of the nozzle is observed, its flow coefficient μ increases.

For each of the investigated nozzle, i. e. for each value of d/D , it is established that the greatest value of the flow coefficient μ is at $\beta = 0^\circ$, and the least one at $\beta = 135^\circ$. At $d/D = 0.289$, the flow coefficient μ varies with the least rate (see Fig. 7; Fig. 8; Table 2): within the range $0.35 \leq d/D \leq 0.40$, it varies with the greatest rate. Thus, for adjustment of non-uniformity of fluid inflow along the path in pressure collector-pipelines, nozzles of $0.35 \leq d/D \leq 0.40$ are the most suitable for application.

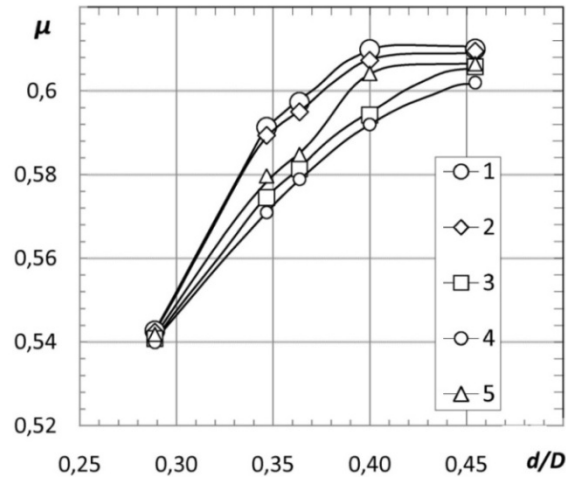


Fig. 8. Dependence of the flow coefficient $\mu = f(d/D)$ on the ratio of intake hole diameter of nozzle to CP diameter for different values of angle β between jet and main stream: 0° - (1); 45° - (2); 90° - (3); 135° - (4); 180° - (5)

Fig. 8. Zależności współczynnika przepływu dyszy wejściowej $\mu = f(d/D)$ w stosunku do proporcji średnicy otworu wylotowego dyszy do średnicy rurociągu-zbieracza dla różnych wartości kąta β odprowadzania strumienia wody: 0° - (1); 45° - (2); 90° - (3); 135° - (4); 180° - (5)

Table 2. Comparison of effectiveness of adjustment of flow coefficient μ for different values of d/D and β

Tabela 2. Porównanie skuteczności regulacji współczynnika przepływu μ dla różnych wartości d/D i β

Ratios of diameters d/D	Flow coefficient μ of nozzle for values of angle β		Relative change of flow coefficient ψ , %
	0°	135°	
0.289	0.5427	0.5399	-0.52
0.347	0.5913	0.5710	-3.43
0.364	0.5973	0.5789	-3.08
0.400	0.6099	0.5920	-2.93
0.455	0.6100	0.6020	-1.31

6. Conclusions

Experimental dependences of the flow coefficient μ of a cylindrical nozzle with orthogonal lateral outflow of jet on (1) Reynolds number Re , (2) ratio of diameters d/D (diameter of nozzle outlet to that of CP), and (3) the angle β between the jet and the direction of the main stream in CP are obtained. The

ratio d/D influences the value of the flow coefficient μ more considerably than the value of β does. The magnitude of the flow coefficient μ varies most steeply within the ratio of d/D from 0.35 to 0.40. For adjustment of non-uniformity of fluid inflow along the path in pressure collector-pipelines, nozzles of $0.35 \leq d/D \leq 0.40$ are the most suitable ones.

Literature

- [1] Navoian Kh. A. Examples of hydraulic calculations of water passing structure culverts / Kh. A. Navoian. - K.:Budivelnik, 1975, p. 148.
- [2] Chernyuk Volodymyr V. A method of calculation for pressure collecting-pipelines // Zeszyty Naukowy Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska. – Rzeszów, Poland: Politechnika Rzeszowska, 2009, Nr 266, z. 54, pp. 19-25.
- [3] Calculation for Pressure Distributive Pipelines // Zeszyty Naukowy Politechniki Rzeszowskiej. Chernyuk Volodymyr V., Orel Vadym I. Experimental Verification of a New Method of Budownictwo i Inżynieria Środowiska – Rzeszów, Poland: Politechnika Rzeszowska, 2009. – Nr 266, z. 54, pp. 27-34.
- [4] Khalatov A. A. Hydrodynamics of swirling flow in a pipe with two tangential swirlers and 90 ° turn of the output / A. A. Khalatov, Y. Y. Borysov, Iu. Ia. Dashevskiy, S. D. Severyn (01030, Ukraine, Kiev, st. B. Khmelnytskoho, 10) // Prom. Teplotekhn.: Mizhnarodnyi naukovoprakladnyi zhurnal. 2010. 32, № 2. pp. 5-18.
- [5] Nurick W. H. The impact of manifold-to-orifice turning angle on sharp-edge orifice flow characteristics in both cavitation and noncavitation turbulent flow regimes / W. H. Nurick, T. Ohanian, D. G. Talley, P. A. Strakey // Trans. ASME. J. Fluids Eng. - 2008. –Vol. 130, № 12. - C. 121102/1-121102/10.
- [6] Shamsutdinov E. V Crowding viscous jet of fuel on the vessel wall at different angles of inclination of the nozzle / EV Shamsutdinov // Vestn. Nyzhehor. un-ta ym. N. Y. Lobachevskoho. - 2011. - № 4, ch. 3. - pp. 1267-1269.

WPLYW ZMIANY KIERUNKU STRUMIENIA W PRZEPLYWOWYCH CYLINDRYCZNYCH DYSZACH RUROCIĄGU NA WSPÓŁCZYNNIK PRZEPLYWU

Dla wlotowych cylindrycznych dysz z prostopadłymi oraz bocznymi wylotami strumieniowymi, wyznaczamy współczynnik przepływu liczby Reynoldsa Re_d (1), zmiana kąta strumienia zwrotnym β , który jest mierzony w kierunku głównego strumienia w rurociągu (2) oraz iloraz średnicy otworu wylotowego dyszy do wnętrza rurociągu są uzyskane d/D . Iloraz d/D wpływa na wartość współczynnikę przepływu znacznie niż zmiana kierunku strumienia. Wielkość współczynnika przepływu zmienia się w największym stopniu w zakresie wielkości od 0,35 do 0,40. Do regulacji nierównomierność dopływu cieczy do rur ciśnieniowych, wzdłuż ich długości, dysze $0.35 \leq d/D \leq 0.40$ są najbardziej odpowiednie.

Słowa kluczowe: cylindryczna dysza, boczny wylot dyszy, kąt wypływu strumienia

DOI:10.7862/rb.2016.267

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Agnieszka JABŁOŃSKA-KRYSIEWICZ¹
 Marek KRYSIEWICZ²

PROJEKTOWANIE NOWYCH I MODERNIZACJA ISTNIEJĄCYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH W ASPEKCIE OCHRONY PRZYRODY I KRAJOBRAZU NA PRZYKŁADZIE REALIZACJI W REGIONIE PODLASIA, WARMII I MAZUR

W artykule przedstawiono, na wybranych przykładach zrealizowanych obiektów, podstawowe determinanty ochrony krajobrazu i przyrody, jakimi należy się kierować przy opracowaniu dokumentacji projektowej dla nowego, czy też dla remontowanego mostu na terenach krajobrazowo i przyrodniczo cennych. Kryterium uwarunkowań historyczno-krajobrazowych przy projektowaniu i modernizacji starych obiektów jest szczególnie ważne na terenach „Zielonych Płuc Polski” do jakich można zaliczyć obszar północno-wschodniej Polski. Szczególną uwagę zwrócono na zachowanie formy starych mostów łukowych ze sklepieniem ceglany. Mosty te znajdują się często w złym stanie technicznym. Przedstawiono dwa rozwiązania konstrukcyjne stosowane przy przebudowie tego typu obiektów: zastosowanie wzmocnienia w postaci stalowych blach karbowanych opartych na żelbetowych przyczółkach oraz wykonanie żelbetowych łuków, oblicowanych cegłą klinkierową, opartych na istniejących podporach, wzmocnionych żelbetowym oczepem. Omówiono na przykładach wybranych obiektów podstawowe uwarunkowania środowiskowe brane pod uwagę przy projektowaniu mostów i przepustów na terenach wiejskich. Zwrócono uwagę na dostosowanie obiektu do otaczającego krajobrazu poprzez zastosowanie odpowiedniej roślinności, zarówno na zabezpieczeniu skarp jak i po obu stronach mostu. Przedstawiono możliwości wykonania przejść dla zwierząt w małych obiektach mostowych i przepustach. Zwrócono uwagę na zagadnienie estetycznego kształtowania konstrukcji mostowych jako dążenie do zachowania formy współgrającej z otoczeniem, szczególnie na obszarze miast, gdzie most jest ważnym punktem widokowym.

Słowa kluczowe: mosty, uwarunkowania historyczne, środowisko, zrównoważony rozwój

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Agnieszka Jabłońska-Krysiewicz, Politechnika Białostocka, Katedra Konstrukcji Budowlanych, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, tel. 85 746 96 00; a.krysiewicz@pb.edu.pl

² Marek Krysiewicz, M-Mosty Marek Krysiewicz, ul. Elewatorska 13/22, 15-620 Białystok; tel. 606675016; m.mosty.krysiewicz@interia.pl

1. Wprowadzenie

Pojęcie zrównoważonego rozwoju (ang. *sustainability*), oznaczające niedostrukturalny sposób życia na Ziemi, staje się coraz popularniejszym zagadnieniem nie tylko w krajach tzw. „starej” Europy, ale i w krajach członkowskich Unii Europejskiej, przyjętych w 2004 roku, w tym również w Polsce. Termin ten został wyjaśniony po raz pierwszy w 1987 roku przez Światową Komisję do spraw Środowiska i Rozwoju, która to zrównoważony rozwój określiła jako dążenie do zaspokajania potrzeb ludzkości w sposób chroniący zasoby środowiska [1]. Bez uwzględnienia w projekcie rozwiązań, które zagwarantują minimalizację negatywnych oddziaływań danej inwestycji na środowisko, nie jest możliwe uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach i zgody na realizację przedsięwzięcia, co jest równoznaczne z brakiem uzyskania pozwolenia na budowę [2]. Coraz częściej pod pojęciem „środowisko” kryje się nie tylko szeroko pojęta otaczająca obiekt mostowy przyroda, ale także krajobraz jako całość, a więc także uwarunkowania historyczne miejsca oraz estetyka, rozumiana jako dążenie do harmonijnego organizowania przestrzeni [3]. Kryterium uwarunkowań historyczno-krajobrazowych przy projektowaniu i modernizacji obiektów jest szczególnie ważne na terenach przyrodniczo cennych, do których można zaliczyć obszar północno-wschodniej Polski. Aspekty ochrony zabytków i zachowania form budowli mostowych są szczególnie ważne na terenie Warmii i Mazur, bogatym w liczne dziewiętnastowieczne oraz wzniesione na początku dwudziestego wieku mosty i wiadukty w ciągu dróg kołowych oraz na istniejących liniach kolejowych.

Celem artykułu jest przedstawienie, na wybranych przykładach obiektów podstawowych determinant ochrony krajobrazu i przyrody, jakimi należy się kierować przy opracowaniu dokumentacji projektowej dla nowego, czy też dla remontowanego mostu na terenach krajobrazowo i przyrodniczo cennych.

2. Uwarunkowania historyczno-krajobrazowe

Istotnym zagadnieniem, z którym często spotykają się projektanci, jest zachowanie formy architektonicznej obiektu. Dotyczy to również obiektów wzniesionych w dziewiętnastym i na początku dwudziestego wieku, najczęściej łukowych ceglanych i kamiennych. Przebudowa i dostosowanie drogi do wyższej klasy wymusza stosowanie konstrukcji, która jest w stanie przenosić zwiększone obciążenie, a jednocześnie zachowuje pierwotną formę i kształt mostu. W przypadku tego typu obiektów stosowane są między innymi konstrukcje gruntowo-powłokowe ze stalowymi łukowymi blachami karbowanymi. Takie rozwiązanie zostało przyjęte w modernizowanym moście w miejscowości Kołodziejki w ciągu drogi krajowej Nr 15, odcinek Lubawa-Ostróda. Istniejący most łukowy wykonany z cegły ceramicznej opierał się na przyczółkach z ciosów kamiennych posadowionych bezpośrednio (rys.1). Pod obiektem, wzdłuż przyczółków, znaj-

dowały się opaski betonowe. Ściana zwieńczająca łuk ceglany na wlocie i wylocie była wykonana z kamienia łamanego (mur cyklopowy). Na podstawie wniosków z przeprowadzonej inwentaryzacji mostu stwierdzono, że obiekt jest w złym stanie technicznym. Ściana była podwyższana za pomocą muru z bloczków silikatowych. W przyczółkach mostu, opaski betonowe zabezpieczające przed podmywaniem płytko posadowionych przyczółków, oddzieliły się od przyczółków. Na łuku ceglany na odcinkach po 2,50 m od wlotu i wylotu widać było bardzo silny nalot z mleczka cementowego, świadczący o nieszczelności izolacji łuku ceglano, której skutkiem były ubytki cegieł (rys. 2). Na wylocie około 20 cm od lica łuku widoczne było pęknięcie na całym obwodzie łuku. Rozwarcie szczeliny wynosiło około 2 cm. Cegły na końcach łuku były zmuszały i kruszyły się.



Rys. 1. Most w Kołodziejkach – stan przed przebudową

Fig. 1. The bridge in Kołodziejki - the state before rebuilding

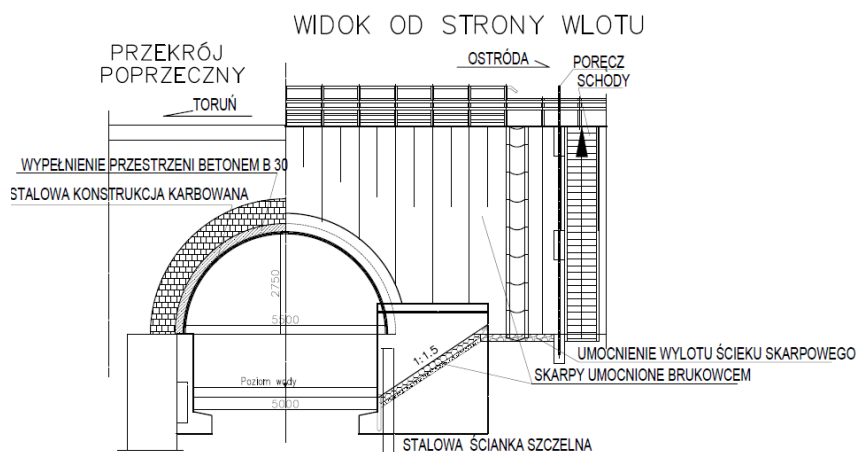


Rys. 2. Most w Kołodziejkach – widoczne ubytki cegieł

Fig. 2. The bridge in Kołodziejki - visible the cavities of bricks

Wysokie koszty naprawy i remontu zdecydowały o rozebraniu obiektu i wykonaniu nowego o konstrukcji łukowej z blach stalowych karbowanych, opartej na żelbetowych przyczółkach (rys. 3).

Innym, często stosowanym rozwiązaniem w modernizowanych ceglanych obiektach łukowych jest zastosowanie sklepienia żelbetowego oblicowanego cegłą. Zaletą takiej konstrukcji jest wzrost nośności mostu, co wiąże się z możliwością dostosowania do wyższej klasy obciążenia. Przykładem obiektu, w którym zastosowano opisane wyżej rozwiązanie jest most przez rzekę Dajnę w miejscowości Pilec w ciągu drogi powiatowej Nr 26551 Szestno - Święta Lipka. Most, zbudowany w 1914 roku, to most ceglany dwuprzęsłowy (rys. 4), w którym przęsła stanowią sklepienia ceglano kołowe oparte na przyczółkach i filarze kamiennym.



Rys. 3. Most w Kołodziejkach - przekrój poprzeczny zmodernizowanego obiektu

Fig. 3. The bridge in Kołodziejki,- the cross section of rebuilt bridge

Na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji stwierdzono destrukcję techniczną sklepienia ceglanego. Odnotowano liczne spękania i zacieki, a nieudolne naprawy, wbrew intencjom wykonawców, przyspieszyły tylko proces niszczenia cegieł. Ściany czołowe wykazywały liczne deformacje, na skrzydłach mostu występowały spękania i ubytki spoin oraz miejscami poluzowane kamienie. Stan techniczny oraz konieczność dostosowania do wyższej klasy obciążenia zadecydowały o rozbiórce istniejącego obiektu i budowie nowego mostu, zachowującego formę łukową. Na rysunku 5 pokazano stan mostu po przebudowie.



Rys. 4. Most w Pilcu – widok mostu przed przebudową

Fig. 4. The bridge in Pilec -the view of bridge before rebuilding



Rys. 5. Most w Pilcu – widok przebudowanego obiektu

Fig. 5. The bridge in Pilec - the view of rebuilt bridge

Nową konstrukcję nośną zaprojektowano w postaci żelbetowych łuków, oblicowanych cegłą klinkierową, opartych na istniejących podporach, wzmocnionych oczepem żelbetowym. Ściany czołowe wykonano jako żelbetowe obłożone kamieniem, zakończone wspornikami, na których znajdują się chodniki. Na rysunkach 6 i 7 pokazano konstrukcję wsporczą deskowań oraz deskowanie i zbrojenie żelbetowego sklepienia z widoczną oblicówką z cegły klinkierowej.



Rys. 6. Most w Pilcu – konstrukcja wsporcza deskowań

Fig. 6. The bridge in Pilec - the supporting structure of formwork



Rys. 7. Most w Pilcu –deskowanie żelbetowych łuków

Fig. 7. The bridge in Pilec - the formwork of reinforced concrete arches

W obszarze zabudowanym obiekty mostowe są ważnymi punktami widokowymi dla pieszych i wolno jadących kierowców. Bardzo dużą rolę odgrywają tutaj detale architektoniczne (np. balustrady - rys 8), zastosowane specjalne materiały oraz tekstura obiektu mostowego, które to są zdecydowanie bardziej zauważalne niż w przypadku obiektów usytuowanych na drogach szybkiego ruchu [4].



Rys. 8. Most w Lidzbarku Warmińskim – balustrada

Fig.8. The bridge in Lidzbark Warmiński - the balustrade

3. Uwarunkowania środowiskowe

Zasada zrównoważonego rozwoju ściśle związana jest z ochroną środowiska rozumianego jako całość, a więc nie tylko z minimalizacją oddziaływań obiektu na naturalny ekosystem, ale także z ochroną krajobrazu przyrodniczego [5]. Most, zarówno pod względem funkcjonalnym, jak też materiałowym i konstrukcyjnym powinien być dostosowany do otoczenia. Jest to szczególnie ważne na terenach cennych przyrodniczo np. Natura 2000.

W obszarach wiejskich należy dążyć do tego, aby wykorzystać naturalne otoczenie do podkreślenia ciągłości przestrzeni z obu stron mostu [4]. Można to osiągnąć poprzez stosowanie odpowiedniej roślinności, zarówno na zabezpieczenie skarp jak i po obu stronach mostu na odcinkach o odpowiedniej długości tak aby zachować tylko minimalną przerwę na konstrukcję. Takie rozwiązanie zostało przyjęte w modernizowanym moście w miejscowości Jędrzejki w ciągu drogi powiatowej nr 1937N. Most ten jest usytuowany nad przesmykiem między jeziorami Białe i Stackie. Z uwagi na przylegający do drogi teren, który jest porośnięty lasem oraz wysoką trawą, zaprojektowano obsadzenie skarp roślinnością, aby stanowiły naturalne przedłużenie otaczającego krajobrazu (rys. 9 i 10).



Rys. 9. Most w Jędrzejkach – obsadzenie skarp roślinnością

Fig. 9. The bridge in Jędrzejki - planting vegetation of slopes

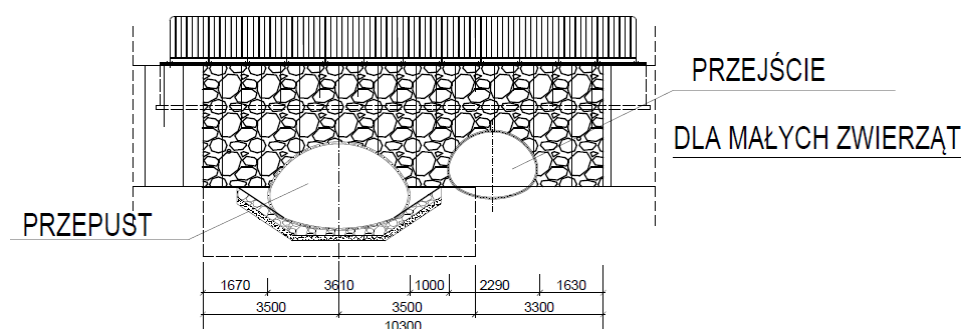


Rys. 10. Most w Jędrzejkach - widok z mostu na jezioro Białe

Fig. 10. The bridge in Jędrzejki - the view from bridge over Białe Lake

Na podstawie Ustawy o Ochronie Środowiska projektant zobligowany jest do uwzględnienia w projektach małych mostów i przepustów przejść dla zwierząt w celu zachowania szlaków migracyjnych lokalnych gatunków fauny w ich naturalnych obszarach siedliskowych. Często stosowanym rozwiązaniem jest pozostawienie opasek betonowych wzdłuż przyczółków mostów szerokości co najmniej 1 metra, umożliwiających przemieszczanie się zwierząt wzdłuż cieków wodnych. Można także łączyć w jednym obiekcie funkcję przepustów z przejściami dla małych zwierząt, projektując obok głównego obiektu dodatkowy.

Przykładem takiego rozwiązania jest przepust pod ulicą Borsuczą w Białymstoku (rys. 11), który znajduje się na szlaku migracji płazów z obszaru leśnego do położonych po drugiej stronie ulicy stawów i łąk. Konstrukcję głównego przepustu stanowi gruntowo-powłokowa konstrukcja o przekroju kroplistym, natomiast przejście dla zwierząt zaprojektowano z rur stalowych karbowanych o przekroju kołowym.



Rys. 11. Przepust z przejściem dla małych zwierząt pod ulicą Borsuczą w Białymstoku

Fig. 11. The culvert with a passage for small animals along Borsucza street in Białystok

4. Podsumowanie

W dobie zrównoważonego rozwoju, bez uwzględnienia w projekcie rozwiązań, które zagwarantują minimalizację negatywnego oddziaływania inwestycji na środowisko, nie jest możliwe uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach i zgody na realizację przedsięwzięcia, co jest równoważne z brakiem pozwolenia na budowę lub remont. Przy opracowywaniu dokumentacji projektowej mostu coraz ważniejsze stają się również kryteria związane z poszanowaniem krajobrazu jako całości, a więc uwzględnienie uwarunkowań historycznych obiektu i jego otoczenia. Szeroko pojęta estetyka konstrukcji mostu jak i detali architektonicznych coraz częściej jest podstawową przesłanką, którą kierują się wszyscy uczestnicy procesu inwestycyjnego.

Autorzy artykułu pragną podziękować Panu inż. Marcinowi Drabarzowi z firmy DROMO za udostępnienie fotografii z budowy mostu w miejscowości Pilec.

Artykuł został opracowany w Politechnice Białostockiej w ramach pracy statutowej S/WBiŚ/2/2012, finansowanej ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

- [1] Sarna A.: Zielone drogi - przyszłość dla zrównoważonej Europy. Drogownictwo Nr 5, 2011, s. 176-180.
- [2] Leniak-Tomczyk A., Łagoda G.: Środowiskowe uwarunkowania realizacji inwestycji drogowych w Polsce. Drogi i Mosty, Nr 2, 2010, s. 31-52.
- [3] Flaga K. i in.: Estetyka konstrukcji mostowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2005.
- [4] Jarominiak A.: Obiekty mostowe a środowisko- determinanty estetyki. Inżynieria i Budownictwo, Nr 4, 2011, s. 200-205.
- [5] Jabłońska-Krysiewicz A.: Środowiskowe uwarunkowania projektowania i modernizacji obiektów mostowych, W: Energy-saving and ecological materials, installations and technology in construction, Wydaw. Państwowej Szkoły Wyższej im. Papieża Jana Pawła II, Biała Podlaska 2012, s. 132-141.

THE DESIGNING OF NEW BRIDGES AND REBUILDING OF OLD ONES IN TERMS OF NATURE CONSERVATION AND LANDSCAPE PROTECTION BASED ON OBJECTS IN PODLASIE, WARMIA AND MAZURY

Summary

The article presents selected examples of completed facilities basic determinants of landscape protection and nature conservation, which should guide the development of project documentation for the new or the repaired bridge on the areas of landscape and natural value. Criterion conditions historical landscape design and modernization of old bridges is particularly important in the areas of "Green lungs Polish" to which may include the area of north-eastern Polish. Particular attention was paid to the preservation of the old forms of arch bridges with vaulted brick. These bridges are often in poor condition. There were shown two design solutions used in the reconstruction of this type: the use of reinforcement in the form of corrugated steel sheets based on reinforced concrete beachheads and execution of reinforced concrete arches, covered clinker bricks, based on existing supports, reinforced of cup. There were discussed with examples of completed facilities basic environmental considerations taken into account in the design of bridges and culverts on rural areas. Attention was paid to adapt the facility to the surrounding landscape through the use of appropriate vegetation, in protecting of slopes and on both sides of the bridge. There were exemplified feasibility of passages for animals in small bridges and culverts. Attention was paid to the issues of aesthetic shaping of bridge structures as an attempt to be made in harmonizing with the environment, especially in urban areas, where the bridge is an important landmark and viewing point.

Keywords: bridges, historical conditions, environment, sustainable development

DOI:10.7862/rb.2016.268

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Jakub JURA¹
Małgorzata ULEWICZ²

WPLYW DODATKU MATERIAŁÓW ODPADOWYCH Z TWORZYW POLIMEROWYCH NA WYBRANE PARAMETRY MECHANICZNE ZAPRAW CEMENTOWYCH

W artykule krótko scharakteryzowano problematykę zwiększającej się ilości odpadów oraz problemów z ich zagospodarowaniem, wykorzystaniem oraz recyklingiem. Przedstawiono doniesienia literaturowe o badaniach laboratoryjnych oraz na większą skalę możliwości ponownego wykorzystania w budownictwie odpadów budowlanych, a także odpadów pochodzących z innych sektorów gospodarki. W części doświadczalnej sprawdzono możliwość zastosowania odpadowych tworzyw polimerowych (mieszanka polietylenu 50% i polipropylenu 50%) pochodzących z rozdrobnienia zakrętek od butelek przez autorów za pomocą rozdrabniarki. Określono wpływ ilości użytego materiału odpadowego na właściwości fizyczne i mechaniczne próbek tj. wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność, ubytek masy oraz nasiąkliwość powstałych materiałów budowlanych. W badaniach wykonane zostały próbki zaprawy normowej oraz próbki zapraw zawierające rozdrobniony materiał odpadów polimerowych w ilości 10 – 30 g. Badania wykonano przy pomocy maszyny wytrzymałościowej zgodnie z obowiązującymi normami PN-EN. Z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego uzyskano mikrofotografie, a także widma składu pierwiastkowego mikroobszarów powierzchni zapraw. Wykazano, że najwyższą wytrzymałość na ściskanie (59 MPa) uzyskały próbki z zapraw, w których wykorzystano 20 g polimerowych materiałów odpadowych. Wszystkie próbki zawierające materiały polimerowe uzyskały mniejszy spadek wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności niż próbki normowe. Najmniejszy spadek wytrzymałości wykazały próbki serii, w których wykorzystano 30 g odpadów. W badanych próbkach najmniejszą nasiąkliwość (4,79%) uzyskały próbki zaprawy normowej, jednak pozostałe próbki posiadały bardzo zbliżone wyniki (4,83 ÷ 4,92%).

Słowa kluczowe: tworzywa polimerowe, gospodarka odpadami, zaprawy cementowe, polietylen, polipropylen

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Jakub Jura, Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-201 Częstochowa; jura@bud.pcz.czyst.pl

² Małgorzata Ulewicz, Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-201 Częstochowa; ulewicz@bud.pcz.czyst.pl

1. Wprowadzenie

Sektor budowlany zużywa duże ilości surowców naturalnych i energii pochodzącej z zasobów naturalnych, a jednocześnie wytwarza szereg odpadów (5741,6 tys. Mg w 2013 r., dane GUS). Znaczna część wytworzonych odpadów może być wykorzystana bezpośrednio do produkcji materiałów budowlanych. W sektorze budowanym, jak wynika z doniesień literaturowych, istnieje również możliwość wykorzystania odpadów poprodukcyjnych i poużytkowych pochodzących z innych sektorów gospodarki. W skali laboratoryjnej podejmowane są próby wykorzystania do betonów takich materiałów odpadowych jak: materiały rozbiórkowe [1], pustaki ceramiczne [2], ceramika sanitarna [3], włókna i odpady szklane [4], odpady z gumy [5], korek [6] czy popioły ze współspalania biomasy [7]. Badane były również możliwości wykorzystania materiałów polimerowych w betonach [8]. W niniejszym artykule określono możliwość wykorzystania w zaprawach cementowych odpadów w postaci mieszaniny tworzyw polimerowych (polipropylenu i polietylenu). Ilość tego typu odpadów systematycznie wzrasta, co powoduje, że niezbędne jest poszukiwanie nowych proekologicznych technologii ich zagospodarowania.

2. Część doświadczalna

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych zapraw cementowych z użyciem odpadowych materiałów polimerowych. Polimerowe materiały odpadowe użyte do badań pochodziły ze zmielenia zakrętek od butelek z polipropylenu (PP) oraz polietylenu (PE) do frakcji rzędu 0-5,0 mm (rys. 1).



Rys. 1. Tworzywa polimerowe użyte do badań

Fig. 1. The polymeric materials used for research

Skład badanych zapraw cementowych przedstawiono w tabeli 1. Próbkę zaprawy normowej (PK), a także zapraw cementowych z użyciem odpadów polimerowych w ilości $10 \div 30$ g (serie 1 \div 3) wykonano zgodnie z normą

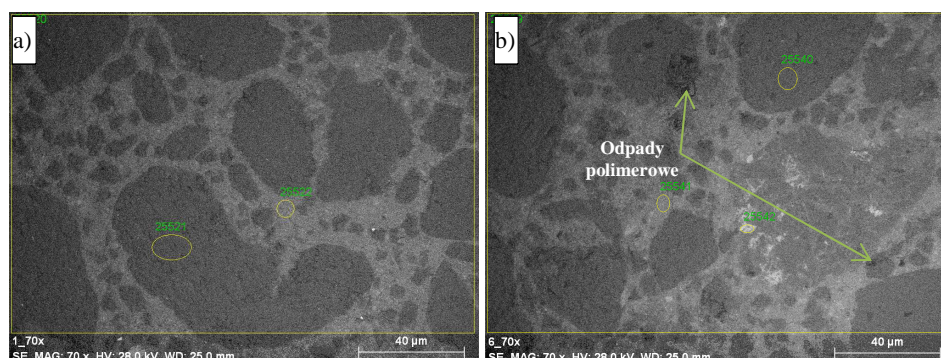
PN-EN196-1. Belecзки o wymiarach 4×4×16 cm wykonano z użyciem cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R. Wyroby zostały rozformowane po 24 h i trafiły do kąpieli wodnej. Po 28 dniach od wytworzenia próbek wykonane zostały badania wytrzymałości na ściskanie na 6 próbkach przy pomocy maszyny wytrzymałościowej Toni Technik typ 2030 zgodnie z normą dla zapraw cementowych oraz mrozoodporność (25 cykli zamrażania i rozmrażania). Po wysuszeniu próbek określono także nasiąkliwość zaprojektowanych zapraw oraz wykonano zdjęcia mikroskopowe SEM obrazujące mikrofotografie zapraw cementowych.

Tabela 1. Skład zapraw cementowych – proporcje mieszanek

Table 1. Composition of cement mortars - mixing ratios

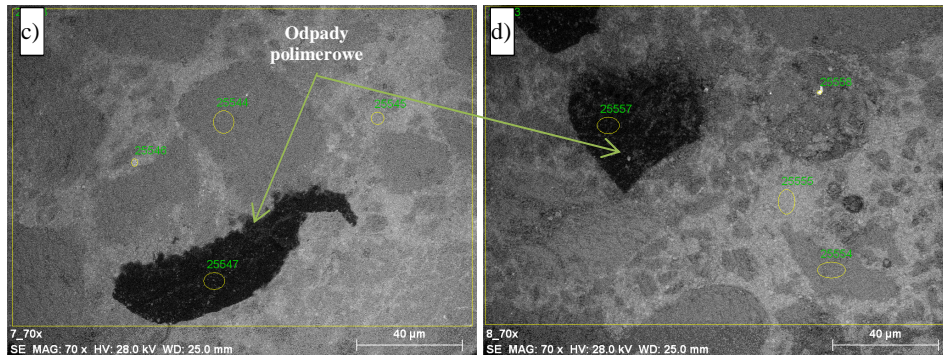
Skład	Seria			
	PK	1	2	3
Cement, g	450	450	450	450
Woda, cm ³	225	225	225	225
Piasek normowy, g	1350	1350	1250	1250
Tworzywo polimerowe, g	-	10	20	30

Jak wykazała analiza mikroskopowa SEM (rys. 2), struktura powstałych zapraw jest jednorodna, układ składników zaprawy jest bardzo podobny we wszystkich próbkach, a wprowadzone dodatki odpadowe PP i PE wyraźnie widać w strukturze materiału. Analiza widma pierwiastkowego (rys. 3) wykazała że głównymi pierwiastkami kompozytu są krzem, wapń, żelazo, siarka oraz potas i glin.



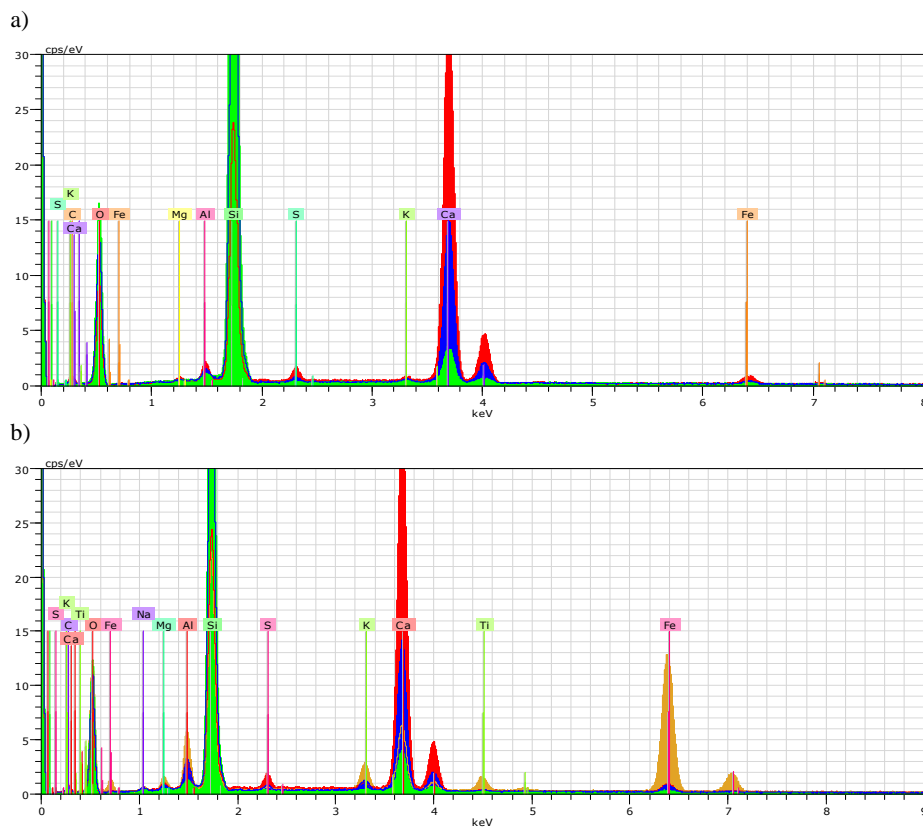
Rys. 2. Mikrofotografie SEM próbek: a) zaprawa normowa, b) zaprawa z dodatkiem 10 g odpadowych tworzyw polimerowych, c) 20 g, d) 30 g

Fig. 2. SEM micrographs of specimen: a) standard mortar, b) mortar with 10 g polymer materials added, c) 20 g, d) 30 g



Rys. 2. c.d. Mikrofotografie SEM próbek: a) zaprawa normowa, b) zaprawa z dodatkiem 10 g odpadowych tworzyw polimerowych, c) 20 g, d) 30 g

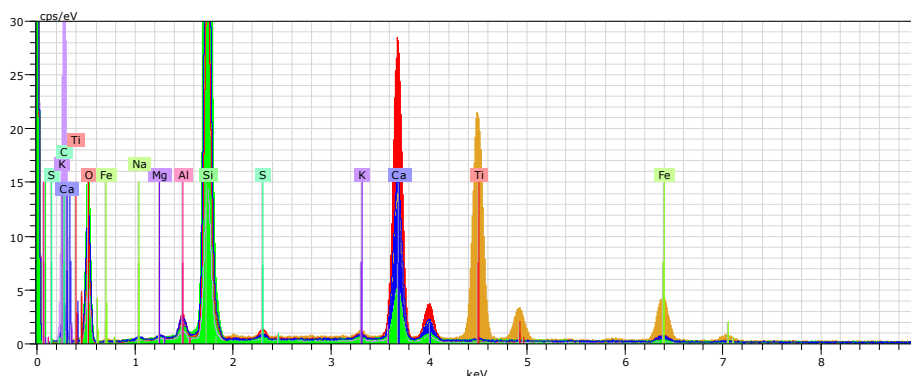
Fig. 2. cont. SEM micrographs of specimen: a) standard mortar, b) mortar with 10 g polymer materials added, c) 20 g d) 30 g



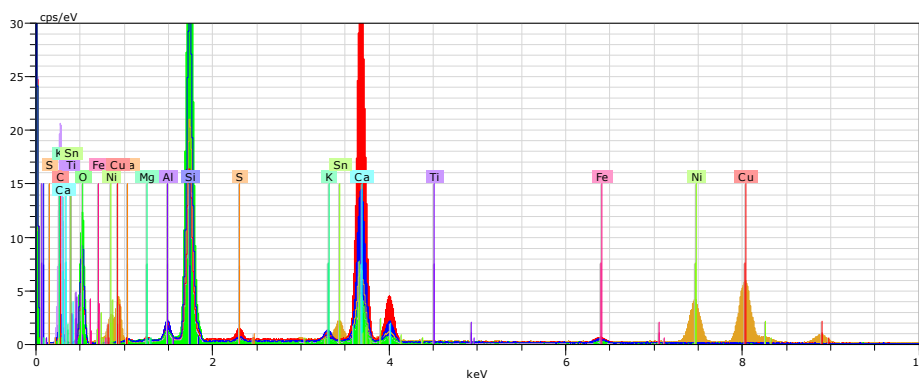
Rys. 3. Widma składu pierwiastkowego badanych mikroobszarów (serie PK ÷ 3)

Fig. 3. Spectra of the elemental composition of the tested microareas (series PK ÷ 3)

c)



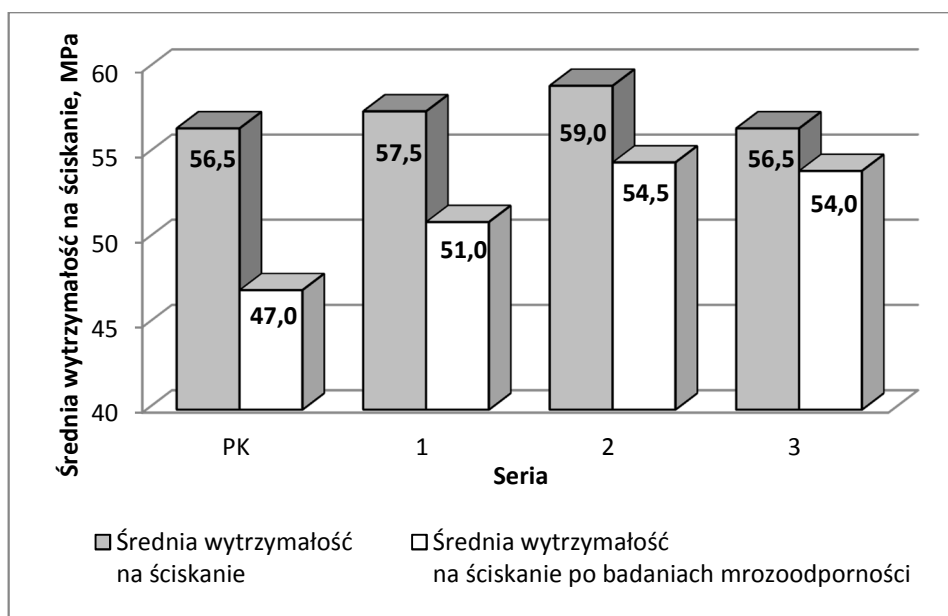
d)



Rys. 3. c.d. Widma składu pierwiastkowego badanych mikroobszarów (serie PK ÷ 3)

Fig. 3. cont. Spectra of the elemental composition of the tested microareas (series PK ÷ 3)

W kolejnym etapie badań określono wytrzymałość na ściskanie próbek zaprawy normowej, a także zapraw zawierających polimerowe tworzywa odpadowe. Jak wynika z wyników przeprowadzonych badań (rys. 4) zaprawa normowa uzyskała średnią wytrzymałość na ściskanie równą 56,5 MPa. Próbki zawierające odpady polimerowe wykazały podobne lub wyższe wartości wytrzymałości na ściskanie w porównaniu z zaprawą normową. Dodanie 10 i 20 g odpadu spowodowało wzrost średniej wytrzymałości na ściskanie próbek odpowiednio o 1,8% (57,5 MPa) i 4,4% (59 MPa), natomiast próbki z dodatkiem 30 g tworzyw odpadowych uzyskały taką samą wytrzymałość jak zaprawa normowa.



Rys. 4. Właściwości mechaniczne próbek

Fig. 4. Mechanical properties of the specimen

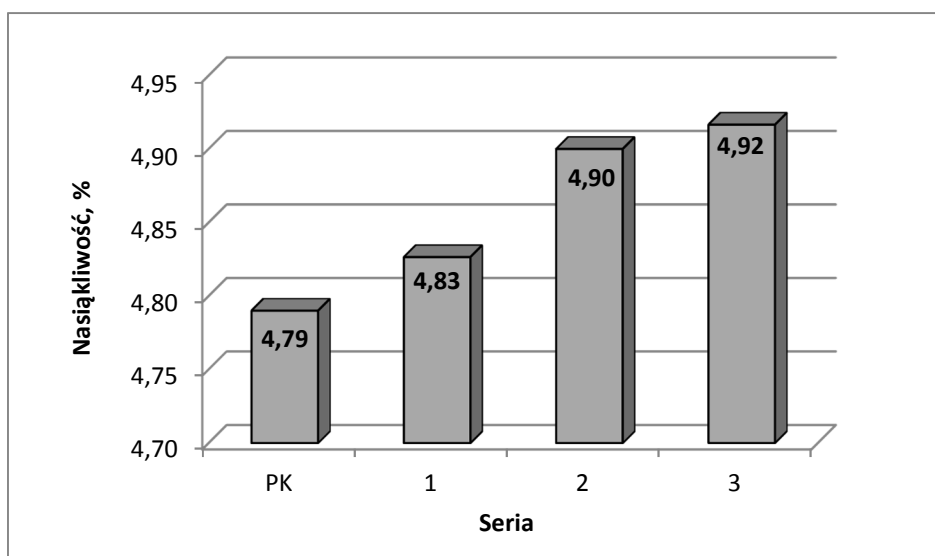
Przeprowadzone badania umożliwiły zarówno na określenie spadku wytrzymałości na ściskanie, jak również ubytku masy próbek po badaniach mrozoodpornościowych polegających na 25 cyklach zamrażania oraz rozmrażania próbek. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2 oraz na rys. 4, próbki z zawartością polimerowych materiałów odpadowych po badaniach mrozoodpornościowych wykazują znacznie niższy spadek wytrzymałości na ściskanie - wynoszący od 4,42 do 11,30%, w porównaniu z zaprawą normową, która utraciła prawie 17% swojej wytrzymałości na ściskanie. Próbki te wykazały również większy ubytek masy niż próbki z zaprawy normowej wynoszący maksymalnie 0,25% w przypadku 30 g zawartości odpadowych tworzy polimerowych.

Tabela 2. Właściwości mechaniczne próbek po badaniach mrozoodporności

Table 2. The mechanical properties of specimen after frost resistance tests

Seria	Zawartość tworzyw polimerowych, g	Spadek wytrzymałości, %	Ubytek masy po badaniach mrozoodporności, %
PK	-	16,81	0,05
1	10	11,30	0,21
2	20	7,63	0,23
3	30	4,42	0,25

Jak wykazały wyniki przeprowadzonych badań nasiąkliwości (rys. 5) zaprawy cementowe zawierające tworzywa polimerowe charakteryzują się niewiele większą nasiąkliwością od zaprawy normowej – maksymalnie o ok. 2,7% w przypadku serii 3.



Rys 5. Nasiąkliwość zapraw cementowych

Fig. 5. Absorbability of cement mortars

3. Wnioski

Badania wykazały, że zastosowanie odpadowych tworzyw polimerowych (mieszanka PE i PP) może wpływać korzystnie na ich właściwości mechaniczne. Najwyższą wytrzymałość na ściskanie (59 MPa) uzyskały zaprawy zawierające w swoim składzie 20 g odpadów polimerowych, wyższą o 2,5 MPa od zaprawy normowej. Najmniejszy spadek wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych badaniu mrozoodporności uzyskały próbki wykonane z zapraw zawierających 30 g odpadów. Nasiąkliwość wszystkich badanych próbek była na podobnym poziomie (4,79 ÷ 4,92%).

Literatura

- [1] Yuan F., Shen L., Li Q.: Energy analysis of the recycling options for construction and demolition waste, *Waste Management*, 31, 2011, pp. 2503-2511.
- [2] Binici H.: Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties, *Construction and Building Materials*, 21, 2007, pp. 1191-1197.

- [3] Jura J., Halbiniak J., Ulewicz M.: Wykorzystanie odpadów ceramiki użytkowej i sanitarnej w zaprawach cementowych, *Materiały Ceramiczne*, T.67 nr 4, 2015, s. 438-442.
- [4] Park S., Lee B.: Studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers, *Cement and Concrete Research*, 34, 2004, pp. 1145-1152.
- [5] Lia G., Garricka G., Eggersb J., Abadie C., Stubblefieldc M., Pang S.: Waste tire fiber modified concrete, *Composites: Part B*, 35, 2004, pp. 305-312.
- [6] Panesar D. K., Shindman B.: The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork, *Cement & Concrete Composites*, 34, 2012, 982-992.
- [7] Wang S., Miller A., Llamazos E., Fonseca F., Baxter L.: Biomass fly ash in concrete: mixture proportioning and mechanical properties, *Fuel*, 87, 2008, 365-371.
- [8] Ismail Z. Z., Al-Hashmi E. A.: Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, *Waste Management*, 28(11):2041-7, 2008.

USE OF THE WASTE MATERIALS IN CEMENT MORTARS

Summary

The article briefly characterized the problem of the increasing amount of waste and problems with their management, use, and recycling. Presented literature reports of laboratory tests and on a larger scale reuse in building the building waste and the waste from other sectors of the economy. In the experimental part examined the possibility of using waste polymer materials with the fragmentation of bottle caps made of polypropylene and polyethylene. By means of the research it has been characterized impact of the quantity of the waste material on physical and mechanical properties of samples, such as compressive strength, frost resistance, loss of weight and absorbency of created materials. The studies were made according to standard specimens of the mortar consisting of sand, cement and water, and the specimens with added of the polymer material waste in an amount of 10 ÷ 30 g. Tests were performed according to standards. With the use of a scanning electron microscope obtained micrographs and spectrum of the mortar surface. The best mechanical properties were obtained samples with 20 g of polymeric material. The samples with this proportions obtained the highest compression strength (59 MPa). All specimens containing polymeric materials obtained smaller decrease compressive strength after frost resistance test. The smallest decline in strength had specimens with 30 g of polymer materials. In the studied specimens the lowest water absorption (4.79%) obtained samples of standard mortar but other samples had similar results (4.83 ÷ 4.92%).

Keywords: polymer materials, use of waste, recycling, polymer waste

DOI:10.7862/rb.2016.269

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Galina KALDA¹
Ewa SKUBA²

ANALIZA ZANIECZYSZCZEŃ WÓD POWIERZCHNIOWYCH ODPADAMI ZAKŁADÓW PRZEMYSŁOWYCH NA TERENIE WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO

W artykule prezentowano analizę zanieczyszczenia wód powierzchniowych różnymi największymi zakładami przemysłowymi, jakie pracują na terenie województwa podkarpackiego. Pokazano, że głównymi przyczynami zanieczyszczenia wód powierzchniowych jest zawartość w nich specyficznych zanieczyszczeń pochodzenia chemicznego lub mikrobiologicznego. Analiza zanieczyszczenia wód powierzchniowych została przeprowadzona pod względem stanu czystości wód trzech największych rzek, takich jak San, Wisłok i Wisłoka, występujących na obszarze województwa podkarpackiego. Analizę zanieczyszczenia wód powierzchniowych dokonano także na podstawie stanu czystości wody powierzchniowej zlokalizowanej w pobliżu składowiska odpadów przemysłowych. Stan ekologiczny rzek San, Wisłok i Wisłoka określono na podstawie wskaźników biologicznych, fizykochemicznych i hydromorfologicznych. Stan chemiczny badanych wód powierzchniowych przeprowadzono na podstawie wartości wyników dla substancji priorytetowych i dla innych zanieczyszczeń oraz substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (specyficzne zanieczyszczenia syntetyczne i niesyntetyczne). W przypadku większej ilości punktów pomiarowych brano pod uwagę wartość najgorszego wyniku. Jedną z przyczyn zanieczyszczenia wód na terenie województwa podkarpackiego są zakłady przemysłowe, odprowadzające ścieki przemysłowe za pomocą własnego systemu kanalizacyjnego. Monitoring wód powierzchniowych na terenie składowisk był prowadzony w zakresie pH, przewodności elektrycznej właściwej, fenoli, siarczanów oraz ChZTcr. Badania wód cieką odbywały się w dwóch punktach pomiarowych, cztery razy w roku (w odstępach trzy miesięcznych): 1) powyżej składowisk odpadów; 2) poniżej składowisk odpadów. Poprawa jakości wód rzek San, Wisłok i Wisłoka związana może być ze zmniejszoną ilością odprowadzanych ścieków przemysłowych. Dalsza poprawa stanu wód jest możliwa poprzez modernizację zakładów przemysłowych.

Słowa kluczowe: analiza, zanieczyszczenia, wody powierzchniowe, zakłady przemysłowe, pomiary

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Galina Kalda, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, ul. Powstańców Warszawy 6, tel. +48 17 8651068, kaldagal@prz.edu.pl

² Ewa Skuba, Firma Pratt 8 Writney AeroPower Rzeszów

1. Wprowadzenie

Wody powierzchniowe stanowią ważny element środowiska. Ich obecność przyczynia się oraz pozwala zachować życie Ziemskie. Ważne znaczenie wód dostrzegano już w starożytnych kulturach. Asyryjczycy, Egipcjanie, Sumerowie posiadali świadomość jaką niosą zagrożenia związane z manipulacją zasobów wodnych. Rozwój gospodarczy (głównie wzrost produkcji przemysłowej), urbanizacja oraz zwiększenie liczby ludności powoduje wzrastanie zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Głównymi przyczynami zanieczyszczenia wód powierzchniowych jest zawartość w nich specyficznych zanieczyszczeń pochodzenia chemicznego lub mikrobiologicznego. Zanieczyszczenia te przedostają się do wód wraz ze ściekami komunalnymi, przemysłowymi oraz za pomocą spływu z obszarów rolniczych i transportu drogowego. Zakłady przemysłowe w dużym stopniu wpływają na jakość wód powierzchniowych. Liczne zanieczyszczenia pochodzenia przemysłowego powstają w trakcie wydobywania i eksploatacji surowców, podczas chłodzenia urządzeń lub filtracji. Skład oraz rodzaj zanieczyszczeń zależy od rodzaju produkcji przemysłowej. Stały wzrost zanieczyszczenia wód powierzchniowych zmuszą do wdrażania działań, mających na celu przywrócenie naturalnego składu wód oraz zapobiegania dalszemu ich zanieczyszczeniu.

2. Analiza zanieczyszczenia wód powierzchniowych na terenie województwa podkarpackiego

Największymi rzekami występującymi na Podkarpaciu są San, Wisłok i Wisłoka. Oprócz rzek ważną rolę w sieci hydrograficznej posiadają sztuczne zbiorniki. Na terenie województwa podkarpackiego znajduje się największy akwen, którym jest Zalew Soliński. Posiada on powierzchnię 21,1 km² oraz największą występującą na obszarze Polski zaporę betonową o wysokości 82 m. Oprócz Zalewu Solińskiego na Podkarpaciu znajduje się także Zalew Myczkowski, Besko w Sieniawie, zbiornik Wilcza Wola oraz zbiornik Ożanna.

Ważną rolę w gospodarce województwa podkarpackiego odgrywa przemysł. Największe znaczenie wśród gałęzi przemysłu posiada przemysł lotniczy, elektromaszynowy, spożywczy i chemiczny. Pozostałe liczące się gałęzie przemysłu - to przemysł szklarski, materiałów budowlanych i przemysł drzewny. Największe ośrodki przemysłowe zlokalizowane są w miastach Jasło, Krosno, Sanok, Rzeszów, Dębica, Łańcut, Mielec, Tarnobrzeg, Stalowa Wola i Kolbuszowa.

Analiza zanieczyszczenia wód powierzchniowych została przeprowadzona pod względem stanu czystości wód trzech największych rzek, występujących na obszarze województwa podkarpackiego. Ocenę zanieczyszczenia rzek przeprowadzono na odcinkach, zlokalizowanych w bliskiej odległości zakładów prze-

mysłowych, wprowadzających ścieki przemysłowe bezpośrednio do danych rzek.

Stan ekologiczny rzek San, Wiśłok i Wiślaka określono na podstawie wskaźników biologicznych, fizykochemicznych i hydromorfologicznych. Za pomocą wartości danych wskaźników, rzeki zakwalifikowano poprzez nadanie im jednej z pięciu klas czystości. Potencjał ekologiczny nadano badanym wodom powierzchniowym na podstawie elementów biologicznych, fizykochemicznych i hydromorfologicznych. Polegał on na przydzieleniu wód do jednej z pięciu klas potencjału ekologicznego. Sposób klasyfikacji przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Zależność stanu od potencjału ekologicznego (opracowanie własne)

Table 1. Condition-dependence of ecological potential (own work)

Stan/Potencjał ekologiczny		
Stan ekologiczny		Potencjał ekologiczny (silnie zmienione)
Bardzo dobry	stan bardzo dobry / potencjał maksymalny	Dobry i powyżej dobrego
Dobry	stan dobry / potencjał dobry	
Umiarkowany	stan umiarkowany / potencjał umiarkowany	Umiarkowany
Słaby	stan słaby / potencjał słaby	Słaby
Zły	stan zły / potencjał zły	Zły

Analizując zanieczyszczenia wód rzek San, Wiśłok i Wiślaka brano pod uwagę:

- elementy biologiczne: fitoplankton, fitobentos, makrobezkręgowce bentosowe, makrofity i ichtiofauna;
- elementy fizykochemiczne: temperatura, zawiesina ogólna, tlen rozpuszczony, BZT₅, przewodność, chlorki, odczyn, ChZTcr, azot Kjeldahla, azot ogólny, fosforany, fosfor ogólny, zasadowość ogólna i ChZT-Mn;
- specyficzne zanieczyszczenia syntetyczne i niesyntetyczne: arsen, bar, cynk, miedź, chrom, węglowodory ropopochodne;
- substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska: kadm, ołów, rtęć, nikiel, endosulfan, nonylofenol, benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten.

Analizując zanieczyszczenia wody powierzchniowej, znajdującej się w pobliżu składowiska odpadów przemysłowych, brano pod uwagę elementy fizykochemiczne: odczyn, fenole, CHZTcr, przewodność i siarczany.

2.1. Analiza zanieczyszczenia wód powierzchniowych ze względu na ścieki odprowadzane z zakładów przemysłowych

Województwo podkarpackie należy do jednego z najmniej uprzemysłowionych województw, znajdujących się na terenie Polski. Na terenie województwa możemy spotkać jednak zakłady przemysłowe, które znacząco wpływają na za-

nieczyszczenia wód powierzchniowych substancjami mającymi charakter szczególnie szkodliwy dla środowiska. Największa ilość zakładów przemysłowych, mająca wpływ na wody powierzchniowe, zlokalizowana jest w rejonach Jasła, Strzyżowa, Przecławia oraz Nowej Szarzyny. W rejonach tych przepływają największe rzeki występujące w województwie podkarpackim. Rzeki są podstawowym źródłem wody na terenie województwa. W 85% stanowią pokrycie zapotrzebowania na wodę dla całego województwa. Wisłoka, Wisłok i San są również najważniejszymi zbiornikami wód powierzchniowych, stanowiącymi zapotrzebowanie na wodę dla największych miast województwa podkarpackiego: Rzeszowa, Przemyśla, Krosna, Jasła, Jarosławia, Dębicy i Sanoka.

Jedną z przyczyn zanieczyszczenia wód na terenie województwa podkarpackiego są zakłady przemysłowe, odprowadzające ścieki przemysłowe za pomocą własnego systemu kanalizacyjnego. Na terenie województwa, według danych z 2015 roku, znajduje się 41 zakład przemysłowy, które odprowadzają ścieki przemysłowe w ten sposób.

Zakłady przemysłowe wraz z nazwą odbiornika, do którego zrucane są ścieki przemysłowe na terenie województwa podkarpackiego: Lotos Jasło S.A.: Wisłoka; Euro-Eko MEDIA Sp. z o.o. w Mielcu: Potok Rów; Rafineria Nafty Jedlicze S.A., Jasiołka; Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Rzeszowie, Lubcza; Paged Meble S.A. w Sędziszowie Małopolskim, Budzisz; Spółdzielnia mleczarska MLEKOVITA oddział RESMLECZ w Trzebownisku, Wisłok; Saria Polska Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie oddział w Przewrotnem, Łęg; Tikkurila Polska Spółka Akcyjna w Dębicy, Potok Gawrzyłowski; LERG S.A. w Pustkowie, Wielopolka; Zakład Rolniczo-Przemysłowy, Jerzy Furman, Wiesław Gawęł, Paweł Furman, Grzegorz Gawęł w Wysokiej Głogowskiej, Szuwaraka; Przedsiębiorstwo Produkcyjne Handlu i Usług KABANOSPOL Sp. z o.o., Brzeźnica; FENICE POLAND Sp. z o.o. w Bielsku Białej – Jednostka Operatywna Rzeszów, Wisłok; SOLBET KOLBUSZOWA S.A. Zakład w Głogowie Małopolskim, Potok Wiśniówka; Zakłady Mięsne HERMAN Sp. z o.o., Dopływ spod Kamieńca; Okręgowa Spółdzielnia Mleczarska w Sanoku, San; SUDZUCKER POLSKA S.A. we Wrocławiu, Zakład Produkcyjny CUKROWNIA ROPCZYCE w Ropczycach, Dopływ z Wiktorca; Uzdrowisko Horyniec Sp. z o.o., Potok Papiernia; Zakład Mięsny DOBROWOLSCY Sp. z o.o. w Wadowicach Górnych, Potok Wadowicki; NESTLE Polska S.A. w Warszawie – oddział w Rzeszowie, Wisłok i inne.

Powyżej wymienione zakłady przemysłowe reprezentują różne branże produkcji. Rodzaj przemysłu wpływa na skład ścieków przemysłowych odprowadzanych do wód powierzchniowych.

Przemysł spożywczy reprezentowany jest przez dziewięć zakładów przemysłowych. Wśród dziewięciu zakładów, trzy zajmują się wyrobem produktów mlecznych. Ścieki mleczarskie zawierają związki organiczne, które podczas rozkładu mogą przyczynić się do całkowitego zaniku tlenu na odcinku

danej rzeki. W przypadku zbyt dużej emisji ścieków mleczarskich, odbiornik może utracić swoją przydatność do celów bytowo-gospodarczych [1].

Przemysł energetyczny reprezentują dwa zakłady: FENICE POLAND Sp. z o.o. w Bielsku Białej - Jednostka Operatywna Rzeszów i TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna - Oddział Elektrownia Stalowa Wola w Stalowej Woli. Głównym zadaniem tej branży przemysłu jest wytwarzanie i dystrybucja energii cieplnej oraz elektrycznej. Ściekami przemysłowymi wytwarzanymi w danych zakładach są np. wtórne wody chłodnicze. Wody te niejednokrotnie posiadają temperaturę powyżej 26°C. Temperatura ta wykracza ponad dopuszczalną klasę czystości dla wód powierzchniowych.

Przemysł chemiczny również reprezentują dwa zakłady przemysłowe: Zakłady Chemiczne Siarkopol Tarnobrzeg Sp. z o.o. i Tikkurila Polska Spółka Akcyjna w Dębicy. Ścieki przemysłowe, pochodzące z tych zakładów, charakteryzują się różnorodnym składem pod względem zawartości zanieczyszczeń. Ścieki mogą zawierać nawozy sztuczne, tworzywa sztuczne, włókna chemiczne. Duża ilość zanieczyszczeń zawartych w ściekach przemysłowych, odprowadzanych z zakładów chemicznych, nie ulega biochemicznemu rozkładowi bądź rozkład tych substancji zachodzi bardzo powoli [1].

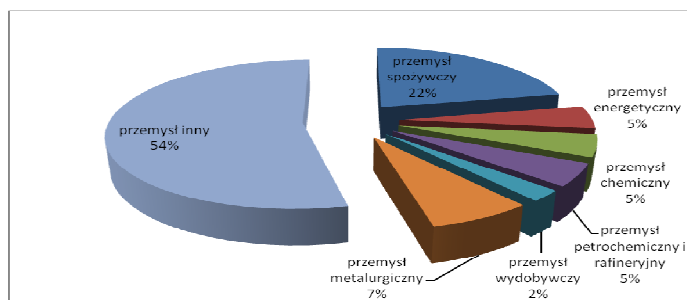
Przemysł petrochemiczny i rafineryjny reprezentowany jest przez dwa zakłady przemysłowe, odprowadzające ścieki za pomocą własnego systemu kanalizacyjnego. Zakładami tymi są Rafineria Nafty Jedlicze S.A. i Lotos Jasło S.A. Przemysł ten wytwarza dużą ilość ścieków zawierających zanieczyszczenia negatywnie wpływające na środowisko wodne. Skład ścieków zależy od etapu procesu. Podczas odsalania ropy powstałe ścieki w swoim składzie zawierają dużą ilość H₂S, fenoli, zawiesin oraz soli.

Przemysł metalurgiczny reprezentowany jest przez trzy zakłady: Nowy Styl Sp. z o.o. Zakład Produkcji Metalowej w Jasle, Koelner Łańcucka Fabryka Śrub SP. z o.o. w Łańcucie i Huta Stalowa Wola – Wodociągi Sp. z o.o.. Ścieki przemysłowe, odprowadzane z danych zakładów, charakteryzują się zanieczyszczeniami typu: metale ciężkie, oleje, smary, substancje toksyczne. Ścieki przemysłowe posiadają również dużą ilość zawiesin. W wodach powierzchniowych stanowiących odbiornik ścieków pochodzących z hut następuje odkładanie złogi osadów dennych. Sytuacja taka prowadzi do wyniszczenia fauny dennej [1].

Wśród czterdziestu jeden zakładów przemysłowych, dziewięć reprezentuje przemysł spożywczy, dwa - przemysł energetyczny, dwa - przemysł chemiczny, dwa - przemysł petrochemiczny i rafineryjny, jeden - przemysł wydobywczy, trzy - przemysł metalurgiczny (pozostałe zakłady – przemysł inny). Procentowy udział poszczególnych branż przemysłu działających na terenie województwa podkarpackiego przedstawia rys. 1.

Powiatem, gdzie wytwarzana jest największa ilość ścieków pochodzenia przemysłowego, jest powiat tarnobrzeski. Bardzo duża ilość ścieków przemysłowych powstaje w miastach, takich jak Stalowa Wola, Tarnobrzeg, Dębica, Rzeszów, Jasło. W 2014 r. zakłady przemysłowe do wód powierzchniowych od-

prowadziły około 19,7 hm³ ścieków przemysłowych. Ilość odprowadzonych ścieków w 2013 r. wyniosła 17,2 hm³. Różnica między 2015 a 2014 rokiem pod względem ilości ścieków, odprowadzanych przez zakłady przemysłowe wyniosła więc 12,7%. Wartości te świadczą więc o tendencji spadkowej. Największe spadki w zakresie odprowadzania ścieków przemysłowych do wód powierzchniowych w roku 2015 względem roku 2014 odnotowano w powiecie tarnobrzeskim oraz w miastach, takich jak Dębica, Tarnobrzeg, Jasło. Sytuacja odwrotna miała miejsce w Stalowej Woli, gdzie głównymi zakładami przemysłowymi wpływającymi na ilość odprowadzanych zanieczyszczeń przemysłowych do wód był zakład Huta Stalowa Wola–Wodociągi Sp. z o.o. oraz TAURON Wytwarzanie S.A.–Oddział Elektrownia Stalowa Wola. W pozostałych miastach nie wystąpiły znaczące zmiany w zakresie ilości ścieków przemysłowych wprowadzonych do wód powierzchniowych.



Rys. 1. Procentowy udział poszczególnych branży produkcji występujących w zakładach przemysłowych na terenie województwa podkarpackiego

Fig. 1. The percentage of particular production lines in the industrial plants operating in the Podkarpackie Voivodeship

2.1.1. Analiza zanieczyszczenia rzeki San

Rzeka San jest jedną z największych rzek karpaccich. Długość jej wynosi 443,4 km, powierzchnia całkowita 16,9 tys. km². Na terytorium Polski San rozpoczyna swój bieg od górzystych obszarów bieszczadzskich, następnie wpływa do zalewu solińskiego. Kolejnymi etapami biegu rzeki są Kotlina Sanocka, Pogórze Dynowskie, Kotlina Sandomierska. Ujście Sanu znajduje się w widłach Wisły. Głównymi dopływami rzeki San są Wisłok, Sanoczek, Wołosaty, Solinka, Osława. Obszar zlewni San obejmuje miasta, do których zaliczyć możemy między innymi Lesko, Sanok, Przemyśl, Zagórz, Dynów, Radymno, Jarosław, Leżajsk, Cieszanów, Stalowa Wola [2].

Rzeka San jest odbiornikiem ścieków przemysłowych pochodzących z zakładów Okręgowa Spółdzielnia Mleczarska w Sanoku, Sanockie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o., Sanockie Zakłady Przemysłu Gumo-

wego Stomil Sanok S.A., TAURON Wytwarzanie S.A. – Oddział Elektrownia Stalowa Wola, Huta Stalowa Wola–Wodociągi Sp. z o.o.

Analiza zanieczyszczenia rzeki San została więc przeprowadzona na dwóch jej odcinkach, w okolicach których znajdują się wyżej wymienione zakłady przemysłowe:

- okolice Sanoka (San od zbiornika Myczkowce do Tyrawki),
- okolice Stalowej Woli (San od Rudni do ujścia).

Na terenie Sanoka znajdują się trzy zakłady przemysłowe, odprowadzające ścieki przemysłowe do rzeki San. Rocznie z tych zakładów do Sanu odprowadzanych jest około 255930 m³ ścieków przemysłowych. W okolicach Stalowej Woli działają dwa zakłady odprowadzające ścieki przemysłowe do rzeki. Ilość ścieków odprowadzanych do Sanu wynosi tutaj 52376 m³/rok.

Na podstawie badań wynika, że rzeka San w 2014 r. na odcinku San od zbiornika Myczkowce do Tyrawki pod względem elementów fizykochemicznych posiadała I klasę czystości wód. Woda ta posiadała więc bardzo dobry potencjał ekologiczny. Pod względem występujących w wodzie specyficznych zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych również uplasowała się w I klasie czystości wód. Sytuacja odwrotna miała miejsce pod względem substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska. W tym przypadku doszło do przekroczenia powyżej dopuszczalnej normy dwóch substancji: kadmu i rtęci. Woda ta posiadała więc zły stan wód pod względem chemicznym. Zwiększona zawartość kadmu i rtęci w wodzie mogła być spowodowana bliskim sąsiedztwem zakładów przemysłowych, w tym w szczególności zakładu Sanockie Zakłady Przemysłu Gumowego Stomil Sanok S.A.

W 2015 r. rzeka San w okolicach Sanoka na odcinku od Zbiornika Myczkowce do Tyrawki ze względu na elementy fizykochemiczne posiadała II klasę czystości. Przydział wody do tej klasy spowodowany był podwyższoną zawartością zawiesiny ogólnej. San w okolicach Sanoka posiadał więc dobry i powyżej dobrego potencjał ekologiczny. Pod względem zawartości specyficznych substancji syntetycznych i niesyntetycznych oraz substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska nie stwierdzono przekroczenia normowego. Rzeka posiadała więc dobry stan chemiczny.

2.1.2. Analiza zanieczyszczenia rzeki Wisłoka

Rzeka Wisłoka należy do jednej z największych rzek Podkarpacia. Posiada długość 163,6 km i powierzchnię zlewni 4110,2 km². Jej początek ma miejsce w Beskidzie Niskim. Etapami przepływu Wisłoka są Pogórze Jasielskie, Kotlina Jasielsko–Krośnieńska, Pogórze Strzyżowskie, Pogórze Ciężkowickie, Kotlina Sandomierska. Zakończenie biegu rzeki ma miejsce w okolicach Gawłuszowic. Głównymi dopływami Wisłoka są Ropa, Grawinka, Stary Breń (dopływ lewostronny), Jasiołka, Tuszymka, Brzeźnica (dopływ prawostronny) [2].

Rzeka Wisłoka stanowi bezpośredni odbiornik ścieków przemysłowych pochodzących z zakładów: Firma Oponiarska S.A. w Dębicy; Wodociągi Dębickie Sp. z o.o.; Wytwórnia Urządzeń Chłodniczych PZL – Dębica S.A.; LOTOS Jasło S.A.; Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w Jasle; Zakłady Tworzyw Sztucznych GAMRAT S.A..

Analiza zanieczyszczenia rzeki Wisłoka została więc przeprowadzona na trzech jej odcinkach, gdzie znajdują się wyżej wymienione zakłady przemysłowe: okolice Dębicy (Wisłoka od Pot. Chotowskiego do Rzeki); okolice Jasła (Wisłoka od Dębownicy do Ropy); okolice Gamratu (Wisłoka od Ropy do do Pot. Chotowskiego).

Na terenie miasta Dębica działają trzy zakłady przemysłowe, odprowadzające ścieki pochodzenia przemysłowego do Wisłoka. Rocznie zakłady te odprowadzają do rzeki około 1621526 m³ ścieków. Ilość ścieków przemysłowych odprowadzanych do Wisłoka z dwóch zakładów przemysłowych znajdujących się w Jasle wynosi około 855654 m³/rok. Zakład Tworzyw Sztucznych GAMRAT S.A. odprowadza 393820 m³/rok ścieków przemysłowych do rzeki. W odprowadzanych ściekach znajdują się substancję szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego.

W 2013 r. analizę zanieczyszczenia wód powierzchniowych rzeki Wisłoka przeprowadzono na dwóch jej odcinkach: w okolicach Dębicy na odcinku od Potoka Chotowskiego do Rzeki oraz w okolicach Jasła na odcinku od Dębownicy do Ropy. Pod względem elementów biologicznych, rzeka Wisłoka w okolicach Dębicy posiadała II klasę czystości wód (podwyższona zawartość fitobentosu). II klasę czystości przyznano wodzie również ze względu na elementy fizykochemiczne (podwyższona zawartość BZT₅ oraz ChZT-Mn). Woda posiadała więc potencjał ekologiczny dobry i powyżej dobrego. Pod względem elementów fizykochemicznych, odcinek rzeki Wisłoka w okolicach Jasła posiadał I klasę czystości. Rzeka charakteryzowała się więc bardzo dobrym potencjałem ekologicznym. Na odcinku rzeki Wisłoka w okolicach Dębicy w 2015 r. nie prowadzono badań dotyczących występowania w wodzie specyficznych zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych oraz substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska. Stan chemiczny wody nie możemy więc określić. W przypadku Wisłoka w okolicach Jasła na odcinku od Dębownicy do Ropy zawartość w wodzie wszystkich analizowanych specyficznych zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych mieściła się w granicy odpowiadającej I klasie czystości wód. Pod względem zawartości w wodzie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska stwierdzono przekroczenie dopuszczalnej normy pod względem zawartości kadmu. Stan chemiczny tego odcinka rzeki Wisłoka był zły.

W 2014 r. analizę zanieczyszczenia wód powierzchniowych rzeki Wisłoka przeprowadzono na trzech jej odcinkach: w okolicy Dębicy na odcinku od Potoka Chotowskiego do Rzeki, w okolicach Jasła na odcinku od Dębownicy do Ropy oraz w okolicach Gamratu na odcinku od Ropy do Potoku Chotowskiego. Na

odcinku Wisłoka w okolicach Dębicy, pod względem elementów fizykochemicznych, rzeka została przydzielona do II klasy czystości wód. O tym stanie zdecydowała podwyższona zawartość dwóch wskaźników: BZT₅ oraz Azot Kjeldahla. Potencjał wody był więc dobry i powyżej dobrego. W okolicy Jasła zarówno pod względem elementów biologicznych jak i fizykochemicznych, rzeka posiadała I klasę czystości wód. Potencjał tego odcinka Wisłoka był bardzo dobry. Na odcinku od Ropy do Potoku Chotowskiego w okolicach Gamratu, ze względu na elementy biologiczne, rzeka posiadała III klasę czystości wód (przekroczona zawartość makrolitów). Dwa wskaźniki, wchodzące w skład analizowanych elementów fizykochemicznych, zdecydowały o II klasie czystości wody pod tym względem. Wskaźnikami tymi było BZT₅ i zasadowość ogólna. Potencjał wody na tym odcinku był więc umiarkowany. Ze względu na specyficzne zanieczyszczenia syntetyczne i niesyntetyczne, występujące w rzece w okolicach Dębicy, wodę zakwalifikowano do I klasy czystości. Pod względem substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska, stwierdzono przekroczenie w zawartości kadmu. Stan chemiczny wód był więc zły. W okolicach Jasła na odcinku rzeki Wisłoka, wszystkie badane parametry wchodzące zarówno w skład specyficznych zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych jak i substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska spełniały wymogi dotyczące I klasy czystości wód [3]. Skład chemiczny tego odcinka rzeki był więc dobry. W przypadku odcinka Wisłoka w okolicach Gamratu pod względem zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych woda posiadała II klasę czystości (podwyższona zawartość węglowodorów ropopochodnych). Nie stwierdzono w wodzie przekroczeń dotyczący zawartości substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska. Stan chemiczny wód był dobry.

W 2015 r. analizę zanieczyszczenia Wisłoka przeprowadzono na dwóch odcinkach: w okolicach Dębicy na odcinku od Potoku Chotowskiego do Rzeki oraz w okolicach Jasła na odcinku od Dębownicy do Ropy. W okolicach Gamratu w 2015 r. ocena zanieczyszczenia odcinka rzeki Wisłoka została dziedziczona z roku 2014. Odcinek Wisłoka w okolicach Dębicy pod względem elementów biologicznych spełniał kryteria II klasy czystości wody (podwyższona zawartość fitobentosu). II klasę woda otrzymała również na podstawie zawartości elementów fizykochemicznych. W tym przypadku stwierdzono podwyższoną zawartość zawiesiny ogólnej i azotu Kjeldahla. Potencjał ekologiczny wody był więc dobry i powyżej dobrego. Wisłoka w okolicach Jasła posiadała I klasę czystości ze względu na zawartość elementów biologicznych. Pod względem elementów fizykochemicznych, odcinek Wisłoka posiadał II klasę czystości wód (podwyższona zawartość zawiesiny ogólnej).

2.1.3. Analiza zanieczyszczenia rzeki Wisłok

Rzeka Wisłok stanowi największy dopływ rzeki San. Długość jej wynosi 204,9 km, powierzchnia zlewni 3528,2 km². Początek Wisłoka znajduje się na

granicy Słowacji. Kolejne etapy przepływu rzeki - to Pogórze Bukowskie, zbiornik wodny Besko, Kotlina Jasielsko-Krośnieńska, Pogórze Strzyżowskie, Pogórze Dynowskie, Podgórze Rzeszowskie. Wisłoka uchodzi do rzeki San w okolicach Dębna. Do największych dopływów Wisłoka zaliczamy rzekę Morwawa (dopływ lewobrzeżny) oraz reki Stobnica i Mlecza (dopływ prawobrzeżny) [3].

Rzeka Wisłok stanowi bezpośredni odbiornik ścieków przemysłowych pochodzących z zakładów: Nestle Polska Spółka Akcyjna w Warszawie – oddział w Rzeszowie; Koelner Łańcucka Fabryka Śrub Sp. z o.o. w Łańcucie; Spółdzielnia Mleczarska Mlekovita, oddział Resmlecz w Trzebownisku; FENICE POLAND Sp. z o.o. w Bielsku Białej – Jednostka Operatywna Rzeszów; Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Krośnieński Holding Komunalny Sp. z o.o. w Krośnie.

Analiza zanieczyszczenia rzeki Wisłok została przeprowadzona na trzech jej odcinkach, gdzie znajdują się wyżej wymienione zakłady przemysłowe: okolice Rzeszowa (Wisłok od Zb. Rzeszów do Starego Wisłoka); okolice Łańcuta (Wisłok od Starego Wisłoka do ujścia); okolice Krosna (Wisłok od Zb. Besko do Czarnego Potoku).

W 2013 r. analizę zanieczyszczenia wód powierzchniowych rzeki Wisłok przeprowadzono na odcinku Wisłok od Zbiornika Besko do Czarnego Potoku w okolicach Krosna. Pod względem elementów fizykochemicznych, analizowana woda mieściła się w I klasie czystości wód. Potencjał ekologiczny wody na danym odcinku rzeki był więc dobry i powyżej dobrego. Ze względu na specyficzne zanieczyszczenia syntetyczne i niesyntetyczne, nie stwierdzono również żadnych przekroczeń w zawartości w wodzie. Woda posiadała I klasę czystości. Sytuacja odwrotna miała miejsce pod względem zawartości substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska. Stwierdzono tutaj przekrozoną zawartość ponad dopuszczalne normy dwóch substancji: kadmu i rtęci. Sytuacja ta spowodowała, że stan chemiczny wód był zły.

W 2014 r. analiza zanieczyszczenia rzeki Wisłok została przeprowadzona na trzech jej odcinkach: w okolicach Rzeszowa na odcinku Wisłok od Zbiornika Rzeszów do Starego Wisłoka, w okolicach Łańcuta na odcinku Wisłok od Starego Wisłoka do ujścia oraz w okolicach Krosna na odcinku Wisłok od Zbiornika Besko do Czarnego Potoku. Pod względem zawartości elementów biologicznych, odcinek rzeki Wisłok w okolicach Rzeszowa otrzymał II klasę czystości wód (przekroczona zawartość Fitobentos). Klasę II posiadała również woda na tym odcinku pod względem zawartości elementów fizykochemicznych. W tym przypadku doszło do przekroczenia trzech czynników: BZT₅, azotu Kjeldahla i zasadowości ogólnej. Potencjał ekologiczny wody był więc dobry i powyżej dobrego. Odcinek rzeki Wisłok w okolicach Łańcuta pod względem zawartości elementów biologicznych, otrzymał III klasę czystości wód. O umieszczeniu wody w tej klasie zdecydowały dwa elementy: Fitobentos i Makrobezkręgowce bentosowe. Ze względu na elementy fizykochemiczne, woda na odcinku rzeki

uzyskała II klasę czystości wód (przekroczona zawartość BZT₅, azotu Kjeldahla i zasadowości ogólnej). Potencjał ekologiczny wody był więc umiarkowany. Odcinek rzeki Wisłok w okolicach Krosna zarówno pod względem zawartości elementów biologicznych jak i zawartości elementów fizykochemicznych, posiadał II klasę czystości wód. W pierwszym przypadku doszło do przekroczenia: Fitobentosu, Makrofitów i Ichtiofauny. Drugi przypadek był spowodowany zwiększoną zawartością zasadowości ogólnej. Woda posiadała więc potencjał ekologiczny dobry i powyżej dobrego. Na odcinku rzeki Wisłoka w okolicach Rzeszowa nie przeprowadzono analizy chemicznej wód. Pod względem zawartości specyficznych zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych, analizowana woda w okolicach Łańcuta wykazała II klasę czystości wód (przekroczona zawartość węglowodorów ropopochodnych). Ze względu na zawartość substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska, nie stwierdzono dopuszczalnych przekroczeń. Stan chemiczny wody był więc dobry. Taka sama sytuacja zarówno pod względem zawartości specyficznych zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych, jak i substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska, miała miejsce na odcinku Wisłok od Zbiornika Besko do Czarnego Potoku w okolicach Krosna. Woda tam posiadała więc również dobry stan chemiczny.

W 2015 r. analiza zanieczyszczenia wody powierzchniowej rzeki Wisłok została przeprowadzona na odcinku Wisłok od Zbiornika Besko do Czarnego Potoku w okolicach Krosna. Na pozostałych dwóch odcinkach analiza zanieczyszczenia wód została dziedziczona z 2014 r. Odcinek rzeki Wisłok w okolicach Krosna był badany tylko pod względem elementów fizykochemicznych. Analiza wyników wykazała, że nie doszło do żadnego przekroczenia danych elementów wobec dopuszczalnej normy. Stan chemiczny wody był dobry.

2.2. Analiza zanieczyszczenia wód powierzchniowych ze względu na środowiska odpadów przemysłowych

W 2014 r. na terenie województwa podkarpackiego wytworzono 2 093,7 tys. mg odpadów pochodzenia przemysłowego. Województwo znalazło się na 10 miejscu w skali kraju pod względem ilości wytworzonych odpadów przemysłowych [4]. Województwo podkarpackie zajmowało w 2013 r. ostatnie miejsce pod względem wskaźnika ilości wytworzonych odpadów. Odpady przemysłowe z terenów województwa stanowiły zaledwie 0,93% wszystkich odpadów wytworzonych w 2013 r. w skali państwa. W 2014 r. najwięcej odpadów przemysłowych powstało w powiecie dębickim, stalowowolskim, mieleckim i rzeszowskim (w tym w mieście Rzeszów). Odpady pochodzące z zakładów przemysłowych zostały poddane w największej mierze odzyskowi – 94,8%. Ilość odpadów składowanych na składowiskach własnych i innych wyniosła 1,8%.

Na terenie województwa podkarpackiego w 2014 r. znajdowało się 7 składowisk odpadów, przyjmujących odpady pochodzące z zakładów przemysłowych. Do składowisk tych zaliczamy: Składowisko odpadów ZTS Gamrat

S.A.; Składowisko odpadów niebezpiecznych Polimex Mostostal S.A. Warszawa, Zakład Zabezpieczeń Antykorozyjnych Z3D - Ocynkownia Dębica; Zakładowe Składowisko Odpadów w Pustkowie (Składowisko odpadów – sektor A i B); Składowisko Odpadów Przemysłowych w Mielcu; Składowisko odpadów przemysłowych Lotos JASŁO S.A.; Składowisko odpadów przemysłowych w Jeziórku.

Składowisko odpadów ZTS Gamrat S.A. zlokalizowane jest na terenie Zakładu Tworzyw Sztucznych Gamrat S.A. Składowisko to jest wykorzystywane od 1987 r.

Ocenę wód powierzchniowych, znajdujących się w okolicach Składowiska odpadów ZTS Gamrat S.A. pod względem klas czystości dokonano na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U.2011.257.1545). Wody powierzchniowe występujące w okolicach składowiska odpadów przemysłowych (poniżej oraz powyżej składowiska) w latach 2013-2015 pod względem zawartości siarczanów oraz wartości odczynu pH zostały sklasyfikowane do I klasy czystości. Przewodność oraz ilość zawartych w wodzie fenoli wykazują, że badana woda mieści się w II klasie czystości. Wyjątek stanowi próbka badanej wody poniżej składowiska odpadów zmierzona w marcu 2013 r., w której wskaźnik przewodności odpowiadał I klasie czystości wody. Ze względu na ChZTcr wszystkie badane próbki wód powierzchniowych zakwalifikowano do III–V klasy czystości. Klasy tej nie możemy dokładnie określić, gdyż w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku nie jest ona sprecyzowana. Ponieważ o rocznej ocenie wód decyduje wskaźnik o najgorszym wyniku, woda powierzchniowa występująca w pobliżu składowiska odpadów przemysłowych (powyżej i poniżej składowiska odpadów przemysłowych) została sklasyfikowana od III do V klasy czystości. Jest to więc woda zanieczyszczona, poniżej stanu/potencjału dobrego.

Można stwierdzić że największą wartością wskaźnika odczynu pH charakteryzowały się trzy próbki wody powierzchniowej pobrane w czerwcu, wrześniu i grudniu 2013 r. powyżej składowiska odpadów przemysłowych oraz woda pobrana w czerwcu 2013 r. również powyżej składowiska odpadów. Najniższa wartość odczynu pH wystąpiła w wodzie pobranej we wrześniu 2013 r. poniżej składowiska odpadów i wyniosła ona 7,7.

Ze względu na zawartość w wodzie fenoli widać wyraźną różnicę pomiędzy zawartością danego wskaźnika w wodzie powierzchniowej występującej powyżej składowiska odpadów przemysłowych, pobranej w marcu 2013 r., która wyniosła 0,021 mg/l, a wskaźnikiem fenoli w pozostałych mierzonych próbkach wód.

W badanej wodzie powierzchniowej stwierdzono, że największy wskaźnik zawartości ChZTcr wystąpił w czerwcu 2013 r. i wyniósł on 117,50 mg/l. Próbką wody powierzchniowej została pobrana z punktu pomiarowego występujące-

go poniżej składowiska odpadów przemysłowych. Najniższą zawartość ChZTcr charakteryzowała się woda powierzchniowa pobrana z punktu znajdującego się powyżej składowiska odpadów w grudniu 2014 r. i wyniosła ona 21,50 mg/l. Podobna zawartość ChZTcr wystąpiła w wodzie pobranej z punktu poniżej składowiska odpadów w grudniu 2015 r. Wyniosła ona 22 mg/l [5].

Pod względem wskaźnika przewodności wszystkie badane próbki wody powierzchniowej posiadały podobną wartość. Wartość ta oscylowała w granicach 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Ze względu na zawartość w badanej wodzie powierzchniowej siarczanów możemy stwierdzić, że największe stężenie tego wskaźnika miało miejsce w wodzie pobranej z punktu poniżej składowiska odpadów przemysłowych w marcu 2013 r. i wyniosło 66,8 mg/l. Najniższy wskaźnik siarczanów odnotowano w wodzie pobranej powyżej składowiska odpadów w czerwcu 2015 r. Wyniósł on 32,50 mg/l.

3. Podsumowanie

Wyniki analiz biologicznych, fizykochemicznych i chemicznych wykazały, że w 2013 r. zdecydowana większość wód badanych odcinków rzek San, Wisłok i Wisłoka była silnie zanieczyszczona. Wody te nie nadawały się do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do picia (wyjątek stanowił odcinek Wisłoka od Potoku Chotowskiego do Rzeki – okolice Dębicy).

W 2014 r. analiza zanieczyszczenia wód na siedmiu odcinkach rzek wykazała, że wody te mogą być wykorzystane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do picia (wyjątek - odcinek Wisłoka od Potoku Chotowskiego do Rzeki). Stan wód poprawił się.

Wszystkie analizowane odcinki wód rzek San, Wisłok i Wisłoka w 2015 r. wykazały, że wody te mogą być wykorzystane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do picia. Jakość wód była dobra.

Woda powierzchniowa zlokalizowana w pobliżu składowiska odpadów ZTS Gamrat S.A. zarówno w 2013, 2014 i 2015 roku była wodą pozaklasową, nie nadającą się do spożycia.

Poprawa jakości wód rzek San, Wisłok i Wisłoka związana może być ze zmniejszoną ilością odprowadzanych ścieków przemysłowych. Dalsza poprawa stanu wód jest możliwa poprzez modernizację zakładów przemysłowych.

Literatura

- [1] Berkowska E., Jeziorski J., Kijak R., Sobolewski M. Zanieczyszczenie wód w Polsce, Biuro Studiów i Ekspertyz, 2010.
- [2] Liszka-Skoczylas M. Wskaźniki tlenowe. Chemiczne zapotrzebowanie tlenu. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, 2010.
- [3] Kajak Z. Hydrobiologia – Limnologia, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998.

- [4] Zarząd Powiatu Jasielskiego: Plan Gospodarki Odpadami dla Powiatu Jasielskiego na lata 2004–2015, Jasło, 2004.
- [5] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie: Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2015 roku.

THE ANALYSIS OF SURFACE WATERS CONTAMINATION BY INDUSTRIAL WASTES PRODUCED BY THE PLANTS OPERATING IN THE PODKARPACKIE VOIVODESHIP

Summary

The article has presented the analysis of surface waters contamination by industrial wastes produced by the major industrial plants operating in the Podkarpackie Voivodeship. It has been indicated that the main reason for the contamination of surface waters is the fact that they contain specific chemical and microbiological contamination. The analysis of the contamination of surface waters has been performed in reference to water purity of the three major rivers: the San, the Wisłok and the Wisłoka which can be found in the Podkarpackie region. The analysis has also been done on the basis of the purity of surface water located near industrial plants' wastes disposal. The ecological condition of the San, the Wisłok and the Wisłoka rivers has been assessed on the basis of biological physical-chemical and hydro-morphological indicators. The chemical condition of the tested surface waters has been specified on the basis of the calculations in reference to priority substances and other contaminants and substances especially harmful to water environment (specific synthetic and non-synthetic contaminants). In the case of greater number of measuring points, the worst result was taken into consideration. One of the reasons for surface waters contamination in the Podkarpackie region is the presence of industrial plants which dispose their wastes using their own sewerage system. Surface water monitoring in the disposal site has taken into account pH, electrical conductivity, phenols, sulfates and Chemical Oxygen Demand (using potassium dichromate) test. The watercourse tests have been done in two measuring points, four times in a year (every three months): 1) above the disposal sites; 2) below the disposal sites. The improvement of water purity of the San, the Wisłok and the Wisłoka rivers can be attributed to the diminished amount of disposed industrial effluents. Further improvement of water purity can be achieved by modernization of industrial plants.

Keywords: analysis, contaminants, surface waters, industrial plants, measurements

DOI:10.7862/rb.2016.270

Przesłano do redakcji: 03.09.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Katarzyna KLEMM¹

WYKORZYSTANIE WIĄZKI LASEROWEJ DO OKREŚLENIA PARAMETRÓW SZORSTKOŚCI PODŁOŻA I CIEPŁA JAWNEGO

Streszczenie W pracy przedstawiono procedurę wyznaczania podstawowych wielkości charakteryzujących lokalne warunki przepływu powietrza oraz turbulencji termicznej. Eksperyment został przeprowadzony w tunelu aerodynamicznym przy wykorzystaniu wąskiej wiązki światła laserowego. Przydatność tej metody w odniesieniu do badań modelowych potwierdzono między innymi w pracy Consortini [1], gdzie wykazano dużą wrażliwość wiązki w przypadku krótkich ścieżek. Analizie poddany został teren o wymiarach rzeczywistych 100x100m, na którym zlokalizowany był obiekt o kształcie walca o średnicy $\phi=10\text{m}$ i wysokości $h=10\text{m}$. Wiązka światła przebiegała prostopadle do osi tunelu. Pomiary prowadzono dla 11 ścieżek światła laserowego na wysokości $z=0,12\text{m}$, w odstępach $\Delta L=0,07\text{m}$, po stronie dowietrznej modelu. W wyniku przeprowadzonych pomiarów kąta wychylenia wiązki światła laserowego oraz jego fluktuacji możliwe było wyznaczenie głównych parametrów turbulencji tj. współczynnika struktury optycznej C_n^2 i skali wewnętrznej l_0 , a w dalszej kolejności dyssypacji energii kinetycznej turbulencji ϵ i współczynnika struktury termicznej C_T^2 . Wprowadzając dodatkowe pomiary prędkości na wysokości $z=0,12\text{m}$ możliwe stało się również oszacowanie szorstkości powierzchni terenu z_0 . Przeprowadzone badania wykazały, że nawet w przypadku pojedynczego obiektu obserwowane są zmiany podstawowych parametrów przepływu oraz ciepła.

Słowa kluczowe: badania modelowe, mikroklimat, turbulencja termiczna

1. Wprowadzenie

Wśród czynników kształtujących mikroklimat obszarów zabudowanych istotną rolę odgrywa zabudowa. Obecność budynków wpływa zarówno na przepływ powietrza, jak również na warunki termiczne, w tym na tworzenie miejskiej wyspy ciepła. Zróżnicowanie warunków mikroklimatu winno być uwzględnione w planowaniu przestrzennym miast. Aby możliwa była ocena

¹ Katarzyna Klemm, Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Zakład Gospodarki Przestrzennej i Geomatyki, Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź; tel. 426313512; katarzyna.klemm@p.lodz.pl

zmiennych warunków termicznych i wiatrowych potrzebne są szczegółowe dane. W praktyce pomiary podstawowych parametrów klimatycznych wykonywane są w kilku stacjach w obrębie miasta lub za pomocą badań pilotażowych. Nie odzwierciedlają zatem w pełni rzeczywistego zróżnicowania warunków mikroklimatu. W ostatnich latach podejmowane są próby wprowadzenia pewnych empirycznych klasyfikacji zabudowy określających podstawowe parametry wpływające na przepływ powietrza czy termikę, takich jak współczynnik widoczności nieba, współczynnik kanionu, współczynnik szorstkości podłoża. [2] W przypadku analiz dotyczących warunków termicznych miasta sytuacja staje się jeszcze bardziej skomplikowana. Pewnym rozwiązaniem mogą być metody scyntylicyjne, w których za pomocą wiązki światła laserowego określa się parametry turbulencji termicznej oraz wielkość ciepła jawnego emitowanego przez budynki. Jednak pomiary w skali rzeczywistej są kosztowne i czasochłonne. W pracy przedstawiono propozycję wykorzystania badań modelowych do określenia parametrów szorstkości podłoża, warunkujących przepływ powietrza oraz parametrów turbulencji termicznej.

2. Teoria

Z uwagi na zastosowanie wiązki światła laserowego do analizy przepływów turbulentnych, obserwowanych w obszarach zabudowanych (wywołanych zarówno czynnikami mechanicznymi jak i termicznymi), oparto się na teorii umożliwiającej oszacowanie strumienia pędu i Q_H . Odnosząc się do suchych warunków, mających miejsce w przypadku obszarów miejskich w niewielkim stopniu pokrytych roślinnością, bezwymiarowe zależności określające wielkość dysypacji ε i parametr struktury temperatury C_T można zapisać

$$\varepsilon = \frac{u_x^3}{\kappa(z-z_d)} \cdot \Phi_\varepsilon(\zeta) \quad (1)$$

$$C_T^2 = \frac{T_x^2}{[\kappa(z-z_d)]^{2/3}} \cdot \Phi_T(\zeta) \quad (2)$$

Powyższe równania wynikają z podobieństwa Monina – Obukhova i bezwymiarowych funkcji $\Phi_\varepsilon(\zeta)$ i $\Phi_T(\zeta)$, zależnych od $\zeta = (z - z_d)/z_L$

Długość Monina Obukhova z_L ma postać

$$z_L = \frac{u_x^2}{\kappa g} \cdot \frac{T}{T_x} \quad (3)$$

gdzie: T_x – skala temperatury [K],

κ – stała Kármána 0,4,

g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],

u_x – prędkość tarciowa [m/s].

$$T_x = -\frac{Q_H}{\rho c_p u_x} \quad (4)$$

gdzie: Q_H – ciepło jawne [W/m^2],
 ρ – gęstość powietrza [kg/m^3],
 c_p – ciepło właściwe [$\text{J}/(\text{K}\cdot\text{kg})$].

Wykorzystując zależność między wielkością dyssypacji ε a skalą wewnętrzną turbulencji l_o

$$\varepsilon^{2/3} = v_t^2 \left(\frac{7,4}{l_o}\right)^{8/3} \quad (5)$$

gdzie: ε – szybkość dyssypacji energii kinetycznej turbulencji [m^2/s^3],
 v_t – turbulentna lepkość kinematyczna [m^2/s],
 l_o – skala wewnętrzna turbulencji [m].

Równania (1) i (2) możemy zapisać w postaci

$$u_x^2 = v^2 \left(\frac{7,4}{l_o}\right)^{8/3} [\kappa(z - z_d)]^{2/3} \Phi_\varepsilon^{-2/3}(\zeta) \quad (6)$$

$$T_x^2 = C_T^2 [\kappa(z - z_d)]^{2/3} \Phi_T^{-1}(\zeta) \quad (7)$$

Gdzie: Φ_ε i Φ_T są znanymi funkcjami empirycznymi wynikającymi z teorii Monina Obukhova. W pracy przyjęto $\Phi_\varepsilon(\zeta)$ i $\Phi_T(\zeta)$ w postaci [3]

$$\Phi_\varepsilon(\zeta) = [1 - 3\zeta]^{-1} - \zeta \quad (8)$$

$$\Phi_T(\zeta) = 6,3[1 - 7\zeta + 74\zeta^2]^{-1/3} \quad (9)$$

$$\zeta = \frac{z_{ef}}{z_L} < 0 \quad (10)$$

Wykorzystując pomiary optyczne, z których uzyskujemy wielkość C_T^2 i l_o dla określonych wysokości z (położenie wiązki laserowej nad powierzchnią terenu) możemy wyznaczyć wielkość u_x i T_x oraz $z_{ef}=z-z_d$. Układ równań (6), (7) i (3) stanowi podstawę przy wyznaczeniu tych wielkości. Wprowadzając dodatkowe pomiary prędkości na wysokości $z=0,12\text{m}$ możliwe staje się również oszacowanie szorstkości powierzchni terenu z_o .

3. Procedura wyznaczania podstawowych parametrów turbulencji

Parametrem często stosowanym w opisie turbulencji jest parametr struktury optycznej C_n , który jest miarą amplitudy fluktuacji współczynnika załamania n i skali wewnętrznej l_o , w której energia kinetyczna turbulencji ulega dyssypacji.

Ponizej przedstawiono propozycję wyznaczania powyższych parametrów, ograniczając rozważania do rozprzestrzeniającej się płaskiej fali spełniającej warunki

$$l_o^2 \geq \lambda L \quad (11)$$

gdzie: L – długość ścieżki [m],
 λ – długość fali światła laserowego [m],
 l_o – skala wewnętrzna [m],

W pracy zaproponowano wprowadzenie do rozważań kąta wychylenia wiązki θ . Składową poziomą i pionową θ_1 i θ_2 uzyskujemy, jako pochodną fazowej funkcji strukturalnej. Średnia kwadratowa kąta wychylenia jest przedstawiana, jako zależność

$$\langle \theta_1^2 \rangle^* = \langle \theta_2^2 \rangle^* = 3,28 \cdot 10^3 C_n^2 L (l_o)^{-1/3} \quad (12)$$

gdzie: θ_1, θ_2 – składowe kąta wychylenia,
 C_n^2 – współczynnik struktury optycznej [$m^{-2/3}$].

Natomiast wyrażenie na znormalizowaną średnią kwadratową fluktuacji kąta wychylenia wiązki σ_θ^2 zapiszemy w postaci

$$\sigma_\theta^2 = 12,8 \cdot 10^3 C_n^2 L^3 (l_o)^{-7/3} \quad (13)$$

gdzie: $\sigma_\theta^2 = \frac{\langle \theta^2 \rangle - \langle \theta \rangle^2}{\langle \theta \rangle^2}$

Wykorzystując równania (12) (13) uzyskujemy wyrażenie na skalę wewnętrzną turbulencji l_o w postaci

$$l_o = 1,97L \sqrt{\frac{\langle \theta^2 \rangle}{\sigma_\theta^2}} \quad (14)$$

które obowiązuje w obrębie optyki geometrycznej, tj. $l_o^2 \geq \lambda L$

Z przytoczonych równań (12), (13) i (14) możliwe jest wyznaczenie głównych parametrów C_n^2 i l_o , opisujących przepływ turbulentny.

4. Badania modelowe

Korzystając z teorii podobieństwa przepływów dokonano wyboru kryteriów podobieństwa. Zapewnienie całkowitego podobieństwa w przepływach o niestabilnym charakterze jest niemożliwe do spełnienia. W tej sytuacji zdecydowano się na podobieństwo częściowe, przyjmując w pierwszej kolejności kryterium podobieństwa zjawisk okresowych. Warunek konieczny takiego przepływu wynika z równania Naviera – Stokesa i ma postać

$$\frac{K_l}{K_t K_U} = 1 \quad (15)$$

gdzie: K_l – skala geometryczna,
 K_t – skala czasu,
 K_U – skala prędkości.

Istotnym elementem przy projektowaniu obszarów zabudowanych jest wpływ nawierzchni terenu na turbulencję termiczną. Uwzględnienie rodzaju nawierzchni w badaniach modelowych wymaga spełnienia warunku podobieństwa wynikającego z równania na energię kinetyczną turbulencji. Istotny staje się człon związany z produkcją energii kinetycznej turbulencji. Powyższy warunek podobieństwa ma postać

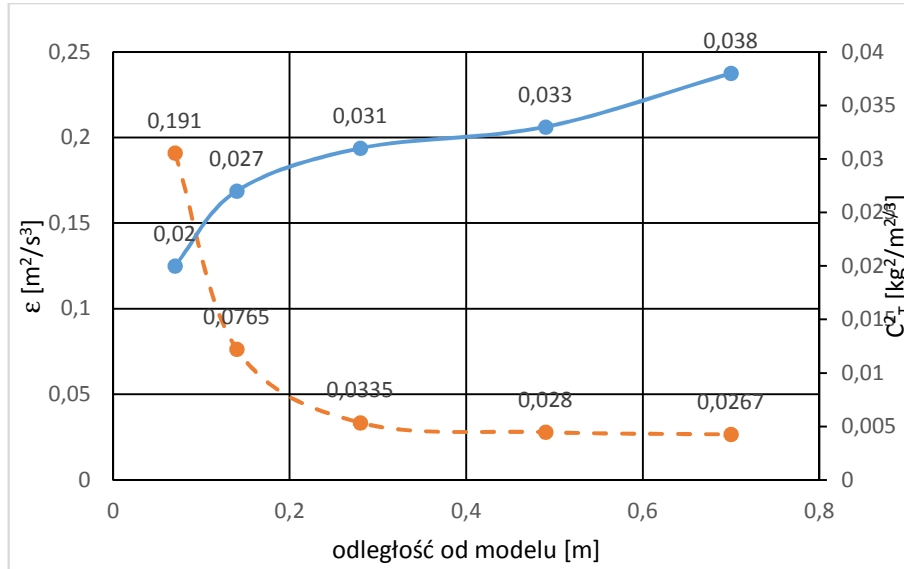
$$\frac{K_{Gb}}{K_\rho} \cdot \frac{K_t}{K_U^2} = 1 \quad (16)$$

gdzie: K_{Gb} – skala produkcji energii kinetycznej turbulencji
Dążąc do jednoczesnego spełnienia dwóch warunków podobieństwa należało spełnić warunek podobieństwa w postaci dwóch liczb kryterialnych.

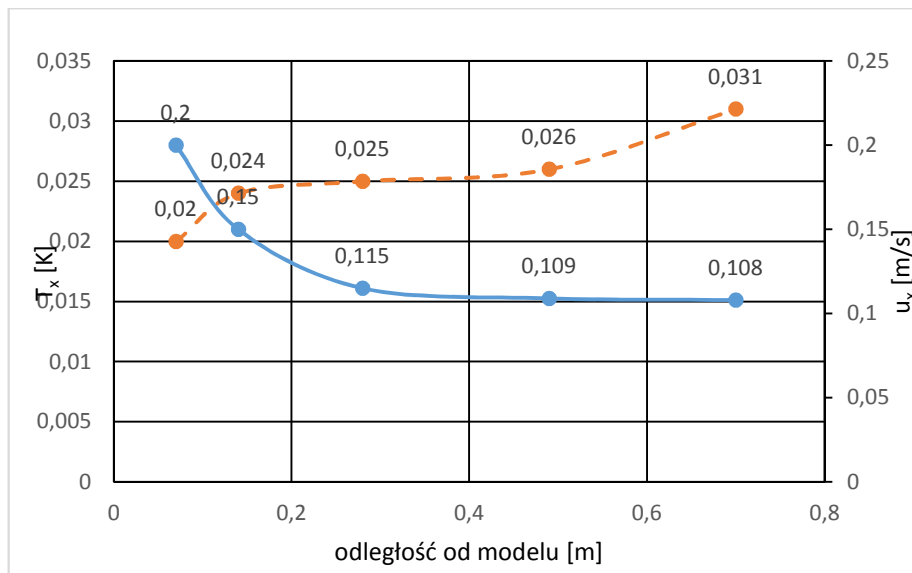
$$H_o = \frac{l}{U t} \quad \text{oraz} \quad G_{kl} = \frac{g \beta v T_x t}{U^2 l} \quad (17)$$

Badania modelowe przeprowadzone zostały przy temperaturze $T = 292\text{K}$ i ciśnieniu powietrza $P = 1000\text{hPa}$. Obserwacje przepływu turbulentnego prowadzono spełniając warunki podobieństwa częściowego. Dla spełnienia powyższych warunków przyjęto skalę geometryczną $K_L = 100$, skalę prędkości $K_U = 2$, skalę czasu $K_t = 50$ i skalę temperatury $K_{Tx} = 8$. Równocześnie założono, że przyspieszenie ziemskie g , współczynnik lepkości kinetycznej ν_t oraz współczynnik rozszerzalności β w badaniu modelowym, jak i w skali rzeczywistej są równe. Prędkość napływu powietrza w tunelu ustalono na poziomie $U = 1,60\text{m/s}$ dla $z = 0,12\text{m}$. Jako źródło światła użyto laser półprzewodnikowy o mocy 14mW emitujący falę świetlną o długości $\lambda = 640\text{nm}$ ze specjalnym układem optycznym dającym quasi równoległą wiązkę światła o gaussowskim rozkładzie natężenia światła w przekroju poprzecznym. Do detekcji natężenia światła zastosowano fotodiodę. Wiązka światła przebiegała prostopadle do osi tunelu. Pomiar prowadzono dla 11 ścieżek światła laserowego na wysokości $z = 0,12\text{m}$, w odstępach $\Delta L = 0,07\text{m}$, po stronie dowietrznej modelu.

Dysponując wspomnianym powyżej układem pomiarowym wyznaczono średni kąt wychylenia wiązki $\langle \theta \rangle$ oraz średnie standardowe odchylenie fluktuacji kąta wychylenia wiązki laserowej σ_θ dla 11 ścieżek. Korzystając ze wzorów (12), (13) i (14) określono średnią skalę wewnętrzną l_0 i współczynnik struktury optycznej C_n^2 . W dalszej kolejności wyznaczono współczynnik struktury termicznej C_T^2 oraz korzystając z zależności (1), (2) szybkość dyssypacji energii kinetycznej turbulencji ϵ .



Rys. 1. Szybkość dyssypacji energii kinetycznej turbulencji oraz współczynnik struktury termicznej dla pięciu charakterystycznych ścieżek, linia ciągła - C_T^2 , linia przerywana - ϵ
 Fig. 1. Dissipation of turbulent kinetic energy and thermal structure coefficient for five characteristic paths, solid line - C_T^2 , dotted line - ϵ

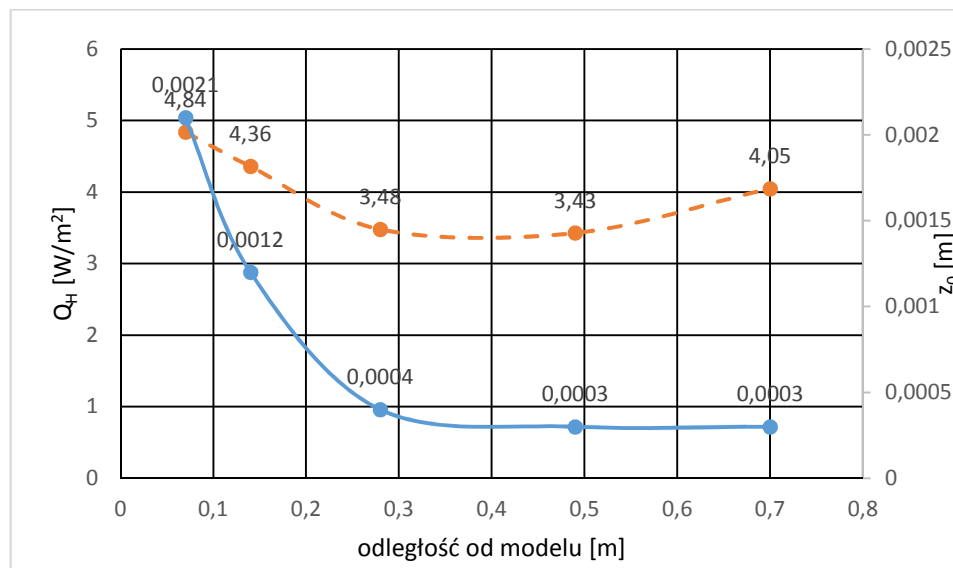


Rys. 2. Zmiany prędkości tarcia i skali temperatury T_x w funkcji odległości od modelu, linia ciągła - u_x , linia przerywana - T_x
 Fig. 2. Changes in friction velocity and temperature scale in the function of destination from the model, solid line - u_x , dotted line - T_x

Na rys.1 zamieszczono średnie wartości ε i C_T^2 dla pięciu charakterystycznych ścieżek wiązki laserowej zlokalizowanych w odległości 0,07; 0,14; 0,21; 0,49; 0,7m od modelu.

Korzystając z układu równań (1), (2), (3) oraz przedstawionych powyżej danych i przyjętych funkcji podobieństwa MOS $\Phi_T(\zeta)$ i $\Phi_\varepsilon(\zeta)$, $\zeta = \frac{z_{ef}}{z_L}$, możliwe stało się wyznaczenie prędkości tarcia u_x i temperatury T_x oraz wysokości efektywnej z_{ef} . Uzyskane wyniki przedstawione zostały na rys.2.

Uwzględniając znaną postać wzoru na gęstość ciepła jawnego oszacowano wielkość Q_H w warunkach prowadzonego eksperymentu. Dodatkowo określono średnią prędkość przepływu na wysokości $z=0,12m$ korzystając z czujników termooanemometrycznych. W oparciu o uzyskane wyniki wyznaczono współczynnik szorstkości terenu z_0 por. rys.3.



Rys. 3. Oszacowane wielkości ciepła jawnego Q_H i współczynnika szorstkości podłoża z_0 , linia ciągła – Q_H , linia przerywana - z_0

Fig. 3. Estimated values of sensible heat and roughness length z_0 , solid line – Q_H , dotted line - z_0

5. Wnioski

Pozyskiwanie danych dotyczących lokalnych warunków przepływu powietrza i turbulencji termicznej jest istotne ze względu na ich znaczenie w ocenie mikroklimatu stref miejskich. Zaznaczyć należy, że przy analizie przepływu uwzględniany jest jednocześnie wpływ turbulencji mechanicznej i termicznej. Pomiar w skali naturalnej dla uzyskania podobnych danych wymagają dłuższego okresu badań i są zależne od zaistniałych warunków meteorologicznych.

W celu weryfikacji proponowanej przez Autora drogi pozyskiwania podstawowych danych charakteryzujących przepływy w układach zabudowy miejskiej, wskazane byłyby badania w skali naturalnej. Równie interesujące byłoby porównanie z wynikami uzyskanymi z symulacji numerycznych.

Propozycja wykorzystania badań modelowych do analizy przepływów turbulentnych w zwartych strukturach zabudowy miejskiej może stać się pomocą przy opracowywaniu map mikroklimatu miasta i stanowić bazę wyjściową dla projektantów, urbanistów i specjalistów z zakresu planowania przestrzennego.

Literatura

- [1] Consortini A., Sun Y.Y., Li Z.P., Conforti G.: A mixed method for measuring the inner scale of atmospheric turbulence, *Journal of Modern Optics*, vol.37, No. 10, 1990, pp. 1555-1560.
- [2] Stewart I. D., Oke T. R.: Local climate zones for urban temperature studies, <http://journals.ametsofo c.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00019.1> {dostęp 23.05. 2016 r.}.
- [3] Thiermann V., Grassl H.: The measurement of turbulrnt surface-layer fluxes by use of bichromatic scitillation, *Boundary - Layer Meteorology*, 58, 1992, pp. 367-389.

APPLICATION OF LASER BEAM IN DETERMINATION OF ROUGHNESS PARAMETERS AND SENSIBLE HEAT

S u m m a r y

The paper presents a procedure for determination of the basic quantities of local wind flow and thermal turbulence. The experiment was conducted in wind tunnel with the use of the narrow laser beam. The suitability of this method in relation to the model tests were confirmed among others in work of Consortini [1], where high sensitivity of the beam for short paths has been displayed. The analysis have been subjected to an area with real dimensions of 100x100m, where the simple object was located in the shape of a cylinder with a diameter $\phi = 10\text{m}$ and a height $h = 10\text{m}$. The roughness of the surface was assumed to be equal to $z_0 = 0.02\text{m}$. A laser beam rans perpendicular to the axis of the tunnel. Measurements were carried out for the 11 paths of the laser beam at a height $z = 0.12\text{m}$ at intervals $\Delta L = 0.07\text{m}$ on the upwind side of the model. The measurements of angle of deflection and fluctuations of laser beam allowed determination of basic turbulence parameters, i.e. refractive index structure parameter and inner scale and therefore dissipation of turbulent kinetic energy and thermal structure. By introducing additional measurements of speed at the height of $z = 0.12\text{m}$ it was possible to estimate the roughness length z_0 . The study showed that even in the case of a single object change of the basic flow parameters and thermal turbulence can be observed.

Keywords: model test, microclimate, thermal turbulence

DOI:10.7862/rb.2016.271

Przesłano do redakcji: 17.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Justyna KOBYLARCZYK¹

PROBLEM KOMFORTU W ŚRODOWISKU MIESZKANIOWYM NA PODSTAWIE ANALIZY DWÓCH KRAKOWSKICH OSIEDLI

Komfort środowiska i jego wpływ na człowieka jest problemem wielopłaszczyznowym; może więc być rozpatrywany przez pryzmat wielu dyscyplin naukowych. Dotyka zarówno problemów z zakresu gospodarki przestrzennej, jak i architektury i urbanistyki, a także socjologii. Kolejnym problemem związanym ze wskazaną tematyką jest trudność pozyskania obiektywnych wyników oceny jakości środowiska mieszkaniowego, a w konsekwencji także wniosków pozwalających na określenie zależności jakie wynikają z oddziaływania środowiska – jego elementów ożywionych i nieożywionych na człowieka. W artykule zaprezentowana została diagnoza funkcjonalno-przestrzenna wykonana dla dwóch krakowskich osiedli – Olszy II i Ugorka. Projekt realizowany był przez zespół z Instytutu Projektowania Urbanistycznego Wydziału Architektury, Politechniki Krakowskiej na zlecenie Urzędu Miasta Krakowa, w ramach Pilotażowego Programu Rehabilitacji Zbudowy Blokowej na terenie Gminy Kraków. Badania eksperckie na wszystkich etapach trwania projektu wspierane były opinią mieszkańców ocenionych osiedli, którzy biorąc udział w warsztatach i organizowanych spotkaniach mieli możliwość prezentowania własnego zdania na temat zamieszkiwanego przez siebie obszaru, sposobu jego aranżacji, jego słabych i mocnych stron.

Słowa kluczowe: środowisko mieszkaniowe, komfort, diagnoza funkcjonalno-przestrzenna, osiedle mieszkaniowe

1. Wstęp

Środowisko zbudowane jest tym, które towarzyszy człowiekowi niemal od zawsze. Pewnie gdybyśmy uznali, że jego oddziaływanie jest wyłącznie negatywne dziś żylibyśmy w podobnych warunkach jakie panowały w odległych czasach. Należy jednak podkreślić, że często nasze współczesne wyobrażenia o wysokiej jakości przestrzeni miejskiej są skrajnie różne. „Żyjemy w ciągłym rozdarciu pomiędzy rywalizującymi ze sobą potrzebami. Trudno zaś o impulsy bardziej sprzeczne niż zaangażowane w nieustanną przepychankę potrzeba odo-

¹ Justyna Kobylarczyk, Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, Instytut Projektowania Urbanistycznego, Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego, Podchorążych 1, 30-084 Kraków; tel. 12 628 24 33; j.kobylarczyk@op.pl

sobnienia z jednej i bliskiego kontaktu z innymi ludźmi z drugiej strony. Jak wiadać, pod pewnymi względami nasze pragnienia toczą ze sobą prawdziwe wojny. Potrzeba nam ożywczego i pomocnego ciepła innych osób, lecz także uzdrawiającego dotyku natury. Chcemy tworzyć więzi z ludźmi, lecz zarazem musimy czasem od nich się oddalić. Korzystamy z wygód i udogodnień, jakie niesie z sobą bliskość innych istot ludzkich, lecz bywa, że ceną, jaką przychodzi nam za to zapłacić, jest nadmiar bodźców i poczucie stłoczenia”². Choć współczesność słusznie manifestuje wartość środowiska naturalnego to wydaje się, że w dobie tak daleko rozwiniętych technologii bez sztucznie wykreowanych warunkowań dziś nasze życie byłoby bardzo trudne. Środowisko sztuczne charakteryzujące się wysokim standardem w połączeniu ze światem czerpiącym z elementów przyrodniczych pozwala na stworzenie wizji miejsca wysokiej jakości – przyjaznego człowiekowi. Należy jednak przy tym zauważyć, że zarówno środowisko ma zdolność oddziaływania na człowieka jak i człowiek ma zdolność oddziaływania na środowisko. Miejsce bowiem można uznać za żyjące tylko za sprawą jego użytkowników. Bowiem otoczenie przybiera postać jedynie scenerii - tła dla wydarzenia, którego sprawcą jest człowiek. To od niego zależy, czy odwiedzi dany punkt w przestrzeni miasta, czy pozwoli by popadł on w zapomnienie. Na jego decyzję wpływać mogą wszystkie te elementy, które sprawiają, że jest zapamiętywane.

Także nie zawsze jednoznacznie rozumiane jest pojęcie komfortu³, który postrzegać można w różny sposób, co uzależnione jest od wielu czynników, w tym między innymi od warunków środowiska zamieszkania oraz standardów życia jak i indywidualnych upodobań jednostki. Mimo wspomnianych trudności słownik wyrazów obcych definiuje komfort posługując się w tym celu między innymi skojarzeniami takimi jak wygoda, czy też konieczność zaspakajania potrzeb fizycznych i psychicznych człowieka, który z jednej strony czerpie z otoczenia, ale również przekazuje mu pewne wartości i cechy kształtujące jego tożsamość, przy czym trudno jest rozdzielić wpływ czynników ożywionych i nieożywionych na komfort zamieszkania. Zarówno sztuczne elementy, jak i przyrodnicze kreują bowiem w takim samym stopniu nasze środowisko życia.

Tego typu problematykę bada i rozwija wiele jednostek działających w Polsce jak i zagranicą. Polska Polityka Architektoniczna – w projekcie dokumentu *Polityka jakości krajobrazu, przestrzeni publicznej, architektury* skupia uwagę na problemach, których rozwiązanie pozwoliłoby na zdefiniowanie obszarów jako komfortowych, w których respektowane są społeczne potrzeby jakości środowiska zbudowanego oraz wymogi rozwoju zrównoważonego. Jako przyczyny

² CH. Montgomery, *Miasto szczęśliwe. Jak zmieniać nasze życie, zmieniając nasze miasta*, Wyski Zamek, Kraków 2015, s.152

³ O komforcie Autorka pisze między innymi [w:] J. Kobylarczyk, *Ocena jakości środowiska zamieszkania w wybranych miastach województwa podkarpackiego po okresie „transformacji” w pierwszej dekadzie XXI wieku*, Politechnika Krakowska, Kraków 2013

krytycznego stanu przestrzeni wymienia się między innymi brak spójności w strukturze przestrzennej centrów miast, uniformizację przestrzeni jak i architektury kształtującej wizerunek współczesnego osiedla mieszkaniowego, niekontrolowane rozrastanie się strefy podmiejskiej, w tym rozpraszanie się zabudowy na terenach rekreacyjnych i rolniczych, niski poziom rozwiązań architektonicznych obiektów zwłaszcza na terenach wiejskich i podmiejskich, a także zaniedbanie wizualne przestrzeni publicznych służących ogółowi społeczeństwa. Wymienione zjawiska są przykładem procesów negatywnie oddziałujących na środowisko życia człowieka, których zahamowanie nie jest działaniem prostym. Wymaga bowiem uwzględnienia standardów urbanistycznych warunkujących wysoką jakość środowiska mieszkaniowego, przy uwzględnieniu konieczności jego transformacji, a więc dostosowania się do współcześnie obowiązujących standardów życia, poniekąd zapisanych w planach zagospodarowania przestrzennego. Nie bez znaczenia pozostaje także udział społeczeństwa w podejmowaniu wspólnych dyskusji, planów i działań zmierzających do poprawy warunków życia. Ze względu na zróżnicowania występujące w różnych regionach oraz ich indywidualne uwarunkowania niezwykle trudno jest wskazać spójne dla różnych obszarów elementy, wskaźniki i czynniki odpowiadające za komfort zamieszkania. Jest to więc wciąż aktualny temat badawczy wymagający opracowania uniwersalnej metody oceny jakości środowisk mieszkaniowych. Między innymi Komisja Europejska podjęła próbę skonstruowania dokumentu *Interim Report* (2002), w którym przedstawiła dziesięć grup problemowych mających wpływ na sposób postrzegania środowiska zamieszkania przez jego mieszkańców oraz na oferowane przez niego warunki życia. W tym jako najważniejszy czynnik uznano satysfakcję mieszkańców z mieszkania w danej lokalnej społeczności oraz możliwość udziału na rzecz poprawy klimatu, w tym zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza. Jako współcześnie ważny problem uznano nadmierne wykorzystywanie indywidualnych środków transportu z uwagi na trudności w zakresie sieci powiązań komunikacyjnych przestrzeni przy wykorzystaniu zbiorowych środków transportu. Prowadzi to między innymi do pogorszenia jakości powietrza, zagrożenia hałasem oraz rosnącej intensywności ruchu samochodowego, co poza oczywistymi problemami rodzi także szereg poważnych zagrożeń, na które między innymi narażone są dzieci – zwłaszcza te, które samodzielnie pokonują drogę do i ze szkoły. Problemem współczesności trwale wpisanym w strukturę przestrzenną obszarów zamieszkania jest także ograniczona dostępność zielonych przestrzeni publicznych i usług oraz produktów zrównoważonych. Z rozwojem zrównoważonym związane jest również zrównoważone zarządzanie przestrzeniami środowiska zamieszkania przez lokalne władze i lokalny biznes oraz zrównoważone użytkowanie terenu.

Podobne starania dotyczące opracowania metody oceny jakości środowiska zamieszkania podjął zespół z Katedry Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego sporządzając diagnozę funkcjonalno – przestrzenną dla dwóch krakowskich osiedli mieszkaniowych – Olszy II i Ugorka.

2. Analiza przykładu

Diagnoza przestrzenno – funkcjonalna zrealizowana dla dwóch krakowskich osiedli Olszy II i Ugorka⁴ (rys. 1 i 2) stanowi nie tylko opis wyników szeregu podjętych na wskazanym terenie analiz, ale także stanowi próbę skonstruowania uniwersalnej metody oceny środowiska zamieszkania, w którym dominuje wielorodzinna zabudowa blokowa z lat 70-tych i 80-tych, bazującej na wieloletnich badaniach powiązanych z prezentowaną tematyką jak i własnych spostrzeżeń dotyczących skali i sposobu oddziaływania środowiska zbudowanego na czło-wieka.



Rys.1. Fragment osiedla Olsza II

Fig.1. Part of the estate Olsza II



Rys.2. Fragment osiedla Ugorek [1]

Fig.2. Part of the estate Ugorek [1]

Podjęty w 2014 roku projekt naukowo- badawczy został zrealizowany w ramach Pilotażowego Programu Rehabilitacji Zabudowy Blokowej na terenie Gminy Kraków. Projekt realizowany był na zlecenie i przy jednoczesnym udziale Urzędu Miasta Krakowa (Wydział Rozwoju Miasta). Partnerami ponadto byli: Instytut Socjologii Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Stowarzyszenie Pracowni Obywatelskiej. Zespół z Politechniki Krakowskiej, Wydziału Architektury, Instytutu Projektowania Urbanistycznego, Katedry Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego tworzyli: Prof. dr hab. inż. arch. Grażyna Schneider-Skalska – ekspert projektu, dr hab. inż. arch. Justyna Kobylarczyk, prof. PK – kierownik projektu, dr inż. arch. Patrycja Haupt, dr inż. arch. Kinga Racoń-Leja, mgr inż. arch. Wojciech Sumlet, mgr inż. arch. Paweł Tor oraz studenci ze Studenckiego Koła Naukowego Projektowania Zrównoważonego.

Celem projektu było badanie powiązań jakie zachodzą między środowiskiem a człowiekiem oraz określenie, które elementy środowiska mieszkaniowego odpowiadają za jego komfort biorąc pod uwagę między innymi współczesne trendy, w tym modę na zdrowy styl życia, przy jednoczesnym starzeniu się

⁴ J.Kobylarczyk, G. Schneider-Skalska, P. Haupt, K. Racoń-Leja, W. Sumlet, P. Tor, Studenckie Koło Naukowe Projektowania Zrównoważonego, *Diagnoza funkcjonalno-przestrzenna osiedli: Olsza Iii Ugorka*, Politechnika Krakowska, Kraków 2014

społeczeństwa. Wymagało to głębokiej i interdyscyplinarnej analizy problematyki, oraz poznania specyfiki wybranych do badań osiedli i skonstruowania metody ich oceny umożliwiającej pozyskanie obiektywnych wniosków, co w przypadku jakości środowiska jest bardzo trudne ze względu na oczywiste zaangażowanie sfery emocjonalnej każdego z nas. Zwłaszcza, gdy z ocenianym obszarem czujemy się związani (jest to nasze miejsce zamieszkania, naszych bliskich, bądź z różnych względów czujemy sentyment do analizowanego miejsca).

Analiza dotyczyła dwóch skali - skali mikro oraz makro. W obu przypadkach polegała ona na ocenie poszczególnych elementów, które pozwoliłyby na wyznaczenie pożądanych cech osiedli pozwalających na określenie ich mianem „żyjących”, wygodnych, zdrowych, a więc komfortowych, stwarzających możliwość realizowania preferowanego przez użytkowników stylu życia, który w dużej mierze podyktowany jest nowymi tendencjami charakterystycznymi dla rozwoju zrównoważonego. Powiązane są one z wielkościami fizycznymi, a więc z odległościami i proporcjami (skala obiektów i dystans między nimi), wartościami wizualnymi, charakterem przestrzeni, w tym jej czytelnością oraz elementami kształtującymi poczucie intymności i spokoju oraz bezpieczeństwa. Osobnym zbiorem elementów podlegających ocenie są elementy przyrodnicze oceniane także ze względu na ich dostępność. Wszystkie wybrane do badań grupy problemowe powiązane ze sztucznym i naturalnym środowiskiem wyłoniły w efekcie końcowym atuty i główne problemy osiedli oraz pozwoliły skonstruować propozycje zmian w celu stworzenia pożądanego stanu środowiska mieszkaniowego – środowiska komfortowego. Diagnoza oparta była na zasadach partycypacji społecznej, co umożliwiło dokonanie porównania wyników badań własnych z opinią mieszkańców, a więc poznania opinii i spostrzeżeń użytkowników analizowanych obszarów.

Skala makro polegała na ocenie metodą gabinetową poszczególnych czynników mających wpływ na sposób postrzegania środowiska mieszkaniowego w odniesieniu do miasta. Oceniono między innymi uwarunkowania komunikacyjne – możliwość powiązań komunikacyjnych analizowanych obszarów z innymi lokalizacjami Krakowa. Kolejnym badanym czynnikiem były uwarunkowania społeczno – demograficzne. Szczególnie istotne dla oceny obszarów mieszkaniowych wydawało się ustalenie w jakim wieku są mieszkańcy Olszy II i Ugorka, biorąc przy tym pod uwagę, że inne potrzeby, wymagania i preferencje mają osoby młode, a inne osoby starsze. Także tą metodą oceniono bezpieczeństwo wskazanych lokalizacji porównując rodzaj i częstotliwość danych wykroczeń mających miejsce w badanych osiedlach i w innych lokalizacjach miasta.

Analiza makro sporządzona została przez studentów na podstawie "Wielokryterialnej analizy dziesiętnastu osiedli zabudowy blokowej położonych na terenie gminy miejskiej Kraków", opublikowanej przez Urząd Miasta Krakowa. Badania czynników mikro oparte zostały na analizie urbanistycznej. Dodatkowo stworzone zostały formularze do wywiadów, które nie zostały wykorzystane do badań ankietowych przez zespół z Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej.

Analiza urbanistyczna jako metoda badań prowadzonych w terenie z uwzględnieniem pomiarów inwentaryzacyjnych pozwoliła na ocenę uwarunkowań charakteryzujących osiedle Olsza II i Ugorek jako:

- żyjące (zapewniające dostęp do programu usług, punktów aktywności oraz miejsc spotkań, przestrzeni lubianych),
- wygodne ze względu na czytelny układ funkcjonalno – przestrzenny, łatwą dostępność do usług oraz punktów i przestrzeni komunikacyjnych,
- zdrowe - sprzyjające kondycji psycho-fizycznej człowieka⁵ (rys.3).

Sformułowane przez zespół opracowujący diagnozę osiedli trzy grupy problemów dowiodły w jakim stopniu wybrany obszary zamieszkania można uznać za wysokiej jakości.

Wpływ na ocenę komfortu obszarów zamieszkania mają więc zarówno elementy kształtujące „naturalne” jak i sztuczne środowisko. Wśród najważniejszych elementów badanych uznano różnorodność programu usług, które pozwalają na traktowanie miejsca zamieszkania jako atrakcyjnego także w ciągu dnia, co stanowi zaprzeczenie wizerunku „osiedla sypialni”. Ważne także w celu zachowania żywotności obszaru są rozwiązania komunikacyjne (powiązania ścieżek spacerowych, rowerowych,, lokalizacja przystanków autobusowych, itd.) i co stanowi część środowiska ożywionego usytuowanie i samo istnienie przestrzeni zielonych. Osiedle by żyć musi także zawierać w swoim zasięgu przestrzenie chętnie odwiedzane przez mieszkańców, z którym chcą się identyfikować, które budują zjawisko tożsamości miejsca.

Środowisko mieszkaniowe komfortowe to także miejsce wygodne, a więc charakteryzujące się funkcjonalnością rozwiązań i bezpieczeństwem oraz łatwą dostępnością do poszczególnych punktów usługowych, czytelnością układu przestrzennego miejsca i jego przejrzystością. Sprzyja mu „jasność” granic między poszczególnymi strefami obszaru wynikającymi z podziału własności (przestrzeń publiczna, społeczna, prywatna) bądź podziału wynikającego z różnorodności funkcji (miejsca pracy, zamieszkania i wypoczynku).

Osiedle wygodne zapewnia także czytelne powiązanie obszaru z siecią transportu publicznego dbając o ograniczenia ruchu wewnątrz obszaru zabudowy mieszkaniowej oraz stan techniczny jak i wyposażenie ciągów komunikacyjnych.

Kolejną grupę problemową stanowią elementy i czynniki pozwalające na zdefiniowanie obszaru jako zdrowego, co także mieści się w znaczeniu komfortowe środowisko mieszkaniowe. Zdrowiu fizycznemu mieszkańców sprzyja obecność przestrzeni zielonych – obszarów rekreacji, ale także obiektów sportowych. Nie bez znaczenia pozostaje program użytkowy przestrzeni wspólnych, który zapewniać powinien strefę aktywności fizycznej jak i strefę wypoczynkową. Na samopoczucie psychiczne i mentalne wpływa ocena zabudowy mieszkaniowej –

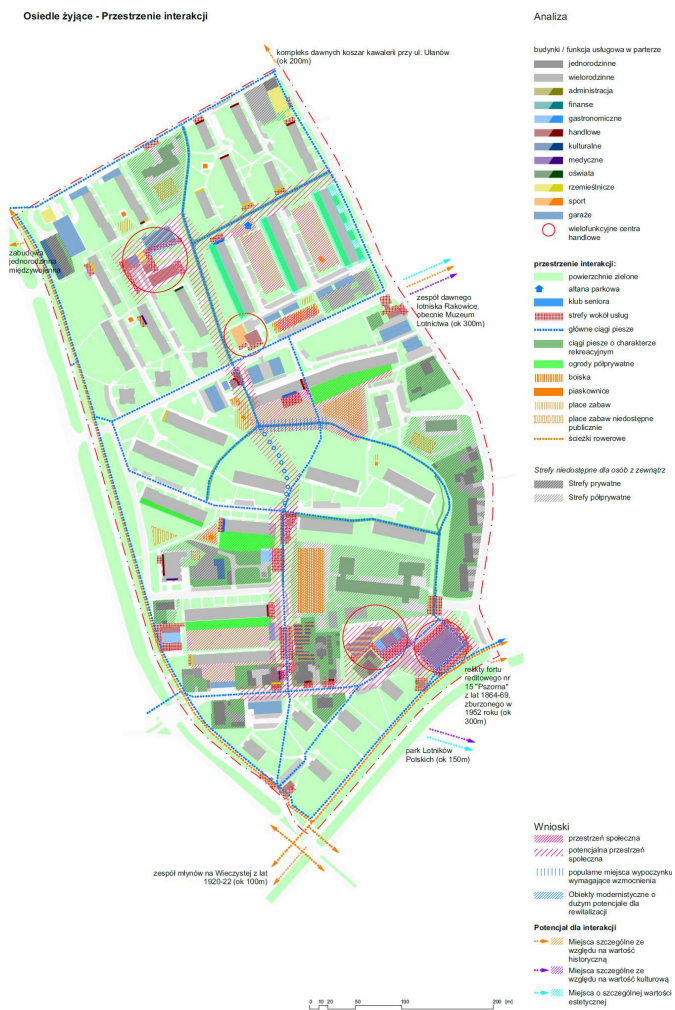
⁵ Zdrowe środowisko mieszkaniowe interpretuje G. Schneider-Skalska w swojej pracy, *Design a healthy housing environment. Selected problems*, Lap Lambert Academic Publishing, Saarbrücken 2011

jej skala, układ oraz intensywność, co ma znaczenia dla poczucia prywatności, oraz wzmocnienia więzi sąsiedzkich. Pozytywne emocje wyzwalają wartości estetyczne oraz dopasowanie.

Na jakość środowiska zamieszkania wpływa także odpowiednia organizacja przestrzeni wspólnej pozwalająca na zawiązanie relacji sąsiedzkich w celu poczucia spójności społecznej. Odpowiada za nią:

- dostosowanie do potrzeb osób niepełnosprawnych;

- stopień otwartości przestrzeni społecznej (utrudniona dostępność – obszar dostępny jedynie dla mieszkańców) - dostępność wnętrza społecznego – półotwarta konfiguracja wnętrza urbanistycznych.



Rys. 3. Przykład schematu przestrzenno-funkcjonalnego wykonanego dla Osiedla Ugorek na podstawie analizy urbanistycznej

Fig.3. Example scheme spatio-functional made for estates Ugorek based on the analysis of urban

3. Uwagi końcowe

„Przez całe życie odczuwamy ciągłą potrzebę zbierania nowych wiadomości o ludziach, o tym, co nowego się dzieje i o otaczających nas społecznościach. Informacje te zbiera się tam, gdzie są ludzie i dlatego jest to często wspólna przestrzeń miejska”⁶.

Przyjęta metoda badań pozwoliła na wykazanie w jakim stopniu elementy sztucznego środowiska mogą wpływać na komfort zamieszkania współczesnego człowieka. Jako podstawową metodę badań przyjęto analizę czynników „mikro” pozwalającą ocenić zastane sąsiedztwa dwóch osiedli – Olszy II i Ugorka jako: żyjące, wygodne, i zdrowe. Ocena ekspercka uzupełniona została opinią mieszkańców ze względu na partycypacyjny charakter projektu. Mieszkańcy mieli możliwość wypowiedzenia się na temat zamieszkiwanego obszaru, dokonanej oceny i proponowanych zmian, których obawiali się najmocniej. Tego typu obawy przede wszystkim posiadały osoby starsze, przyzwyczajone do stanu zastanego.

Analiza urbanistyczna dowiodła, że na jakość badanego obszaru mają wpływ uwarunkowania przestrzenne związane z lokalizacją i segregacją wewnątrz urbanistycznych o określonych i zróżnicowanych funkcjach. Istotny wpływ na sposób aranżacji przestrzeni ma również infrastruktura – jej rozbudowa oraz typologia zabudowy oraz jej układ.

Uzupełnieniem analizy urbanistycznej były badania socjologiczne prowadzone przez zespół socjologów z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Użyte metody badawcze pozwoliły w wielu aspektach ocenić osiedla jako komfortowe, w których środowisko zbudowane, jego charakter i sposób aranżacji bezpośrednio wpływa na kondycję psycho-fizyczną mieszkańców oraz sposób jego postrzegania i odczuwania.

Literatura

- [1] J.Kobylarczyk, G. Schneider-Skalska, P. Haupt, K. Racoń-Leja, W. Sumlet, P. Tor, Studenckie Koło Naukowe Projektowania Zrównoważonego, *Diagnoza funkcjonalno-przestrzenna osiedli: Olsza Iii Ugorka*, Politechnika Krakowska, Kraków 2014.
- [1] Gehl Jan, *Miasta dla ludzi*, RAM, Kraków 2014.
- [2] Kobylarczyk *Ocena jakości środowiska zamieszkania w wybranych miastach województwa podkarpackiego po okresie „transformacji” w pierwszej dekadzie XXI wieku*, Politechnika Krakowska, Kraków 2013.
- [3] Kobylarczyk J, G. Schneider-Skalska, P. Haupt, K. Racoń-Leja, W. Sumlet, P. Tor, Studenckie Koło Naukowe Projektowania Zrównoważonego, *Diagnoza funkcjonalno-przestrzenna osiedli: Olsza Iii Ugorka*, Politechnika Krakowska, Kraków 2014.
- [4] Montgomery Ch., *Miasto szczęśliwe. Jak zmieniać nasze życie, zmieniając nasze miasto*, Wysocki Zamek, Kraków 2015.
- [5] Schneider-Skalska G., *Design a healthy housing environment. Selected problems*, Lap Lambert Academic Publishing, Saarbrücken 2011.

⁶ Gehl J., *Miasta dla ludzi*, RAM, Kraków 2014, str.25

THE ISSUE OF COMFORT IN RESIDENTIAL ENVIRONMENT**S u m m a r y**

Comfort of environment and its impact on the man is a complex issue; therefore it can be examined through the prism of many scientific disciplines. It touches the problems of spatial planning, architecture, urban planning, as well as sociology. Another problem associated with the specified topic is the difficulty of obtaining objective results of the assessment of the quality of residential environment, and consequently, the conclusions allowing to identify the relations that stem from the impact of the environment - its animate and inanimate components on human. The article presents functional and spatial diagnosis made for two housing settlements in Krakow - Olsza II and Ugorek. The project was implemented by the team from the Institute of Urban Design, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology and commissioned by the City of Krakow as a part of the Pilotage Program for Rehabilitation of Block Building in the City of Krakow. In all phases of the project, expert research were supported by the opinion of residents of the assessed settlements, who took part in workshops and meetings where they were able to present views on the inhabited area, its arrangement, strengths and weaknesses.

Keywords: residential environment, comfort, spatial-functional diagnosis, housing settlement

DOI:10.7862/rb.2016.272

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Janusz KONKOL¹
Kamil MUSIAŁ²

WPLYW WIEKU NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE BETONU MODYFIKOWANEGO DODATKIEM METAKAOLINITU

W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonów modyfikowanych dodatkiem metakaolinitu po 2, 3, 7, 14, 28 i 56 dniach dojrzewania. Dodatek metakaolinitu użyto jako częściowy substytut cementu, dokonując wymiany 10% masy cementu na metakaolinit. Udział ten uznawany jest za optymalny z uwagi na inne niż wytrzymałość na ściskanie właściwości betonu, w tym trwałość betonu modyfikowanego metakaolinitem. Badania przeprowadzono także dla betonu tła, betonu bez dodatku metakaolinitu. Betony wykonano przy założeniu stałego stosunku woda/spoiwo, względnie woda/cement wynoszącego 0,45 oraz przy użyciu cementu portlandzkiego CEM I 32,5R, piasku kwarcowego frakcji do 2 mm oraz grysu bazaltowego frakcji do 16 mm. W celu uzyskania pożądanej konsystencji mieszanki betonowej zastosowano upłynniacz na bazie estrów polikarboksylowych. Uzyskane rezultaty badań potwierdziły wysoką aktywność pucolanową metakaolinitu już we wczesnym okresie dojrzewania betonu. W okresie między 3 a 7 dniem dojrzewania stwierdzono wolniejszy przyrost wytrzymałości na ściskanie w betonie niemodyfikowanym metakaolinitem, podczas gdy w betonie, w którym 10% masy cementu zastąpiono metakaolinitem uwidocznił się znaczący przyrost wytrzymałości na ściskanie. Po 2 dniach dojrzewania wytrzymałość na ściskanie betonu tła była nieznacznie wyższa od wytrzymałości na ściskanie betonu modyfikowanego. Korzystny wpływ dodatku metakaolinitu wynikający z jego wysokiej aktywności pucolanowej, jak również z uszczelniającego charakteru tego dodatku obserwowano jest zwłaszcza w okresie między 3 a 14 dniem dojrzewania. W tym okresie obserwowano znaczny przyrost wytrzymałości na ściskanie betonu modyfikowanego w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie betonu tła. Po 7 i 14 dniach dojrzewania stwierdzono odpowiednio prawie 25% i 21% wzrost wytrzymałości na ściskanie na skutek użycia metakaolinitu.

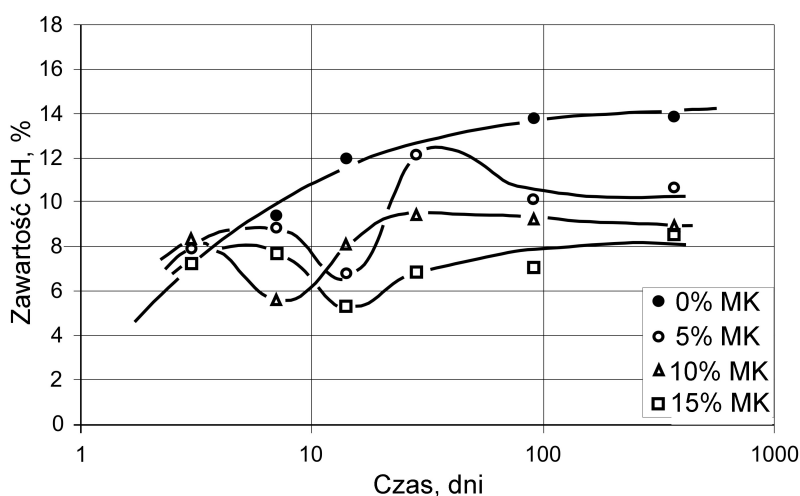
Słowa kluczowe: beton, metakaolinit, prażony kaolin, wytrzymałość na ściskanie, wiek betonu

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Janusz Konkol, Politechnika Rzeszowska, Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651701; janusz.konkol@prz.edu.pl

² Kamil Musiał, absolwent Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej

1. Wprowadzenie

Jak wykazały badania Wilda i Khatiba [1] zachodząca w obecności wody reakcja pucolanowa między produktami reakcji cementu (portlandytem) a aktywnymi składnikami metakaolinitu jest reakcją złożoną (rys. 1). Na złożoność tej reakcji wskazują między innymi tworzące się lokalne ekstrema zawartości wodorotlenku wapnia w stwardniałym zaczynie, czy stwardniającej zaprawie cementowej z dodatkiem metakaolinitu w czasie.



Rys. 1. Zmiana zawartości CH w zależności od czasu twardnienia zaprawy z metakaolinitem (MK), na podstawie pracy [1]

Fig. 1. Change in CH content versus curing time for metakaolin mortar, based on [1]

Badając zaczyny oraz zaprawy Wild i Khatib [1] wykazali, że minimum zawartości CH występuje po 14 dniach wiązania. Świadczy to o intensyfikacji reakcji z udziałem wodorotlenku wapnia w tym właśnie okresie. Potwierdzeniem nasilenia się reakcji pucolanowej są także wyniki badań wytrzymałości na ściskanie. Relatywnie największy przyrost wytrzymałości na ściskanie zaczynów i zapraw stwierdzono bowiem po 14 dniach dojrzewania.

Powstałe na ziarnach metakaolinitu produkty zachodzącej reakcji skutkują jej ograniczeniem w okresie pomiędzy 14 a 28 dniem. Zachodząca nadal po 28 dniu reakcja przejawia się mniejszym przyrostem wytrzymałości na ściskanie zaczynu czy zaprawy niż miało to miejsce w okresie pierwszych 14 dni.

Analiza wyników badań wytrzymałości na ściskanie zapraw modyfikowanych metakaolinitem przeprowadzona przez innych badaczy [2, 3, 4] potwierdziła wysoką aktywność pucolanową metakaolinitu w pierwszych 14 dniach dojrzewania zaprawy. Wild i inni [4] uzyskali wyższą wytrzymałość na ściskanie

zaprawy z metakaolinitem niż zaprawy bez tego dodatku już po 1 dniu dojrzewania, czego nie potwierdziły jednak badania Kadri i innych [2].

Badając zaczyny z metakaolinitem Poon i inni [5] nie stwierdzili powstania lokalnych ekstermów. Obserwowali oni ciągły ubytek CH w czasie. Wyniki Poona i innych są zatem w sprzeczności z wynikami Wilda i Khatiba [1], jak również między innymi Frías i Cabrera [6], co świadczy o złożoności tych reakcji i nadal potrzebie badań w tym zakresie.

Obserwowany przez badaczy wzrost wytrzymałości na ściskanie na skutek wprowadzenie metakaolinitu spowodowany jest, jak podają Wild i inni [4] działaniem metakaolinitu jako: wypełniacz, przyspieszacz hydratacji cementu portlandzkiego i przede wszystkim efektem pucolanowym.

W przypadku badań betonów, podobnie jak w przypadku zaczynów i zapraw, obserwowany jest wzrost wytrzymałości na ściskanie na skutek modyfikacji dodatkiem metakaolinitu widoczny już po 3 dniach dojrzewania [7-10]. Niektórzy badawcze wykazują wzrost wytrzymałości na ściskanie już po 1 dniu dojrzewania betonu [4, 8]. Wzrost wytrzymałości na ściskanie betonu modyfikowanego metakaolinitem w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie betonu bez tego dodatku po 3 dniach dojrzewania wynosił nawet ponad 51% przy 15% udziale metakaolinitu w stosunku do masy cementu [10], a po 1 dniu prawie 18% przy 10% udziale metakaolinitu w stosunku do masy cementu [4].

Istotnym czynnikiem wpływającym na aktywność pucolanową metakaolinitu jest skład cementu, a zwłaszcza zawartość w nim alitu C_3S , belitu C_2S , C_3A i alkaliów [11, 12]. Lagier i Kurtis [12] twierdzą, że intensywność i szybkość reakcji C_3A jest większa w obecności alkaliów i metakaolinitu o większym rozdrobnieniu. Ostatnio opublikowane wyniki badania potwierdzają znaczny wpływ składu cementu portlandzkiego na przebieg reakcji pucolanowej metakaolinitu z $Ca(OH)_2$. Prowadząc badania zaczynów cementowych ze znacznym udziałem metakaolinitu od 40 do 60% Cyr i inni [11] stwierdzili, że niewielki udział C_3A w cemencie wpływa na znaczne spowolnienie reakcji pucolanowej metakaolinitu z wodorotlenkiem wapnia w porównaniu z pozostałymi cementami. Jako przyczynę takiego zachowania zaczynów cementowo-metakaolinitowych podali przede wszystkim zróżnicowany udział portlandytu i wynikający z tego ewentualny jego deficyt. Celowe jest zatem prowadzenie badań z użyciem lokalnych materiałów: kruszywa, a zwłaszcza cementu i metakaolinitu (w przypadku prezentowanych wyników badań metakaolinitu produkcji krajowej).

Obecnie badania betonów z dodatkiem metakaolinitu dotyczą określania właściwości tych betonów, w tym z uwzględnieniem ich odporności na pękanie, jak również powiązania tych właściwości ze strukturą betonu [13-17]. Dodatek metakaolinitu może stanowić również alternatywę dla powszechnie stosowanego dodatku typu II do betonów – pyłu krzemionkowego [18].

2. Charakterystyka badanych betonów

2.1. Użyte materiały i skład betonów

Do wykonania betonów wykorzystano lokalne kruszywo drobne (piasek frakcji do 2 mm) pochodzące z miejscowości Strzegocice, grys bazaltowy frakcji do 16 mm z miejscowości Wilków oraz cement portlandzki CEM I 32,5R. Zastosowany jako częściowy substytut cementu metakaolinit uzyskano w procesie kalcynacji kaolinu w temperaturze około 800°C (rys. 2). Gęstość objętościowa metakaolinitu wynosi 2,54 kg/dm³, a jego powierzchnia właściwa BET wynosi 10130 m²/kg, co w porównaniu z powierzchnią właściwą cementu jest wartością ponad trzydziestokrotnie większą. Powierzchnia właściwa zastosowanego cementu to 330 m²/kg, a jego gęstość 3,05 kg/dm³. Skład chemiczny metakaolinitu i cementu podano w tab. 1.

Tabela 1. Skład chemiczny metakaolinitu (MK) i cementu

Table 1. Chemical composition of metakaolinite and cement

Materiał	Skład chemiczny, % masy							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
MK	0,44	53,1	42,2	0,45	-	0,26	0,09	0,73
Cement	64,0	21,9	5,1	2,2	3,2	2,4	0,15	0,97

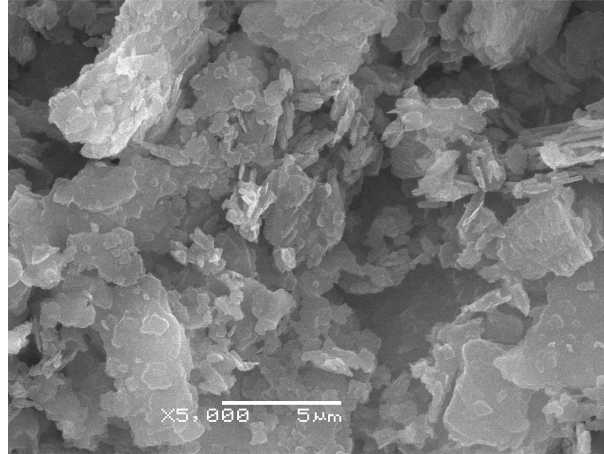
W przypadku metakaolinitu o blaszkowej budowie ziaren (rys. 2) stwierdzono znaczne zróżnicowanie wielkości ziaren od 0,1 μm do 100 μm. Około 20% stanowiły ziarna o wielkości poniżej 1 μm, 60% ziarna o rozmiarach od 1 μm do 10 μm, natomiast 90% ziarna o wielkości poniżej 17 μm (rys. 3).

Wykonano dwie serie betonów, beton niemodyfikowany metakaolinitem oraz beton, w którym 10% masy cement zastąpiono dodatkiem metakaolinitu. Skład obu serii betonów zestawiono w tab. 2. W obrębie każdej serii betonów wykonano po 36 próbek sześciennych o boku 10 cm przeznaczonych do badań wytrzymałości na ściskanie.

Tabela 2. Skład mieszanek betonowych poszczególnych serii betonów na 1 m³

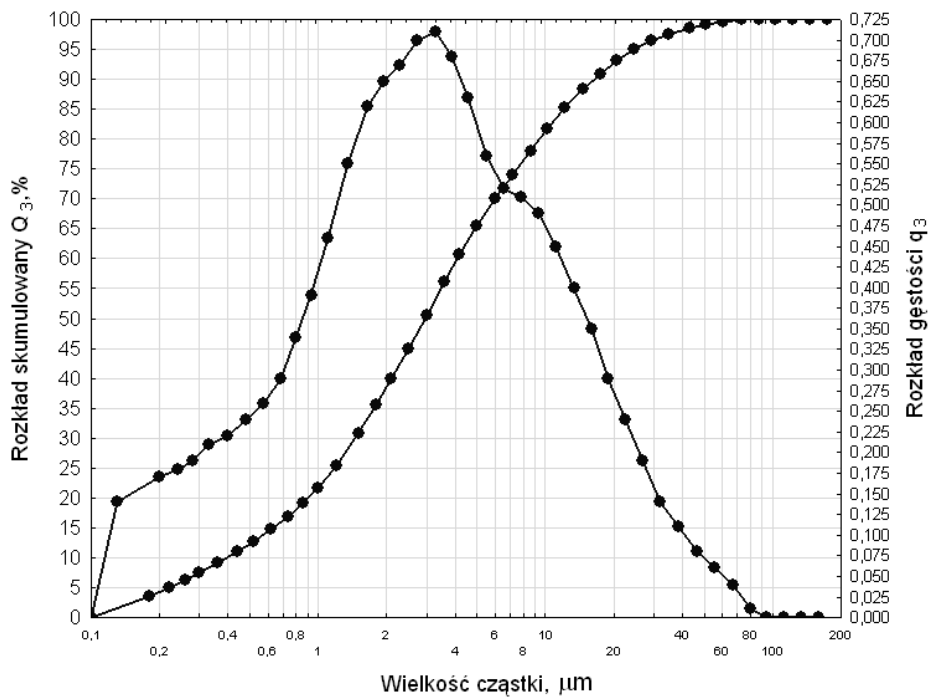
Table 2. The composition of concrete mixes of each series of concrete for 1 m³

Seria betonu	Skład betonu					
	Cement	Woda	MK	Piasek	Grys bazaltowy	Uplynniacz, % masy spoiwa
I	411,0	185,0	-	603,6	1364,1	0,15
II	369,9	185,0	41,1	603,6	1364,1	0,30



Rys. 2. Mikrostruktura metakaolinitu. Widoczna mikrostruktura ziaren o silnie zróżnicowanych wielkościach

Fig. 2. Microstructure of metakaolinite. The visible microstructure of grains with highly diverse sizes



Rys. 3. Rozkład skumulowany i rozkład gęstości metakaolinitu

Fig. 3. Cumulative distribution and density distribution of metakaolinite

W celu uzyskania zbliżonej konsystencji obu mieszanek betonowych (serii I i II) użyto doświadczalnie ustalonej ilości upłynniacza MasterGlenium 115 na bazie estrów polikarboksylowych. Oznaczenie konsystencji mieszanki betonowej przeprowadzono metodą stolika rozpliwowego przy przyjęciu docelowego rozpliwu wynoszącego $470 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$.

3. Wyniki badań i ich analiza

Przeprowadzone badania konsystencji mieszanki betonowej serii I i II potwierdziły uzyskanie konsystencji określonej metodą stolika rozpliwowego, wyrażonej jako średnica rozpliw mieszanki betonowej $470 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$.

Badania wytrzymałości na ściskanie betonu przeprowadzono, na kostkach sześciennych o boku 0,1 m, po 2, 3, 7, 14, 28 i 56 dniach dojrzewania. Próbkę przechowywano w warunkach powietrzno-wilgotnych przy wilgotności względnej powietrza $>95\%$. Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonów wraz z odchyleniem standardowym wartości średniej podano w tab. 3.

Tabela 3. Wytrzymałość betonu na ściskanie po 2-56 dniach dojrzewania wraz z błędem standardowym średniej

Table 3. Compressive strength of concrete after 2-56 days of curing and standard error of the mean

Seria betonu	Wytrzymałość betonu na ściskanie f_c w MPa wraz z odchyleniem standardowym średniej dla betonu dojrzewającego przez					
	2 dni	3 dni	7 dni	14 dni	28 dni	56 dni
I	30,4±0,77	34,7±0,85	36,3±0,56	44,3±1,02	54,1±1,44	60,3±0,95
II	28,9±0,26	32,4±1,34	45,3±0,90	53,3±0,47	59,9±1,04	63,4±1,07

Obliczona na podstawie 6 wyników wytrzymałość średnia na ściskanie okazała się większa w przypadku betonu bez metakaolinitu jedynie po 2 i 3 dniach dojrzewania. Począwszy od 7 dnia włącznie wytrzymałość na ściskanie betonu modyfikowanego metakaolinitem była większa od wytrzymałości na ściskanie betonu niemodyfikowanego. Największy wzrost wytrzymałości na ściskanie, na skutek wprowadzenie do składu betonu dodatku metakaolinitu w ilości 10% w stosunku do masy początkowej cementu stwierdzono pomiędzy 7 a 28 dniem dojrzewania.

Przeprowadzona statystyczna analiza wyników badań wytrzymałości na ściskanie betonów umożliwiła opis wytrzymałości na ściskanie w postaci zależności funkcyjnych uzyskanych metoda estymacji nieliniowej o wysokim współczynniku korelacji R , obliczonym na podstawie 36 wyników dla każdej serii betonu, powyżej 0,99.

Uzyskano zależności postaci:

- dla betonu modyfikowanego dodatkiem metakaolinitu częściowo zastępującego cement w ilości 10% początkowej masy cementu

$$f_c = 62,46 - 42,11 \cdot \exp(-0,1164 \cdot t) \quad (1)$$

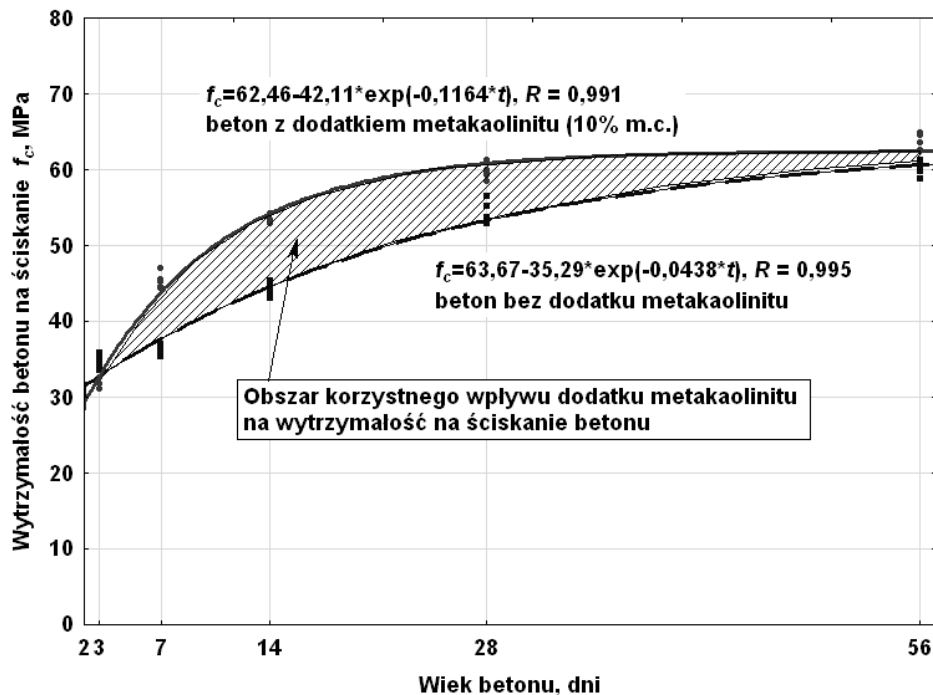
– dla betonu niemodyfikowanego

$$f_c = 63,67 - 35,29 \cdot \exp(-0,0438 \cdot t) \quad (2)$$

gdzie: f_c – wytrzymałość betonu na ściskanie po t dniach dojrzewania, MPa,
 t – wiek betonu, dni.

Na podstawie zależności (1) i (2) (rys. 4) stwierdzono, że tempo przyrostu wytrzymałości na ściskanie betonu z 10% dodatkiem metakaolinitu jest w początkowym okresie dojrzewania betonu większe niż tempo przyrostu wytrzymałości na ściskanie betonu bez dodatku metakaolinitu.

Po 28 dniu dojrzewania obu betonów widoczny jest większy przyrost wytrzymałości na ściskanie betonu modyfikowanego w porównaniu z przyrostem wytrzymałości na ściskanie betonu bez dodatku metakaolinitu. Jednak nadal aż do 56 dnia wytrzymałość na ściskanie betonu z dodatkiem metakaolinitu jest większa niż wytrzymałość na ściskanie betonu niemodyfikowanego (rys. 3, tab. 3).



Rys. 4. Zależność wytrzymałości betonu na ściskanie od wieku betonu

Fig. 4. The dependence of compressive strength of concrete on age

Widoczny na rys. 3 punkt przecięcia zależności (1) i (2) około 3 dnia dojrzewania betonu, wynikający z większego przyrostu wytrzymałości na ściskanie betonu z dodatkiem metakaolinitu, świadczy o wysokiej aktywności pucolanowej dodatku metakaolinitu już w pierwszych dniach dojrzewania betonu. Wzrost wytrzymałości na ściskanie w okresie między 2 a 3 dniem dojrzewania betonu wynosił dla betonu bez dodatku metakaolinitu prawie 5% oraz dla betonu z 10% udziałem dodatku metakaolinitu, użytego jako częściowy substytut cementu, prawie 40%.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że zachodząca w obecności wody reakcja pucolanowa między produktami reakcji cementu CEM I 32,5R, przede wszystkim wodorotlenku wapnia, a aktywnymi składnikami użytego metakaolinitu produkcji krajowej następuje już w pierwszych dniach dojrzewania betonu.

Na podstawie wyników badania wytrzymałości na ściskanie betonów stwierdzono, że intensyfikacja tej reakcji ma miejsce w okresie od 3 do 14 dnia dojrzewania betonu. Zastąpienie części cementu dodatkiem metakaolinitu nie przyczyniło się do znaczącego spadku wytrzymałości na ściskanie betonu po 2 dniach dojrzewania. Po tym okresie wytrzymałość na ściskanie betonu modyfikowanego dodatkiem metakaolinitu była nieznacznie niższa od wytrzymałości na ściskanie betonu odniesienia niemodyfikowanego. Stwierdzono spadek wytrzymałości na ściskanie betonu z metakaolinitem w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie betonu bez tego dodatku o zaledwie 1,5%.

W efekcie zachodzących w mikrostrukturze stwardniałego zaczynu cementowego zmian po 7 dniach dojrzewania, beton w którym dokonano wymiany 10% masy cementu na metakaolinit uzyskał wyższą wytrzymałość na ściskanie niż beton bez tego dodatku o prawie 25%. Obserwowany wzrost wytrzymałości na ściskanie tego betonu jest wynikiem aktywności pucolanowej metakaolinitu i uszczelnieniem mikrostruktury stwardniałego zaczynu cementowego produktami reakcji metakaolinitu z wodorotlenkiem wapnia, jak również efektem działania metakaolinitu jako przyspieszacza hydratacji cementu portlandzkiego oraz efektem doziarnienia nieprzereagowanymi ziarnami metakaolinitu.

Literatura

- [1] Wild S., Khatib J.M.: Portlandite consumption in metakaolin cement pastes and mortars, *Cement and Concrete Research*, 27(1), 1997, 137-146.
- [2] Kadri E.H., Kenai S., Ezziane K., Siddique R., De Schutter G.: Influence of metakaolin and silica fume on the heat of hydration and compressive strength development of mortar, *Applied Clay Science*, 53(4), 2011, 704-708.
- [3] Kostuch J.A., Waltersand V., Jones T.R.: High performance concretes incorporating metakaolin: A review, [w:] (eds. K. Ravindra, M. Roderick) *Inter Conference on*

- Concrete 2000: Economic and Durable Construction Through Excellence, University of Dundee, II, 1993, 1779-1811.
- [4] Wild S., Khatib J.M., Jones A.: Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete, *Cement and Concrete Research*, 26(10), 1996, 1537-1544.
- [5] Poon C.-S., Lam L., Kou S.C., Wong Y.-L., Wong R.: Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in high-performance cement pastes, *Cement and Concrete Research*, 31(9), 2001, 1301-1306.
- [6] Frías M., Cabrera J.: Pore size distribution and degree of hydration of metakaolin-cement pastes, *Cement and Concrete Research*, 30, 2000, 561-569.
- [7] Güneysi E., Gesoğlu M., Karaoğlu S., Mermerdaş K.: Strength, permeability and shrinkage cracking of silica fume and metakaolin concretes, *Construction and Building Materials*, 34, 2012, 120-130.
- [8] Güneysi E., Gesoğlu M., Mermerdaş K.: Improving strength, drying shrinkage, and pore structure of concrete using metakaolin, *Materials and Structures*, 41(5), 2008, 937-949.
- [9] Madandoust R., Mousavi S.Y.: Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing metakaolin, *Construction and Building Materials*, 35, 2012, 752-760.
- [10] Qian X., Li Z.: The relationships between stress and strain for high-performance concrete with metakaolin, *Cement and Concrete Research*, 31(11), 2001, 1607-1611.
- [11] Cyr M., Trinh M., Husson B., Casaux-Ginestet G.: Effect of cement type on metakaolin efficiency, *Cement and Concrete Research*, 64, 2014, 63-72.
- [12] Lagier F., Kurtis K.E.: Influence of Portland cement composition on early age reactions with metakaolin, *Cement and Concrete Research*, 37(10), 2007, 1411-1417.
- [13] Konkol J., Prokopski G.: Fracture toughness and fracture surfaces morphology of metakaolinite-modified concrete, *Construction and Building Materials*, 123, 2016, 638-648.
- [14] Konkol J., Prokopski G.: The influence of the age of concretes with FBC fly ash or metakaolinite additives on their strength properties, *Roads and Bridges-Drogi i Mosty*, 13 (1), 2014, 49-67.
- [15] Konkol J.: Wykorzystanie parametrów fraktalnych i stereologicznych do opisu odporności na pękanie betonów modyfikowanych wybranymi dodatkami typu II, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z 59, nr 3/2012/III, 2012, 223-232.
- [16] Konkol J.: Wpływ wieku betonów modyfikowanych dodatkiem metakaolinitu na ich wytrzymałość na ściskanie i odporność na pękanie, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z 59, nr 3/2012/III, 2012, 213-222.
- [17] Konkol J., Prokopski G.: Morfologia przełomu oraz odporność na pękanie betonów modyfikowanych dodatkiem popiołu fluidalnego lub metakaolinitu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z. 58, nr 3/11/III, 2011, 321-330.
- [18] Konkol J.: Metakaolinit i popiół fluidalny jako alternatywne w stosunku do pyłów krzemionkowych dodatki mineralne do betonu, *Inżynieria i Budownictwo*, 9, 2012, 503-507.

EFFECT OF CURING AGE ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF METAKAOLINITE-MODIFIED CONCRETE

Summary

This paper presents the results of the compressive strength test of metakaolinite-modified concretes. The investigations were conducted after 2, 3, 7, 14, 28 and 56 days of concrete curing. The addition of metakaolinite was used as an equivalent of cement, replacing 10% by weight of cement with metakaolinite. This share is considered optimal due to other than the compressive strength of concrete properties, including durability of metakaolinite-modified concrete. Tests were also performed for the concrete without addition of metakaolinite. Concrete was made with the assumption of a constant ratio of water / binder or the water / cement ratio equal to 0.45. Portland cement CEM I 32.5R, up to 2 mm sand, up to 16 mm basalt and metakaolinite were used in the investigations. In order to obtain the desired consistency of the concrete mix, plasticizer based on esters of polycarboxylic acids was used. The results of the research confirmed the high pozzolanic activity of metakaolinite in early concrete curing. After two days of concrete curing the compressive strength of the concrete without metakaolinite was slightly higher than the compressive strength of modified concrete. In the case of metakaolinite-modified concrete it was found that the biggest increment of the compressive strength occurs in the period between 3 and 14 days of concrete curing in relation to the results of the compressive strength of concrete based only on Portland cement. After 7 and 14 days of concrete curing nearly 25% and 21% increases in compressive strength due to the use of metakaolinite were reported.

Keywords: concrete, metakaolinite, calcined kaolin, compressive strength, age of concrete

DOI:10.7862/rb.2016.273

Przesłano do redakcji: 7.07.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Janusz KONKOL¹
Grzegorz PROKOPSKI²

OPTYMALIZACJA SKŁADU BETONÓW Z DODATKIEM METAKAOLINITU

W artykule przedstawiono wyniki optymalizacji składu betonu modyfikowanego dodatkiem prażonego kaolinitu (metakaolinitu), użytego jako częściowy substytut cementu. Optymalizację przeprowadzono przy użyciu programu STATISTICA w oparciu o wyniki badań betonów o zróżnicowanym składzie, zdeterminowanym udziałem dodatku metakaolinitu do 15% masy spoiwa oraz stosunkiem woda/spoiwo od 0,35 do 0,54. Badania wykonano według centralnego kompozycyjnego planu doświadczenia, przewidującego wykonanie badań dziewięciu mieszanek betonowych o zróżnicowanym składzie. Jako kryteria optymalizacji przyjęto: maksimum wytrzymałości na ściskanie f_c po 28, 90 i 180 dniach dojrzewania betonu, maksimum krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic}^S i maksimum współczynnika sprężystości podłużnej E po 28 i 180 dniach dojrzewania betonu, minimum objętości porów powietrznych w betonie A oraz minimalny wymiar fraktalny określony metodą cięciwy D_C i metodą pudełkową D_{BC} . Objętość porów powietrznych określono na podstawie analizy płaskich przekrojów betonu metodami stereologicznymi. Analizie fraktalnej poddano uzyskane w badaniu odporności na pękanie powierzchniowe przełomów betonów. Optymalizację przeprowadzono dla trzech wariantów I, II i III. Uzyskane wyniki potwierdziły występowanie ściślejszej zależności między właściwościami a strukturą betonów, w tym betonów z dodatkiem metakaolinitu. Wykazano także, że ze względu na przyjęte kryteria optymalizacji celowe jest projektowanie betonów przy założeniu względnie niskiego stosunku woda/spoiwo oraz względnie dużego udziału dodatku metakaolinitu.

Słowa kluczowe: beton, metakaolinit, prażony kaolin, optymalizacja, planowanie doświadczeń, mechanika pękania, analiza struktury

1. Wprowadzenie

W projektowaniu betonów o pożądanых właściwościach, w tym także z uwzględnieniem aspektów strukturalnych, ostateczne rozwiązanie jest zwykle

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Janusz Konkol, Politechnika Rzeszowska, Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651701; janusz.konkol@prz.edu.pl

² Grzegorz Prokopski, Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651439; grzeprok@prz.edu.pl

pewnym kompromisem wynikającym z mnogości kryteriów, który może zostać ustalony na podstawie optymalizacji.

Rozwiązaniem optymalizacji wielokryterialnej jest punkt lub zbiór należący do dziedziny eksperymentu, charakteryzujący się możliwie optymalnymi właściwościami, ze względu na wszystkie kryteria optymalizacji. Jedną z metod optymalizacji umożliwiającą wprowadzenie wag, dla każdego z kryteriów, jest metoda uogólnionej funkcji użyteczności [1,2]. Jest ona często stosowaną metodą optymalizacji, polegającą na wyrażeniu wszystkich kryteriów we wspólnej skali użyteczności oraz utworzeniu następnie jednego kryterium w postaci, tzw. funkcji uogólnionej użyteczności. Trafność rozwiązania można wówczas określić na podstawie wartości funkcji użyteczności w danym punkcie dziedziny eksperymentu. Zaletą tej metody są możliwości uwzględnienia specyficznych wymagań związanych z przewidywanym zastosowaniem i związanymi z nim właściwościami projektowanego kompozytu betonowego.

Jednym z dodatków do betonu typu II jest metakaolinit (MK), obok pyłów krzemionkowych i popiołów lotnych, coraz powszechniej stosowany w budownictwie [3-13]. Metakaolinit uzyskuje się w procesie kalcynacji kaolinitowej gliny w temperaturze od 700°C do 900°C. Wprowadzony do składu mieszanki betonowej metakaolinit wchodzi w reakcję z wodorotlenkiem wapnia powstałym podczas hydratacji cementu (alitu i belitu). W wyniku tej reakcji powstają produkty zbliżone do uzyskanych w procesie hydratacji cementu. Z uwagi na dziesięciokrotnie mniejszą wielkość cząstek od cementu metakaolinit powoduje także uszczelnienie struktury betonu, przez co poprawia wiele jego właściwości. Z uwagi na brak analizy odporności na pękanie betonów modyfikowanych metakaolinitem celowe jest uwzględnienie tej właściwości przy projektowaniu składu betonu, jak również określenie optymalnego składu betonu o stosunkowo największej odporności na pękanie, przy zachowaniu pożądanych pozostałych jego właściwościach. Tak postawione zadanie wymaga zastosowania metod optymalizacyjnych.

2. Charakterystyka badanych betonów

2.1. Użyte materiały

Badane betony wykonano z użyciem cementu portlandzkiego CEM I 32,5R (C), piasku kwarcowego frakcji do 2 mm (P), grysu bazaltowego frakcji do 16 mm (B), wody wodociągowej (W) oraz dodatku prażonego kaolinitu. Metakaolinit (MK) zastosowano jako częściowy substytut cementu, dokonując wymiany cementu na metakaolinit do maksymalnie 15% początkowej masy cementu.

2.2. Skład betonów

Skład mieszanek betonowych poszczególnych serii określono na podstawie planu centralnego kompozycyjnego. Łącznie wykonano 9 serii mieszanek beto-

nowych o zróżnicowanym udziale dodatku metakaolinitu oraz zmiennym stosunku woda/spoiwo (tab. 1) (spoiwo = C + MK). W celu utrzymania stałej konsystencji mieszanki betonowej użyto doświadczalnie ustalonej ilości superplastyfikatora FM-6 (tab. 1). Oznaczenie konsystencji mieszanki betonowej przeprowadzono metodą stolika rozplwowego przy przyjęciu docelowego rozplwu wynoszącego 410 mm.

Tabela 1. Skład mieszanek betonowych poszczególnych serii betonów

Table 1. The composition of concrete mixes of each series of concrete

Seria betonu	Zmienna		Skład mieszanki betonowej w kg na 1 m ³					
	w/s	MK/s	C	MK	W	P	B	FM-6 % m.c.
1	0,38	0,04	437,8	18,2	173,3	742,6	1218,0	1,25
2	0,38	0,13	395,6	59,1	172,8	740,4	1214,3	2,26
3	0,51	0,04	413,3	17,2	219,6	701,1	1149,8	0,22
4	0,51	0,13	373,5	55,8	218,9	699,1	1146,6	0,13
5	0,35	0,09	421,8	39,2	162,8	750,7	1231,2	2,45
6	0,54	0,09	388,9	36,1	228,2	692,1	1135,0	-
7	0,45	0,02	433,7	9,5	197,2	721,7	1183,6	0,44
8	0,45	0,15	375,8	65,6	196,4	718,7	1178,8	0,77
9	0,45	0,09	404,7	37,6	196,8	720,2	1181,2	0,44

3. Optymalizacja wielokryterialna

Optymalizację składu betonów modyfikowanych metakaolinitem przeprowadzono z uwzględnieniem kryteriów dotyczących właściwości opisanych zależnościami funkcyjnymi podanymi w pracach [8,9,12].

Wyróżniono 10 kryteriów uwzględniających zarówno właściwości wytrzymałościowe betonów, jak i ich strukturę, określone następująco:

- maksimum wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach, $\max f_c^{28}$,
- maksimum wytrzymałości na ściskanie po 90 dniach, $\max f_c^{90}$,
- maksimum wytrzymałości na ściskanie po 180 dniach, $\max f_c^{180}$,
- maksimum krytycznego współczynnika intensywności naprężeń po 28 dniach, $\max K_{Ic}^{S28}$,
- maksimum krytycznego współczynnika intensywności naprężeń po 180 dniach, $\max K_{Ic}^{S180}$,
- maksimum współczynnika sprężystości podłużnej po 28 dniach, $\max E^{28}$,
- maksimum współczynnika sprężystości podłużnej po 180 dniach, $\max E^{180}$,
- minimum objętości porów powietrznych w betonie, $\min A$
- minimum wymiaru fraktalnego określonego metodą cięciwy, $\min D_C$,
- minimum wymiaru fraktalnego określonego metodą pudełkową, $\min D_{BC}$,

W przypadku każdego kryterium określono wartość dolną, pośrednią i górną danej cechy, którym przypisano wartości użyteczności (tab. 2). W przypadku

kryterium maksymalizacji (kryterium max) wartości danego parametru wartości górnej przypisano wartość użyteczności 1,0, natomiast wartości dolnej wartość 0. Z uwagi na założenie liniowości zmian wartości użyteczności wartości pośredniej przypisano wartości użyteczności 0,5. W przypadku minimalizowania wartości danego parametru (kryterium min), wartości górnej przypisano wartość użyteczności 0, wartości dolnej cechy wartość użyteczności 1,0, a wartości pośredniej 0,5. W przypadku cech mechanicznych betonów wartość dolną przyjęto jako minimalną spośród wszystkich serii betonów powiększoną o 0,4 rozstępu, wartość pośrednią powiększoną o 0,6 rozstępu, a górną powiększoną o 0,8 rozstępu. W przypadku wartości górnej stanowi ona od 92 do 96 % wartości maksymalnej z badań.

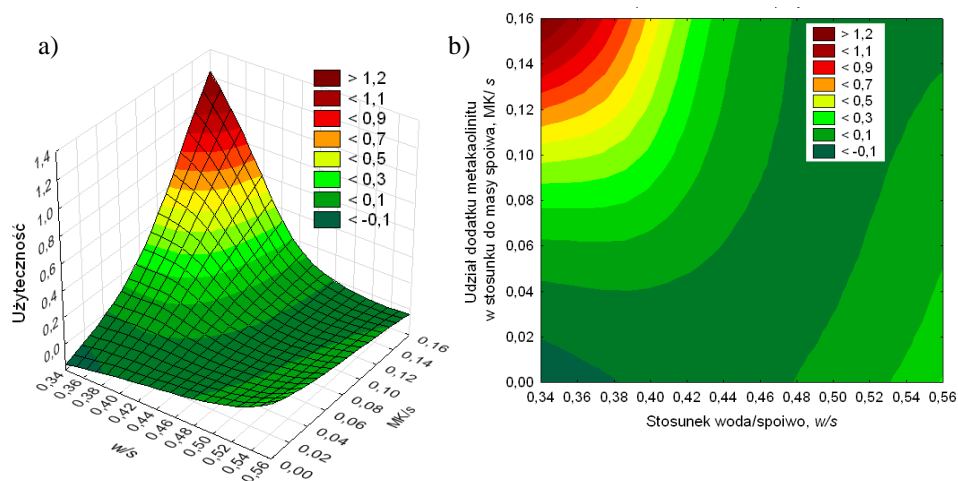
Tabela 2. Przyjęte wartości użyteczności: dolna, środkowa i górna wraz z odpowiadającymi im wartościami danej właściwości betonu modyfikowanego metakaolinitem

Table 2. The values of utility: lower, average and upper, along with the corresponding values of the properties of modified concrete with metakaolinite

Właściwość	Parametry funkcji użyteczności					
	Wartość dolna	Wartość użyteczności	Wartość średnia	Wartość użyteczności	Wartość górna	Wartość użyteczności
f_c^{28}	47,8	0,0	52,7	0,5	57,7	1,0
K_{Ic}^{S28}	1,19	0,0	1,32	0,5	1,45	1,0
E^{28}	31,2	0,0	33,0	0,5	34,7	1,0
f_c^{90}	62,2	0,0	68,2	0,5	74,1	1,0
f_c^{180}	65,2	0,0	71,2	0,5	77,2	1,0
K_{Ic}^{S180}	1,47	0,0	1,55	0,5	1,64	1,0
E^{180}	34,3	0,0	36,9	0,5	39,5	1,0
A	0,028	1,0	0,029	0,5	0,031	0,0
D_C	1,029	1,0	1,030	0,5	1,032	0,0
D_{BC}	1,050	1,0	1,052	0,5	1,054	0,0

Optymalizację przeprowadzono w module *Planowanie doświadczeń* w programie *STATISTICA*.

Początkowo optymalizację przeprowadzono dla wszystkich kryteriów (wersja I). Na podstawie tej optymalizacji uzyskano funkcję użyteczności przedstawioną na rys. 1; otrzymane rozwiązanie preferowane przedstawiono w tab. 3. Wartość funkcji użyteczności rozwiązania optymalnego dla wersji I optymalizacji wynosi 0,91 (tab. 3). Najlepsze rozwiązanie otrzymano przy stosunku w/s wynoszącym 0,37 i udziale metakaolinitu 15% masy spoiwa ($MK/s = 0,15$).



Rys. 1. Funkcja użyteczności dla betonu z dodatkiem metakaolinitu (wersja I) – wykres powierzchniowy (a) i warstwiczny (b)

Fig. 1. The utility function for concrete with the addition of metakaolinite (version I) - surface chart (a) and contour graph (b)

Tabela 3. Rozwiązanie optymalne ze względu na przyjęte kryteria optymalizacji

Table 3. The optimal solution due to the optimization criteria adopted

Zmienna/ Właściwość	Wartości wielkości wejściowych oraz aproksymowane odpowiedzi przy podanych poziomach wielkości wejściowych		
	Wersja I	Wersja II	Wersja III
w/s	0,37	0,37	0,37
MK/s	0,15	0,15	0,15
f_c^{28}	65,0	65,0	65,0
$K_{Ic}^{S 28}$	1,56	1,56	1,56
E^{28}	36,2	36,2	36,2
f_c^{90}	74,3	74,3	74,3
f_c^{180}	81,6	81,6	81,6
$K_{Ic}^{S 180}$	1,74	1,74	1,74
E^{180}	40,7	40,7	40,7
A	0,029	-	-
D_C	1,026	1,026	-
D_{BC}	1,050	1,050	-
Wartość funkcji użyteczności	0,91	1,00	1,00

Otrzymany rezultat optymalizacji potwierdza korzystne działanie dodatku metakaolinitu na poprawę badanych właściwości betonów oraz parametrów

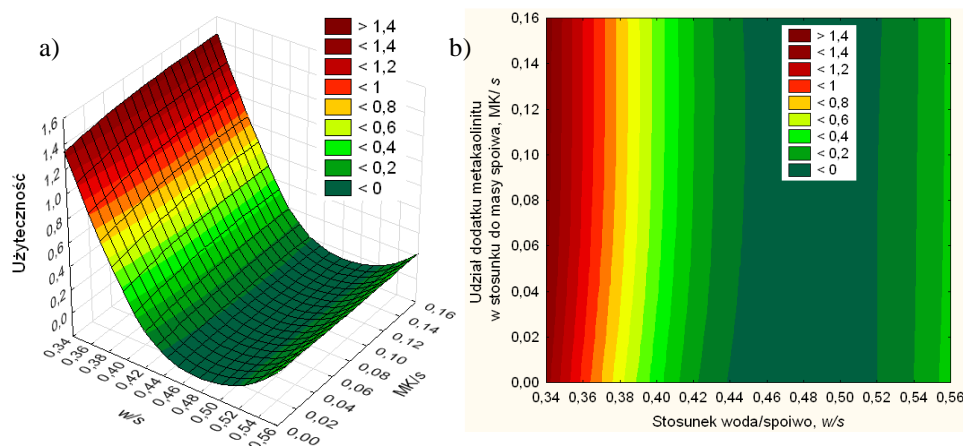
morfologii powierzchni przełomu i parametrów stereologicznych. Skład betonu o największej użyteczności przedstawiono w tab. 4.

Tabela 4. Zestawienie składu optymalnego mieszanek betonowych betonu modyfikowanego metakaolinitem

Table 4. Optimal composition of concrete mixes of modified concrete

Wersja	Zmienna		Skład mieszanki betonowej po przeliczeniu według przyjętego planu, kg/m ³				
	w/s	MK/s	C	MK	W	P	B
I, II i III	0,37	0,15	388,4	67,8	169,5	742,8	1218,3

Na podstawie dalszej analizy rozwiązania preferowanego i uzyskanych wartości danych cech stwierdzono znaczący wpływ na wynik optymalizacji zawartości powietrza *A*. Eliminacja kryterium minimalizacji porowatości powoduje wzrost wartości funkcji użyteczności z 0,91 do 1,00. Wyniki optymalizacji (wersja II) zestawiono w tab. 4, a uzyskaną funkcję użyteczności przedstawiono na rys. 2. Porównanie wyników dla wersji optymalizacji I i II wskazuje, że oba rozwiązania optymalne dotyczą tego samego betonu (tab. 4).



Rys. 2. Funkcja użyteczności dla betonu z dodatkiem metakaolinitu z pominięciem kryterium minimalizacji porowatości (wersja II) – wykres powierzchniowy (a) i warstwiczny (b)

Fig. 2. The utility function for concrete with the addition of metakaolin without the criterion of minimum porosity (version II) – surface chart (a) and contour graph (b)

Stwierdzono, że na wartość funkcji użyteczności wpływa w większym stopniu stosunek woda/spoiwo. Wpływ dodatku metakaolinitu powyżej około 4% w stosunku do masy spoiwa był już nieznaczny (rys. 2).

Przeprowadzono także optymalizację tylko ze względu na kryteria wytrzymałościowe (wersja III). W wyniku obliczeń otrzymano identyczne rozwiązanie

punktu optymalnego (tab. 3 i 4), w obszarze zmiennych w/s i MK/s , a jednocześnie skład betonu dla rozwiązania optymalnego w wersji III, jest taki sam jak w rozwiązaniach I i II.

Uzyskanie tego samego rozwiązania przy pominięciu wymiaru fraktalnego potwierdza istnienie związku między parametrami mechanicznymi, a parametrami fraktalnymi charakteryzującymi powstałą na skutek pęknięcia powierzchni przelomu.

4. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonej optymalizacji wielokryterialnej składu betonów modyfikowanych dodatkiem metakaolinitu uzyskano rozwiązania preferowane, optymalne ze względu na przyjęte kryteria optymalizacji. Uzyskane rozwiązania pokazują, że w przypadku dodatku metakaolinitu celowe jest projektowanie betonów przy założeniu niskiego stosunku woda/spoiwo i względnie dużego udziału tego dodatku. Uzyskane rezultaty są ważne w zakresie zmienności ilości dodatku MK do 15% masy spoiwa oraz w zakresie zmienności stosunku woda/spoiwo od 0,35 do 0,54.

Praca naukowa częściowo finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy nr N N507 475337 oraz ze środków Narodowego Centrum Nauki w latach 2011-2013 jako projekt badawczy nr N N507 321140.

Literatura

- [1] Metody optymalizacji materiałów kompozytowych o matrycach cementowych, red. A. M. Brandt, Studia z Zakresu Inżynierii, 38, Warszawa, 1994.
- [2] Konkol J., Prokopski G.: Optymalizacja wielokryterialna składu betonów zwykłych z uwzględnieniem parametrów wytrzymałościowych i strukturalnych, Przegląd Budowlany, nr 2, 2006, s. 23-28.
- [3] Sabir BB, Wild S, Bai J.: Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review, Cem. Concr. Compos, vol. 23, 2001, pp. 441-454.
- [4] Siddique R, Klaus J.: Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review, Appl. Clay Sci., vol. 43, 2009, pp. 392-400.
- [5] Rashad AM.: Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition – A comprehensive overview, Constr. Build. Mater., vol. 41, 2013, pp. 303-318.
- [6] Konkol. J.: Metakaolinit i popiół fluidalny jako alternatywne w stosunku do pyłów krzemionkowych dodatki mineralne do betonu, Inżynieria i Budownictwo, nr 9, 2012, s. 503-507.
- [7] Konkol J., Pyra M.: Wybrane właściwości betonów modyfikowanych zmiennym udziałem dodatku metakaolinitu. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 287-296, DOI:10.7862/rb.2014.95.

- [8] Konkol J., Prokopski G.: The influence of the age of concretes with FBC fly ash or metakaolinite additives on their strength properties. *Road and Bridges – Drogi i Mosty*, 13(1), 2014, s. 49-67.
- [9] Konkol J.: Wykorzystanie parametrów fraktalnych i stereologicznych do opisu odporności na pękanie betonów modyfikowanych wybranymi dodatkami typu II, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, seria Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z 59, nr 3/2012/III, 2012, s. 222-232.
- [10] Konkol J.: Wykorzystanie geometrii fraktalnej do określenia odporności na pękanie betonu modyfikowanego metakaolinitem, *Budownictwo i Architektura*, 12(3), 2013, s. 177-184.
- [11] Konkol J., Prokopski G.: Fraktalny opis powierzchni przełomu betonów cementowych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 273-286, DOI:10.7862/rb.2014.94.
- [12] Konkol J., Prokopski G.: Morfologia przełomu oraz odporność na pękanie betonów modyfikowanych dodatkiem popiołu fluidalnego lub metakaolinitu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z. 58, nr 3/11/III, 2011, s. 321-330.
- [13] Konkol J., Prokopski G.: Fracture toughness and fracture surfaces morphology of metakaolinite-modified concrete. *Constr. Build. Mater.*, vol. 123, 2016, pp. 638-648.

OPTIMIZATION OF THE CONCRETE COMPOSITION WITH METAKAOLINITE ADDITION

Summary

This paper presents the results of optimization of composition of the concretes modified with calcined kaolin (metakaolinite). The analysis was performed according to the results of investigations base of central composite design of experiment. The amount of metakaolinite used as used as an equivalent of cement varied from 2% to 15% of the mass of binder. Water/binder ratios (w/b) in the mixes were in the range of 0.35 to 0.54.

On the basis of multi-criteria analysis, the optimal compositions of concrete mixes were established for the adopted criteria optimization. The optimization criteria were: maximal compressive strength f_c after 28, 90 and 180 days of concrete curing, maximal value of critical stress intensity factor K_{Ic}^S (maximal fracture toughness) and maximal elastic modulus E after 28 and 180 days of concrete curing, minimal porosity of hardened concrete and minimal value of fractal dimension (divider method D_C and box counting method D_{BC}).

The optimal solutions were obtained for water/binder ratio below 0.37 and amount of metakaolinite 15% of the mass of binder. The optimum composition is as follows: 388.4 kg of cement, 67.8 kg of metakaolinite, 169.5 l of water, 742.8 kg of sand and 1218.3 kg of basalt.

Keywords: concrete, metakaolinite, calcined kaolin, optimization, design of experiments, fracture mechanics, structure analysis

DOI:10.7862/rb.2016.274

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Piotr KOPEĆ¹

CZYNNIKI CHŁODNICZE O NISKIM WSPÓLCZYNNIKU GWP STOSOWANE W POWIETRZNYCH POMPACH CIEPŁA

W artykule przedstawiono obecny stan prawny dotyczący czynników chłodniczych stosowanych w pompach ciepła oraz urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych a także omówiono ich wpływ na środowisko. Obowiązujące regulacje prawne zawierają plan redukcji stosowania czynników chłodniczych wpływających na ocieplenie klimatu. Następnie dokonano analizy rynku pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2015. Szczególną uwagę zwrócono na pompy ciepła pracujące w układzie powietrze-woda, które w 2015 roku odnotowały znaczny wzrost sprzedaży. Wzrost ten wynosił około 70% w stosunku do roku 2014. Ze względu na niski koszt inwestycyjny, bardzo duży udział w rynku posiadają powietrzne pompy ciepła przeznaczone do podgrzewania ciepłej wody użytkowej. W związku z regulacjami prawnymi, dobór odpowiedniego czynnika chłodniczego staje się trudnym zagadnieniem. Należy bowiem dobrać czynnik chłodniczy, który będzie zarówno bezpieczny dla środowiska oraz będzie posiadał bardzo dobre właściwości termodynamiczne. Przedstawiono właściwości idealnego czynnika chłodniczego oraz kryteria jakimi powinno się kierować przy doborze nowego. Dokonano również porównania proponowanych przez producentów alternatywnych czynników chłodniczych o niskim współczynniku GWP, które mogą być stosowane w powietrznych pompach ciepła. W tym celu założono idealny jednostopniowy sprężarkowy obieg chłodniczy dla pompy ciepła w którym przyjęto stałą temperaturę górnego źródła ciepła, przegrzania i dochłodzenie czynnika. Temperatura dolnego źródła ciepła była zmieniana w zakresie od -20C do +15C. Analizy proponowanych czynników dokonano pod względem zmiany współczynnika wydajności grzewczej COP w stosunku do obecnie stosowanych freonów.

Słowa kluczowe: współczynnik COP, R1234yf, rynek pomp ciepła w Polsce, ODP

1. Wprowadzenie

Czynnik chłodniczy jest niezbędnym elementem do poprawnego działania pompy ciepła. Pośredniczy on w wymianie ciepła. Pobiera ciepło z dolnego źródła ciepła, wrząc w parowniku w niskiej temperaturze i pod niskim ciśnieniem,

¹ Piotr Kopeć, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Ciepłej i Procesowej, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, tel. (12) 628 34 69, pkopec@mech.pk.edu.pl

aby później oddać je do górnego źródła ciepła w skraplaczu w procesie skraplania, przebiegającym pod wysokim ciśnieniem i wysokiej temperaturze. Najpopularniejszymi czynnikami stosowanym w sprężarkowych powietrznych pompach ciepła są R134a, R404A, R410A. Z uwagi na oddziaływanie czynników chłodniczych na środowisko obecnie poszukuje się najbardziej optymalnych zamienników dla stosowanych czynników oraz szuka innych nowych, które nie wywierałyby negatywnego wpływu na atmosferę ziemi. W trosce o środowisko i ekologię Parlament Unii Europejskiej wprowadził regulacje prawne dotyczące substancji, które wpływają na wzmożenie efektu cieplarnianego i niszczenie warstwy ozonowej. Obecnie obowiązuje Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 roku. Rozporządzenie odnosi się do fluorowanych gazów cieplarnianych. Głównym celem rozporządzenia jest ochrona środowiska poprzez zmniejszenie emisji fluorowanych gazów cieplarnianych na skutek odzyskiwania czynników, ograniczania bądź zaniechania ich stosowania. Według założeń do 2050 roku emisja gazów cieplarnianych powinna być zredukowana o 80-95% w odniesieniu do poziomu z roku 1990. Natomiast do 2030 roku poprzez unikanie wykorzystywania fluorowanych gazów cieplarnianych powinna zostać zredukowana ich emisja do 2/3 w stosunku do poziomu z 2010 roku. Szczegółowy harmonogram wycofywania z użycia omawianych gazów znajduje się w rozporządzeniu [1].

2. Rynek pomp ciepła w Polsce

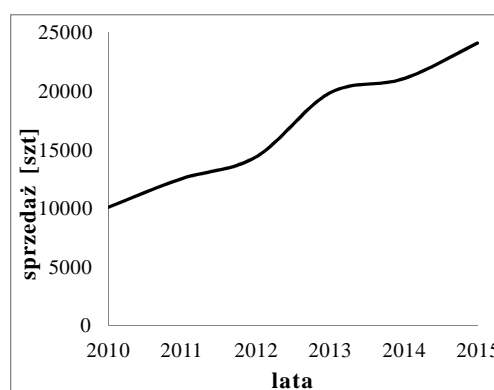
Pompa ciepła jest jednym z urządzeń, które korzysta z energii odnawialnej. Jej głównym zadaniem jest wykorzystanie niskotemperaturowej energii cieplnej z odnawialnych źródeł energii i przetransportowanie jej na wyższy poziom energetyczny, do wytworzenia ciepła o wyższej temperaturze, przy wykorzystaniu zewnętrznej energii: mechanicznej, cieplnej lub elektrycznej [2]. Pompa ciepła może pobierać energię z różnych rodzajów źródeł niskotemperaturowych. Z tego też względu klasyfikuje się je na pompy ciepła: gruntowe (poziome, pionowe), powietrzne i wodne.

Rynek pomp ciepła w Polsce systematycznie rośnie. Średni wzrost wynosi około 20% rocznie. Najbardziej dynamicznie rozwijał się na przełomie roku 2012/2013. W roku 2015 natomiast największy udział w rynku w stosunku do roku poprzedzającego, miały pompy ciepła pracujące w układzie powietrze-woda. Wzrost sprzedaży wyniósł prawie 70% [3]. Tak duże zainteresowanie tego rodzaju pompami ciepła wynika z:

- niskich kosztów zakupu i eksploatacji,
- wzrostu efektywności pomp ciepła powietrze-woda,
- zmian w warunkach technicznych dla budynków dokonanych w 2014 roku dotyczących izolacyjności przegród,
- łagodniejszych okresów zimowych w ostatnich latach,

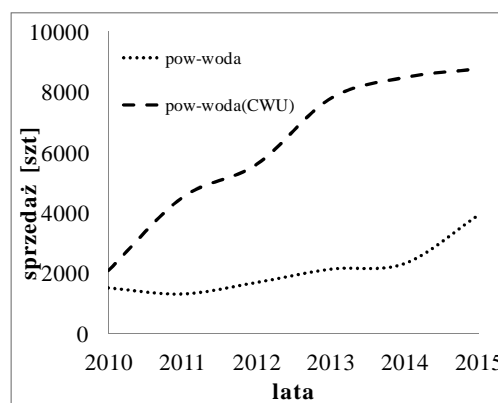
- większej tendencji do budowania domów o powierzchni nie przekraczającej 130m²,
- większej świadomości ludzi do korzystania z odnawialnych źródeł energii

Opierając się na badaniach i danych Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC), na rysunku 1 przedstawiono ogólną sprzedaż pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2015. Natomiast rysunek 2 przedstawia sprzedaż powietrznych pomp ciepła pracujących w układzie powietrze-woda oraz powietrze-woda przeznaczonych tylko do przygotowanie ciepłej wody użytkowej-CWU[3].



Rys. 1. Sprzedaż pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2015, na podstawie [3]

Fig. 1. Sales of heat pumps in Poland in years 2010-2013, based on [3]



Rys. 2. Sprzedaż powietrznych pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2015, na podstawie [3]

Fig. 2. Sales of air heat pumps in Poland in years 2010-2013, based on [3]

3. Czynniki chłodnicze o niskim współczynniku GWP

Nowy czynnik chłodniczy, który jest wprowadzany do użytku jako zamiennik już istniejącego, powinien posiadać lepsze właściwości fizykochemiczne i termodynamiczne, być bezpieczny w użyciu, łatwo osiągalny, tani oraz spełniać odpowiednie wymagania prawne [4]. Kolejnym ważnym aspektem przy wprowadzaniu zamiennego czynnika jest możliwość zastosowania go w istniejącej instalacji chłodniczej, bez ingerencji w jej elementy składowe. Porównując dwie substancje oprócz właściwości fizykochemicznych, należy również ocenić wskaźniki ekologiczne, które określają w jakim stopniu czynnik chłodniczy wpływa na atmosferę ziemską. Jednym z nich jest współczynnik GWP (Global Warming Potential). Jest to potencjał danego czynnika do tworzenia efektu cieplarnianego. Odniesiony jest do dwutlenku węgla (CO_2) dla którego wartość GWP = 1. Jako okres oddziaływania czasowego przyjmuje się 100 lat. Wartość tego współczynnika spowodowała poszukiwania nowych czynników chłodniczych według dyrektywy UE. Kolejny wskaźnik to ODP (Ozone Depletion Potential), czyli wskaźnik określający wpływ danej substancji na rozkład warstwy ozonowej zawartej w atmosferze ziemskiej. Wartość współczynnika ODP odniesiona jest do czynnika chłodniczego R11, dla którego ODP = 1 [5]. Najlepsze z punktu widzenia ekologicznego są czynniki pochodzenia naturalnego lub syntetyczne, których wartości to: ODP = 0 oraz GWP \approx 0. Podsumowując idealny czynnik chłodniczy powinien posiadać następujące cechy [6]:

- niska normalna temperatura wrzenia,
- wysoka wartość temperatury,
- krytycznej,
- niska temperatura krzepnięcia,
- mała objętość właściwa,
- znikoma rozpuszczalność w wodzie,
- nietoksyczność,
- niewybuchowość,
- niski koszt jednostkowy,
- obojętny dla środowiska naturalnego.

Znalezienie odpowiedniego czynnika, który spełniałby wszystkie cechy jest bardzo trudne. W związku z dużą liczbą produktów oferowanych przez koncerny chemiczne zajmujące się wytwarzaniem substancji, które mogą pełnić rolę czynników chłodniczych powinno się zastosować odpowiednie kryteria doboru. W wyniku regulacji prawnych i dążenia do spełnienia założonych celów na lata 2030 oraz 2050, podczas wyboru czynnika powinno się brać pod uwagę następujące aspekty, wymienione poniżej według ich ważności [6]:

- oddziaływanie na środowisko,
- bezpieczeństwo pracy instalacji,
- właściwości termodynamiczne,
- właściwości techniczne,
- kryteria ekonomiczne.

3.1. Charakterystyka alternatywnych czynników chłodniczych

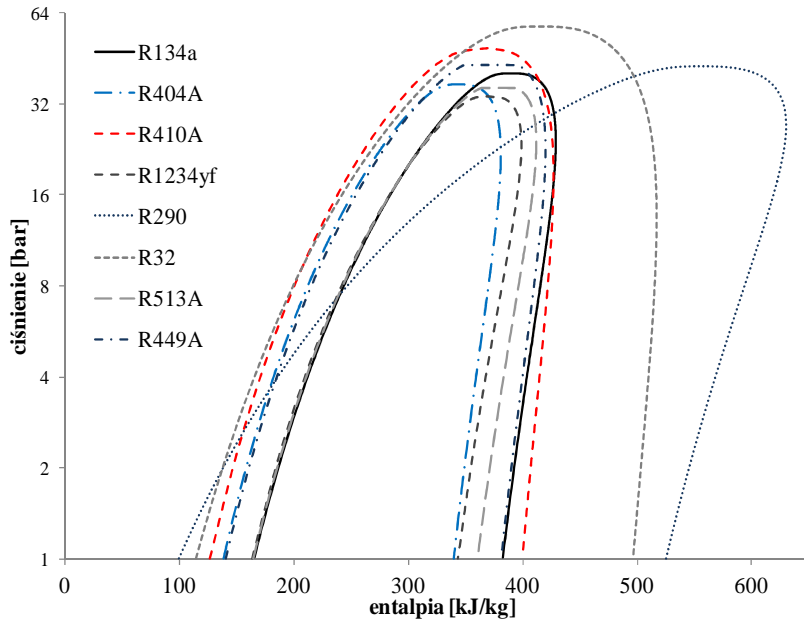
Powszechnie wykorzystywane w instalacjach klimatyzacyjnych oraz urządzeniach chłodniczych czynniki R134a, R404A, R410A, zostały wprowadzony jako zamiennik freonu R12 oraz R22. Jednak ze względu na przepisy prawne związane z ochroną środowiska zostaną w niedalekiej przyszłości wycofane z użytku. Koncerny chemiczne zajmujące się produkcją czynników chemicznych szukają nowych zamienników, które spełniałyby wszystkie wymagania. W literaturze [6], [7], [8], [9] jako alternatywne czynniki chłodnicze, które mogą być stosowane jako zamienniki obecnie już stosowanych wymienia się następujące freony: R1234yf, R290, R32, R513A (Opteon XP10), R449A (Opteon XP40), R452A (Opteon XP44). W tabeli 1 przedstawiono wybrane właściwości omawianych czynników chłodniczych. Analizując tabelę 1, można zauważyć, że czynniki będące zamiennikami już stosowanych mają zbliżone temperatury wrzenia oraz temperatury punktu krytycznego.

Tabela 1. Wybrane właściwości czynników, na podstawie [10]

Table 1. Selected refrigerants properties, based on [10]

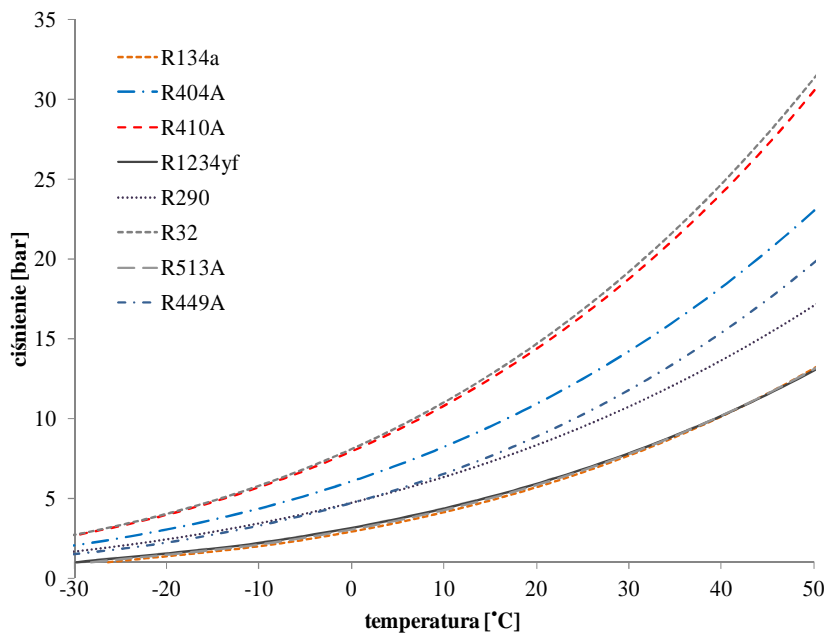
	Normalna temperatura wrzenia [°C]	Temperatura krytyczna [°C]	Zastępowany czynnik	GWP	ODP	Palność
R134a	-26	101	R12	1430	0	A1
R404a	-47	73	R22	3922	0	A1
R410A	-51	72	R22	2088	0	A1
R1234yf	-30	95	R134a	4	0	A2L
R290	-42	97	R404a	3	0	A3
R32	-52	78	R410a/R12	675	0	A2L
R513A	-29	98	R134a	631	0	A1
R449A	-46	82	R404a	1397	0	A1

Przy wyborze zamiennika należy również zwrócić uwagę na jego klasę palności. Czynniki o wysokich wartościach współczynnika GWP posiadają klasę palności A1, czyli są nie palne. Czynniki o niskich współczynnikach GWP są słabo palne (klasa A2L), średnio palne (klasa A2), lub łatwopalne (klasa A3). Można zauważyć, że im niższa wartość współczynnika GWP, tym większa palność czynnika. Oznacza to, że im czynnik bardziej bezpieczny dla środowiska, tym mniej bezpieczny dla człowieka. Wymusza to na producentach zwrócenie szczególnej uwagi na bezpieczeństwo użytkownika projektowanych urządzeń oraz wpływa na ograniczenie ilości czynnika chłodniczego w układach chłodniczych. Na rysunku 3 przedstawiono krzywe nasycenia rozważanych czynników w układzie log p-i. Natomiast rysunek 4 przedstawia zależności ciśnienia parowania względem temperatury.



Rys. 3. Krzywe nasycenia analizowanych czynników na wykresie log p-i

Fig. 3. Refrigerant analyzed saturation curve on log p-i chart



Rys. 4. Zależność ciśnienia parowania względem temperatury

Fig. 4. Dependence of evaporation pressure on temperature

4. Porównanie teoretycznych obiegów pomp ciepła z zastosowaniem czynników o niskim współczynniku GWP

Do porównania idealnych obiegów powietrznych pomp ciepła pracujących z czynnikami o niskim współczynniku GWP przyjęto następujące parametry układu: wydajność grzewczą, temperaturę górnego źródła ciepła, różnicę pomiędzy temperaturą skraplania czynnika chłodniczego a temperaturą górnego źródła ciepła, różnicę pomiędzy temperaturą dolnego źródła ciepła a temperaturą odparowania czynnika chłodniczego, przegrzanie oraz dochłodzenie freonu. Temperaturę dolnego źródła ciepła zmieniano w zakresie od -20°C ÷ 15°C . Przyjęte wartości podano w tabeli 2. Następnie korzystając z wykresów log p-i porównywanych czynników chłodniczych odczytano wartości entalpii w poszczególnych punktach oraz wyliczono współczynnik wydajności grzewczej COP z zależności (1) - (3).

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_k}{i_2 - i_3} \quad (1)$$

$$\dot{N} = \dot{m} \cdot (i_2 - i_1) \quad (2)$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{N}} \quad (3)$$

gdzie: \dot{Q}_k – wydajność grzewcza pompy ciepła [kW],

\dot{N} – zapotrzebowanie na moc sprężarki [kW],

\dot{m} – strumień masy czynnika [kg/s],

i_1 – entalpia czynnika na wylocie parownika, wlot do sprężarki [kJ/kg],

i_2 – entalpia czynnika na wylocie sprężarki, wlot do skraplacza [kJ/kg],

i_3 – entalpia czynnika na wylocie ze skraplacza [kJ/kg],

COP – współczynnik wydajności grzewczej pompy ciepła [-].

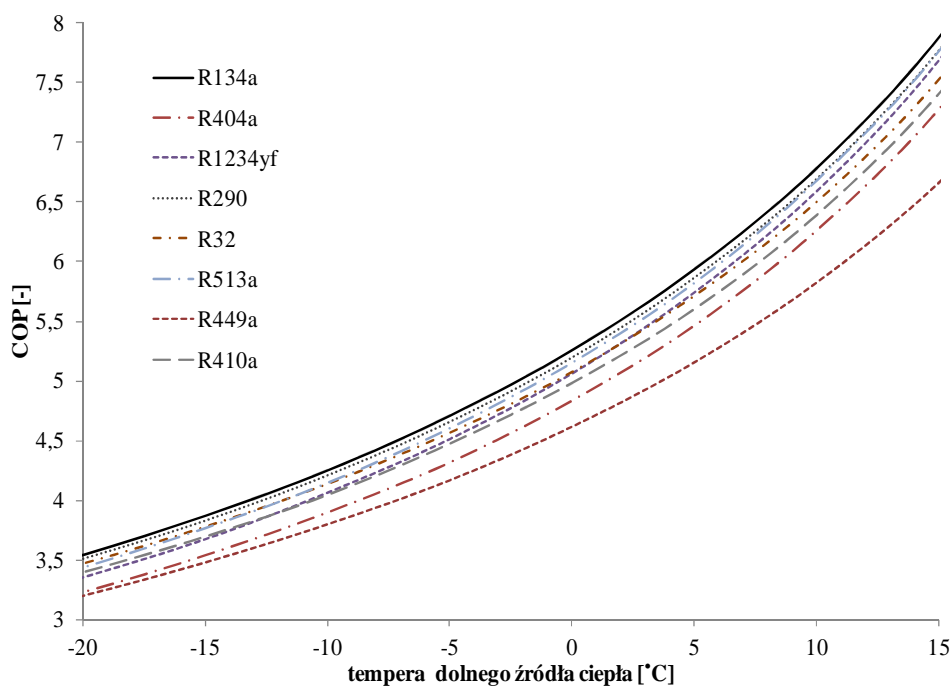
Tabela 2. Parametry obliczeniowe obiegu chłodniczego

Table 2. Calculation parameters of the refrigerant cycle

\dot{Q}_k [kW]	T_G [$^{\circ}\text{C}$]	ΔT_G [K]	ΔT_D [K]	ΔT_{SH} [K]	ΔT_{SC} [K]
10	35	5	10	5	5

\dot{Q}_k - wydajność grzewczą, T_G – temp. górnego źródła ciepła, ΔT_G różnica pomiędzy temperaturą górnego źródła ciepła a temperaturą skraplania czynnika, ΔT_D różnica pomiędzy temperaturą dolnego źródła ciepła a temperaturą odparowania, ΔT_{SH} przegrzanie, ΔT_{SC} dochłodzenie.

Na rysunku 5 przedstawiono otrzymane wartości współczynników COP dla pompy ciepła pracującej na czynnikach o niskich wartościach GWP w różnych temperaturach dolnego źródła ciepła. Można zauważyć, że największe współczynniki COP uzyskuje się dla czynnika R134a. W przypadku stosowania czynników R1234yf oraz R513a o niskim współczynniku GWP zaproponowanych jako zamienniki R134a uzyskuje się niższe wartości COP średnio o około 4% dla R1234yf i 2% dla R513a. Drugim czynnikiem, który uzyskał wysokie wartości COP jest propan (R290). W literaturze często wymieniany jest jako zamiennik R404a. Wartości COP dla R290 są średnio o około 8% wyższe niż dla R404a. Z pośród porównywanych czynników najniższe wartości COP uzyskał czynnik R449a, zamiennik dla R404a. Wartości COP jakie uzyskano dla porównywanego układu z tym czynnikiem były niższe średnio o 5% w porównaniu do R404a.



Rys. 5. Zależność współczynnika COP od temperatury dolnego źródła ciepła

Fig. 5. The dependence COP factor of the heat source temperature

5. Podsumowanie

Dobór odpowiedniego czynnika dla układu pompy ciepła nie jest zagadnieniem łatwym. Należy pogodzić ze sobą trzy aspekty: wydajność urządzenia, bezpieczeństwo dla środowiska oraz bezpieczeństwo użytkownika i wybrać optymalny czynnik. Troska o środowisko oraz spełnianie wymagań legislacyjnych wymusza na producentach stosowanie w układach chłodniczych czynników o niskich współczynnikach GWP. Z drugiej strony klient wymaga od produktu jak największej efektywności pracy. W przypadku analizowanych czynników, nowe substancje są bezpieczniejsze dla środowiska i osiągają na ogół niższe wartości współczynników COP, jednak różnica ta nie przekracza więcej niż 5%. Bardzo dobrym zamiennikiem wydaje się być czynnik R290. Uzyskał one wyższe wartości współczynnika COP, w stosunku do R404a. Minusem jest wyższa klasa palności. Wpływa to niestety negatywnie na bezpieczeństwo użytkownika. Zmiany czynników na początku zawsze wywołują kontrowersję i wzbudzają obawę, jednak należy szukać nowych substancji i wprowadzać je do użytku z uwagą na to, że problem ocieplania klimatu jest problemem globalny i posiada długi horyzont czasowy.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r.
- [2] Zalewski W.: Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne, IPPU Masta, Gdańsk 2001.
- [3] PORT PC: Spektakularny wzrost rynku powietrznych pomp ciepła w 2015 roku, Chłodnictwo & Klimatyzacja, nr 1-2 (204), 2016, s. 31-32.
- [4] Wesołowski A., Kontrowersje związane z R1234yf jako czynnikiem chłodniczym, Chłodnictwo & Klimatyzacja, nr. 10 (146), 2010, s. 16-19.
- [5] Bonca Z., Butrymowicz D., Dambek D., Targański W., Poradnik Czynniki chłodnicze i nośniki ciepła – własności cieplne, chemiczne i eksploatacyjne., IPPU Masta, 1998.
- [6] Bohdal T., Charun H., Kuczyński W.: Analiza wyboru czynników roboczych dla sprężarkowych wysokotemperaturowych powietrznych pomp ciepła. Chłodnictwo, nr. 9, 2015, s. 24-32.
- [7] Bohdal T., Charun H., Sikora M.: Wybrane aspekty prawno-techniczne i ekologiczne stosowania sprężarkowych pomp ciepła. Annual Set The Environment Protection, vol.17, 2015, p. 461-484.
- [8] Targański W.: Alternatywne syntetyczne czynniki chłodnicze. Chłodnictwo & Klimatyzacja, nr 1-2 (204), 2016, s. 58-61.
- [9] Kałuża J., Zasada D.: Co nowego w sprawie F-gazów? Chłodnictwo & Klimatyzacja, nr. 4 (206), 2016, s.10-11.
- [10] Czynniki chłodnicze – raport bitzer wydanie 18.

LOW GWP REFRIGERANTS APPLIED IN AIR HEAT PUMP

Summary

The paper presents the current legal situation of the refrigerants used in heat pumps, refrigeration and air conditioning systems, it also discusses their impact on the environment. Regulations include a plan to reduce the use of refrigerants that influence on global warming. Moreover, in the article was made the analysis of the heat pump market in Poland in the years 2010-2015. Particularly attention was paid to the air-water heat pump, which in 2015 recorded increase in sales. The increase was approximately 70% compared to 2014. Due to the low investment cost, air-water heat pump only for utility hot water have a large market share. Selection of a suitable refrigerant becomes a difficult issue, because of the regulations. The chosen refrigerant should be safe for environment and had very good thermodynamic properties. Additionally, show properties of ideal refrigerant and the criteria which should be consider in the selection process of new refrigerant. Furthermore was made a comparison of suggested alternative refrigerant with low GWP, which can be used in air heat pumps. For this comparison, it was assumed ideal single stage refrigerant cycle for the heat pump with constant heat sink temperature, superheating and subcooling of refrigerant. Temperature of heat source was in the range of -20C to +15C. The analysis of the proposed refrigerants has been made in changing the coefficient of performance COP compared to the currently used refrigerants.

Keywords: COP factor, R1234yf, heat pump market in Poland, ODP

DOI:10.7862/rb.2016.275

Przesłano do redakcji: 19.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Jan KRUPA¹
Andrzej MANTAJ²
Piotr KOSZELNIK³

GOSPODARKA ENERGETYCZNA A OCHRONA ŚRODOWISKA W OPINII RÓŻNYCH GRUP RESPONDENTÓW - część II

Badania miały na celu analizę opinii respondentów w zakresie gospodarki energetycznej, jej oddziaływania na środowisko oraz znaczenia różnych źródeł energii. Materiał badawczy stanowiło 1036 kwestionariuszy ankiet, wypełnionych w okresie październik – grudzień 2015 r. W celu określenia wpływu charakterystyk opisujących respondentów na prezentowane przez nich oceny, podzielono ich na grupy z uwagi na wiek, płeć, miejsce zamieszkania, wykształcenie i deklarowany stopień zainteresowania zagadnieniami z zakresu ochrony środowiska. Do weryfikacji wpływu tych charakterystyk na poglądy ankietowanych osób zastosowano statystyki testu chi-kwadrat. Badania wykazały, że ogólnie niska ocena poziomu wiedzy społeczeństwa dotyczącej problematyki ochrony przyrody była bardziej pesymistyczna u osób z wykształceniem zawodowym i średnim oraz prezentujących niższy poziom zainteresowania ekologią. Jednocześnie osoby te oraz kobiety, osoby starsze oraz absolwenci szkół wyższych, jako bardziej znaczący uznali wpływ człowieka na globalne ocieplenie. Na węgiel kamienny, jako najważniejsze źródła energii w gospodarce kraju, wskazywali mieszkańcy miast oraz osoby mniej zainteresowane problematyką ochrony środowiska, a ta ostatnia grupa osób upatrywała w tym surowcu także najbardziej znaczące źródło energii dla gospodarki podkarpackiej. Spośród rozważanych w opracowaniu źródeł energii odnawialnej praktycznie największy potencjał posiada biomasa, a potrzebę jej szerszego wykorzystywania w gospodarce podnosili mężczyźni, natomiast możliwość zwiększenia jej znaczenia w mieszkalnictwie - absolwenci szkół wyższych. Ponadto większymi zwolennikami budowy elektrowni atomowej okazali się mężczyźni, osoby młodsze i mieszkańcy wsi. Przeprowadzona analiza dowodzi często pewnych niezgodności między opiniami respondentów, a rzeczywistym stanem problematyki będącej przedmiotem badań. Stąd niezbędna staje się potrzeba pełniejszego informowania społeczeństwa o stanie i kierunkach rozwoju gospodarki energetycznej w oparciu o rzetelne argumenty.

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Jan Krupa, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, adres pocztowy e-mail: jkrupa@wsiz.rzeszow.pl

² Andrzej Mantaj, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie

³ Piotr Koszelnik, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury

Słowa kluczowe: emisja zanieczyszczeń, zanieczyszczenie klimatu, konsultacje społeczne, energetyka jądrowa

1. Wprowadzenie

W pierwszej części opracowania przedstawiono ogólne profile opinii respondentów w zakresie stanu i wybranych uwarunkowań jakości środowiska związanych głównie z oddziaływaniem gospodarki energetycznej oraz możliwości wykorzystywania różnego rodzaju źródeł energii, przy pominięciu charakterystyk osób, które uczestniczyły w badaniach. Przypuszczać jednak należy, że charakterystyki te mogły mieć duży wpływ na wyrażane przez ankietowanych sądy, co stanowi przedmiot analizy w niniejszej części opracowania.

Osoby, które wzięły udział w badaniach, zamieszkiwały w zdecydowanej większości teren województwa podkarpackiego. Jako determinanty zróżnicowania wypowiedzi respondentów przyjęto ich wiek, płeć, miejsce zamieszkania, wykształcenie i deklarowany poziom zainteresowania ochroną środowiska. W celu określenia istotności powiązań między cechami ankietowanych grup osób a wyrażanymi przez nie ocenami posłużono się statystyką nieparametrycznego testu chi-kwadrat (χ^2).

2. Materiał źródłowy i metodyka analizy wyników badań

Analizę przeprowadzono w oparciu o wypełnione, przez 1036 osób w okresie październik – grudzień 2015 r., kwestionariusze ankiet. Respondenci w zdecydowanej większości byli mieszkańcami województwa podkarpackiego (995), a ponadto województw: lubelskiego (21), małopolskiego (15) oraz śląskiego (5). W trakcie omawiania badanych problemów podawano rzeczywistą liczbę wypowiedzi dotyczącą danego zagadnienia, ponieważ niektóre kwestionariusze nie zawierały kompletu odpowiedzi.

Opinie były prezentowane głównie poprzez wybór jednego z trzech poziomów akceptacji podanych stwierdzeń, opisujących przedmiot badania, przy czym 1 oznaczało zawsze najwyższy stopień jego aprobaty. Inne wypowiedzi miały charakter zero-jedynkowy i polegały na przyjęciu lub odrzuceniu danego poglądu, co zaznaczano w tablicach poprzez odpowiednio cyfry 1 i 2.

Chcąc uchwycić determinanty wypowiedzi respondentów, dzielono ich kolejno na dwie grupy z uwagi na ich wiek (do i powyżej 25 lat), płeć, miejsce zamieszkania (wieś i miasta), wykształcenie (zawodowe i średnie oraz wyższe) i deklarowane przez nich zainteresowanie ochroną środowiska (małe i duże). W wyniku tego postępowania, zebrane dane należało grupować w dwudzielnych tablicach liczebności o wymiarach 2x2 lub 2x3. Zakładając niezależność kryteriów stanowiących podstawę konstruowania kolejnych tablic, tj. charakterystyk respondentów oraz ich wyborów odpowiedzi, do weryfikacji tych hipotez

o niezależności wykorzystano statystyki nieparametrycznego testu chi-kwadrat (χ^2) [2].

Obliczenie tej statystyki poprzedziło wyznaczenie odpowiadających liczebnościom empirycznym takich liczebności hipotetycznych, które spełniają warunek niezależności. Przyjmując, że p_{ij} jest prawdopodobieństwem przynależności losowo wybranego elementu do klasy i oraz j z uwagi na opisujące wiersze i kolumny zmienne, a p_i i p_j są prawdopodobieństwami brzegowymi w tablicy, hipotezę zerową można wyrazić⁽¹⁾:

$$H_0: p_{ij} = p_i p_j \text{ dla par wskaźników } i, j \quad (1)$$

a hipotezę alternatywną opisuje:

$$H_1: p_{ij} \neq p_i p_j \text{ dla niektórych par wskaźników } i, j \quad (2)$$

Prawdopodobieństwa brzegowe wyznaczono jako:

$$\hat{p}_{ij} = n_{ij} / n \quad (3)$$

oraz

$$\hat{p}_{.j} = n_{.j} / n. \quad (4)$$

Wartości oczekiwane, zakładając niezależność zmiennych, obliczymy:

$$\hat{n}_{ij} = n \hat{p}_{i.} \hat{p}_{.j} = n(n_{i.} / n)(n_{.j} / n) = (n_{i.} n_{.j}) / n. \quad (5)$$

Statystykę testu chi-kwadrat ustalono na podstawie wzoru:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \frac{(|n_{ij} - \hat{n}_{ij}| - 0,5)^2}{n_{ij}} \quad (6)$$

a uwzględnione w liczniku poprawki Yates'a (-0,5) dotyczyły tablic 2x2, w celu przybliżenia dyskretnego rozkładu statystyki testu przez ciągły rozkład chi-kwadrat.

Liczbę stopni swobody określa iloczyn $(k-1)(l-1)$, a hipotezę zerową odrzucono przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, gdy $\chi^2 \geq \chi_{\alpha, (k-1)(l-1)}^2$.

3. Analiza wyników badań

Analiza rozkładów opinii respondentów na tle ich charakterystyk dla wszystkich tych zależności, które wykazały statystyczną istotność, zostanie poprzedzona prezentacją cech opisujących respondentów z uwagi na ich wiek, płeć, miejsce zamieszkania, wykształcenie oraz stopień zainteresowania problematyką w zakresie ochrony środowiska, które przedstawiono w tabeli 1.

Około 60% liczby ankietowanych stanowiły osoby w wieku powyżej 25 lat oraz kobiety, natomiast osób z wykształceniem średnim lub zawodowym było 62,5%, a mieszkańców wsi 55%. Przeważająca większość, bo ok. 81% osób wykazywało mniejsze zainteresowanie ochroną środowiska. Tak więc podobne okazały się rozkłady liczebności osób z uwagi na wiek, płeć i wykształcenie, a rozkład ten ze względu na miejsce zamieszkania był zbliżony do poprzednich.

Tabela 1. Charakterystyka respondentów

Table 1. The characteristics of the respondent

Wyszczególnienie	Cechy różnicujące respondentów									
	Wiek (lata)		Płeć		Zamieszkanie		Wykształcenie		Zainteresowanie ochroną środow.	
	≤ 25	> 25	K	M	Wieś	Miasto	Zaw./Śr.	Wyższe	Mała	Duża
Liczba respondentów	416	620	617	419	570	466	648	388	838	198
Odsetek respondentów [%]	40,2	59,8	59,6	40,4	55,0	45,0	62,5	37,5	80,9	19,1

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 2 podano oceny respondentów dotyczące poziomu wiedzy społeczeństwa w zakresie ochrony środowiska oraz wpływu człowieka na globalne ocieplenie. Okazuje się, że osoby z wyższym wykształceniem pozytywniej oceniały wiedzę społeczeństwa dotyczącą ochrony przyrody, aniżeli osoby z wykształceniem zawodowym i średnim. Podobną, ale jeszcze bardziej jednoznaczną w tym względzie opinię miały osoby, które deklarowały większe zainteresowanie problematyką ochrony środowiska.

Tabela 2. Uwarunkowania ocen poziomu wiedzy społeczeństwa na temat ochrony środowiska i wpływu człowieka na globalne ocieplenie wg odsetek 1036 wypowiedzi [%]

Table 2. Assessment of the level of public awareness on environmental protection and the human impact on global warming. Opinion of 1,036 respondents [%]

Problemy ekologiczne	Skala zjawiska	Respondenci i odsetki ich odpowiedzi [%]											
		Wiek			Płeć			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤ 25	> 25	Stat. ist..	Kobiety	Mężcz.	Stat. ist..	Zaw./sr.	Wyższe	stat. ist..	Mała	Duża	Stat. ist..
Wiedza społeczeństwa dotycząca ochrony środowiska	1							9,7	13,4	**	7,7	25,3	**
	2							37,5	28,1		34,4	32,3	
	3							52,8	58,5		57,9	42,4	
Wpływ człowieka na globalne ocieplenie	1	50,5	62,1	**	63,2	48,9	**	52,2	66,2	**	53,9	72,2	**
	2	32,5	24,0		25,9	29,6		29,0	24,7		29,0	20,7	
	3	17,0	13,9		10,9	21,5		18,8	9,1		17,1	7,1	

*- istotność przy prawdopodobieństwie p=0,05

**- istotność przy prawdopodobieństwie p=0,01

Źródło: opracowanie własne

Tak więc tylko te dwie charakterystyki różnicowały respondentów pod względem oceny wiedzy społeczeństwa dotyczącej ochrony środowiska. Trudno jednak ustalić, jak własne oceny były „projektowane” na opinie o innych osobach w zakresie tej problematyki.

Z kolei opinie o stopniu wpływu człowieka na globalne ocieplenie różniły respondentów ze względu na cztery ich charakterystyki. Otóż wpływ ten za większy uważały kobiety oraz osoby starsze, absolwenci szkół wyższych i osoby wykazujące, w ich mniemaniu, większe zainteresowania ochroną środowiska. Pogląd ten powiązany był zapewne z większą wrażliwością tych osób na problematykę ochrony przyrody, a przez to i z bardziej wyostrzonym dostrzeganiem potrzeb podejmowania w jej interesie aktywnych działań.

Z przedstawionych w tabeli 3 ocen stopnia szkodliwości poszczególnych gazów cieplarnianych, z uwagi na skalę ich oddziaływania na zdrowie człowieka wynika, że najczęściej wskazywano dwutlenek węgla, przy czym zagrożenie z jego strony bardziej podkreślały osoby starsze. Kolejnymi gazami cieplarnianymi, względem których opinie o wpływie na zdrowie człowieka różnicowała respondentów, były freony i halony. Mocniej ich siłę oddziaływania podnosiły osoby o większych zainteresowaniach ochroną środowiska, absolwenci szkół wyższych oraz kobiety. Z kolei wyższe zagrożenie ze strony tlenków siarki bardziej podkreślały osoby młodsze. Za największe źródło emisji tlenków siarki uważa się przemysł paliwowo-energetyczny, a dla freonów i halonów, będących przyczyną zmniejszania się stężenia ozonu w atmosferze i powodujących przez

to efekt „dziury ozonowej” wykorzystywanie urządzeń gaśniczych, chłodniczych, spieniających, środków w aerozolu oraz rozpuszczalnikach, przy czym w ostatnich latach ogranicza się znacznie ich stosowanie.

Tabela 3. Uwarunkowania ocen szkodliwości gazów cieplarnianych ze względu na skalę ich oddziaływania na zdrowie człowieka wg odsetek 1036 wypowiedzi [%]

Table 3. Assessment of a harmfulness of greenhouse gases due to the scale of their impact on human health. Opinion of 1,036 respondents [%]

Gazy cieplarniane	Skala zjawiska	Respondenci i odsetki ich odpowiedzi [%]											
		Wiek			Płeć			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤ 25	> 25	Stat. ist..	Kobiety	Mężcz.	Stat. ist..	Zaw./sr.	Wyższe	Stat. ist..	Miała	Duża	Stat. ist..
Dwutlenek węgla	1	25,7	33,5	**									
	2	74,3	66,5										
Freony i halony	1				18,5	26,7	**	19,3	26,0	*	20,5	27,3	*
	2				81,5	73,3		80,7	74,0		79,5	72,7	
Tlenki siarki	1	20,4	14,0	**									
	2	79,6	86,0										

*- istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 4 przedstawiono strukturę opinii dotyczących stopnia potrzeb wykorzystywania tradycyjnych źródeł energii w gospodarce kraju. Mając na uwadze węgiel kamienny, za którego stosowaniem opowiadał się największy odsetek badanych (część 1), częstszymi zwolennikami tego rozwiązania okazali się mieszkańcy miast oraz osoby mniej interesujące się problematyką ochrony środowiska. Ta ostatnia grupa respondentów zdecydowanie częściej wskazywała też potrzebę wykorzystywania węgla brunatnego. Osoby starsze były większymi zwolennikami stosowania gazu, a kobiety – ropy naftowej. Z kolei absolwenci szkół wyższych oraz osoby deklarujące wyższy stopień zainteresowania ochroną środowiska okazały się większymi zwolennikami korzystania z łupków bitumicznych. Za stosowaniem energii jądrowej opowiadali się częściej mężczyźni oraz osoby młodsze.

Tabela 4. Uwarunkowania ocen dotyczących potrzeb korzystania z źródeł energii przez polską gospodarkę wg odsetek 991 wypowiedzi [%]

Table 4. Assessments of the needs of the use of energy by the Polish economy. Opinion of 991 respondents [%]

Źródła energii	Respondenci i odsetki ich odpowiedzi [%]															
	Znaczenie źródła energii	Wiek			Płeć			Miejsce zamieszkania			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		< 25	> 25	Stat. ist.	Kobiety	Mężcz.	Stat. ist.	Wieś	Miasto	Stat. ist.	Zaw./śr.	Wyższe	Stat. ist.	Mala	Duża	Stat. ist.
Węgiel kamienny	1						46,5	50,6	*				51,1	36,8	**	
	2						29,6	21,9					25,9	26,9		
	3						23,9	27,5					23,0	36,3		
Węgiel brunatny	1												40,9	26,4	**	
	2												34,1	39,4		
	3												25,0	34,2		
Ropa	1				24,2	20,4	**									
	2				52,0	42,3										
	3				23,8	37,3										
Gaz	1	36,7	49,7	**												
	2	45,5	40,0													
	3	17,8	10,3													
Energia jądrowa	1	23,8	19,6	*	19,7	23,7	**									
	2	25,4	21,0		20,0	27,5										
	3	50,8	59,0		60,3	48,8										
Łupki bitumiczne	1									21,6	31,1	**	20,9	42,5	**	
	2									26,1	24,3		25,8	23,8		
	3									52,2	44,7		53,3	33,7		

*- istotność przy prawdopodobieństwie p=0,05

**- istotność przy prawdopodobieństwie p=0,01

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 5 zebrano dane opisujące opinie dotyczące potrzeby korzystania z alternatywnych źródeł energii w gospodarce polskiej, spośród których najczęściej było zwolenników kolektorów słonecznych i ogniw fotowoltaicznych (część 1). Pod tym względem zróżnicowanie respondentów polegało, m.in. na tym, że kobiety częściej wskazywały na potrzebę stosowania kolektorów słonecznych, natomiast mężczyźni większe znaczenie przypisywali ogniom fotowoltaicznym oraz biomasie. Z kolei za szerszym wykorzystywaniem energii wiatru optowały osoby młodsze, a na możliwość powszechniejszego stosowania geotermii i drewna w zaspokajaniu potrzeb energetycznych polskiej gospodarki zwracali uwagę mieszkańcy miast, osoby o wykształceniu zawodowym lub średnim oraz mniej zainteresowane problematyką ochrony środowiska.

Tabela 5. Uwarunkowania ocen dotyczących potrzeb korzystania z alternatywnych źródeł energii przez polską gospodarkę wg odsetek 968 wypowiedzi [%]

Table 5. Assessments of the needs of the use of alternative sources of energy for the Polish economy. Opinion of 968 respondents [%]

Źródła energii	Respondenci i odsetki ich odpowiedzi [%]															
	Wiek			Płeć			Miejsce zamieszkania			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska			
	Znaczenie źródła energii	≤ 25	> 25	Stat. ist..	Kobiety	Mężcz.	Stat. ist..	Wieś	Miasto	Stat. ist..	Zaw./sr.	Wyższe	Stat. ist..	Mala	Duża	Stat. ist..
Kolektory słoneczne	1				61,8	52,6	*									
	2				31,4	38,5										
	3				6,8	8,9										
Ogniwa fotowoltaiczne	1				44,1	48,5	*									
	2				47,7	39,5										
	3				8,2	12,0										
Energia wiatru	1	36,0	29,1	**												
	2	55,4	56,8													
	3	8,6	14,1													
Geotermia	1							9,4	14,7	*	12,4	10,8	*	12,6	8,2	*
	2							58,9	54,5		53,3	63,0		54,7	66,5	
	3							31,7	30,8		34,3	26,2		32,7	25,3	
Biomasa	1				11,6	13,0	*									
	2				51,4	58,9										
	3				37,0	28,1										
Drewno	1							10,1	11,9	*	12,0	9,1	**	11,7	7,7	*
	2							36,8	29,0		37,5	26,2		34,6	27,5	
	3							53,1	59,1		50,5	64,6		53,7	64,8	

*- istotność przy prawdopodobieństwie p=0,05

**- istotność przy prawdopodobieństwie p=0,01

Źródło: opracowanie własne

Charakterystykę ocen respondentów dotyczącą potrzeb korzystania z tradycyjnych źródeł energii przez gospodarkę podkarpacką zaprezentowano w tabeli 6. Większymi zwolennikami znaczenia węgla kamiennego w tym zakresie częściej okazywały się, tak jak poprzednio, osoby mniej zainteresowane problematyką środowiska. Optowały one również, a wraz z nimi respondenci młodszy wiekiem, za szerszym wykorzystywaniem w tym celu węgla brunatnego. Na znaczenie możliwości powszechniejszego pozyskiwania energii z gazu większą uwagę zwracały kobiety, absolwenci szkół wyższych oraz osoby starsze i bardziej zainteresowane ochroną środowiska. Na możliwości szerszego stosowania w tym celu ropy naftowej wskazywały natomiast kobiety i osoby starsze. Ponad-

to wśród absolwentów szkół wyższych oraz osób zainteresowanych ekologią powszechniejsze było przekonanie o możliwości szerszego wykorzystania łupków bitumicznych jako źródła energii, co wiąże się z występowaniem tego surowca również na terenie województwa podkarpackiego. Z kolei osoby młodsze i mężczyźni większe znaczenie przypisywali w tym zakresie energii jądrowej.

Tabela 6. Uwarunkowania ocen dotyczących potrzeb korzystania z tradycyjnych źródeł energii przez gospodarkę podkarpacką wg odsetek 987 wypowiedzi [%]

Table 6. Assessments of the needs of the traditional energy sources use by the economy of Podkarpackie voivodeship. Opinion 987 respondents [%]

Źródła energii	Znaczenie źródła energii	Respondenci i odsetki ich odpowiedzi [%]											
		Wiek			Płeć			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		< 25	> 25	Stat. ist..	Kobiety	Mężcz.	Stat. ist..	Zaw./sr.	Wyższe	Stat. ist..	Mała	Duża	Stat. ist..
Węgiel kamienny	1										48,8	31,9	**
	2										26,2	33,5	
	3										25,0	34,6	
Węgiel brunatny	1	39,0	28,8	**							35,7	21,2	**
	2	35,3	39,2								36,8	41,0	
	3	25,7	32,0								27,5	37,8	
Ropa	1	27,2	29,7	**	30,6	25,7	**						
	2	41,1	47,3		47,8	40,2							
	3	31,7	23,0		21,6	34,1							
Gaz	1	35,5	52,2	**	48,8	40,5	**	41,6	52,0	**	42,6	58,0	**
	2	45,1	35,9		39,4	39,9		43,3	33,4		41,7	30,9	
	3	19,4	11,9		11,8	19,6		15,1	14,6		15,7	11,1	
Energia jądrowa	1	22,4	18,6	**	18,0	23,4	**						
	2	27,7	20,6		19,9	28,8							
	3	49,9	60,8		62,1	47,8							
Łupki bitumiczne	1							24,7	31,3	*	23,9	41,0	**
	2							29,5	22,9		27,8	23,9	
	3							45,8	45,8		48,3	35,1	

*- istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$

Źródło: opracowanie własne

Strukturę opinii dotyczących potrzeb korzystania z alternatywnych źródeł energii w mieszkalnictwie przedstawiono w tabeli 7. Oceny te różnicowały respondenci tylko z uwagi na ich wykształcenie oraz stopień zainteresowania problematyką ochrony przyrody. Otóż okazuje się, że większymi zwolennikami

stosowania w tym zakresie ogniw fotowoltaicznych były osoby wykazujące większe zainteresowanie ekologią, natomiast na potencjał geotermii, mogący być wykorzystywany na potrzeby mieszkalnictwa, wskazywały osoby deklarujące niższy poziom zainteresowania ochroną środowiska.

Tabela 7. Uwarunkowania ocen dotyczących potrzeb korzystania z alternatywnych źródeł energii w mieszkalnictwie wg odsetek 982 wypowiedzi [%]

Table 7. Analysis of the needs of the use of alternative energy sources in housing. Opinion of 982 respondents [%]

Źródła energii	Znaczenie źródła energii	Respondenci i odsetki ich odpowiedzi [%]					
		Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		Zaw./sr.	Wyższe	Stat. ist..	Małe	Duże	Stat. ist..
Ogniwa fotowoltaiczne	1				49,5	60,0	*
	2				40,2	30,0	
	3				10,3	10,0	
Geotermia	1				9,1	6,3	*
	2				52,4	63,2	
	3				38,5	30,5	
Biomasa	1	10,5	13,3	**			
	2	52,6	59,7				
	3	36,9	27,0				
Drewno	1	17,2	11,1	**	15,5	12,1	*
	2	43,1	37,8		42,8	34,2	
	3	39,7	51,1		41,7	53,7	

*- istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$

**- istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$

Źródło: opracowanie własne

Oceniając te wybory należy stwierdzić, że pozyskiwanie energii elektrycznej poprzez ogniwa fotowoltaiczne jest ciągle mało efektywne, a przez to ich praktyczne zastosowanie ma mniejsze znaczenie, aniżeli energii geotermalnej. Wykorzystanie obu tych źródeł energii wiąże się jednak z potrzebą poniesienia wysokich kosztów inwestycyjnych, a ich atrakcyjność wynika, m.in. z wielkości ich potencjałów oraz braku szkodliwych wpływów na środowisko.

Absolwenci szkół wyższych częściej, aniżeli osoby z wykształceniem zawodowym i średnim, wskazywali na potrzebę korzystania z biomasy, jako źródła energii. Faktem jest, że obecnie, jak i w najbliższej przyszłości jest to zapewne zdecydowanie najbardziej rozpowszechnione alternatywne źródło energii,

tak z uwagi na proste i efektywne sposoby jej uzyskiwania, jak i formy zastosowania. Z kolei większymi zwolennikami potencjału energetycznego pozyskiwanego z drewna okazały się osoby z wykształceniem zawodowym i średnim oraz nie wykazujące dużego zainteresowania ochroną przyrody, a więc te mniej uzasadnione opinie korelują głównie z wiedzą tych respondentów.

Ostatni problem rozważany w niniejszym opracowaniu wiąże się ze skłonnością zamiany pieca węglowego na inne źródło ogrzewania oraz akceptacją budowy elektrowni atomowej. Rozkład częstości opinii w tym zakresie zebrano w tabeli 8. Więcej zwolenników zamiany pieca węglowego znaleźć można wśród osób starszych, a także w grupie absolwentów uczelni oraz osób deklarujących większe zainteresowanie ochroną środowiska, przy czym mogą dziwić w tym względzie poglądy osób młodszych, co może jednak wynikać z rzadszego korzystania przez nich z innych rodzajów ogrzewania pomieszczeń. Ponadto nie stwierdzono w tym przypadku różnic między opiniami kobiet i mężczyzn oraz mieszkańcami miast i wsi. Problematyka opalania mieszkań węglem staje się coraz częściej przedmiotem powszechnej dyskusji [1], która podnoszona jest w związku ze smogiem pojawiającym się szczególnie w większych aglomeracjach miejskich, położonych na obniżonym terenie i najczęściej w sąsiedztwie cieków wodnych.

Tabela 8. Uwarunkowania ocen stopnia skłonności do zmiany pieca węglowego na inne źródło ogrzewania oraz akceptacji budowy elektrowni atomowej w Polsce wg odsetek 1036 wypowiedzi [%]

Table 8. Assessment of the degree of willingness to change coal furnace for other heating source and acceptance of the construction of a nuclear power plant. Opinion of 1,036 respondents [%]

Rodzaje działań	Znaczenie działania	Respondenci i odsetki ich odpowiedzi [%]														
		Wiek			Płeć			Miejsce zamieszkania			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤ 25	> 25	Stat. ist..	Kobiety	Mężcz.	Stat. ist..	Wieś	Miasto	Stat. ist..	Zaw./śr.	Wyższe	Stat. ist..	Mała	Duża	Stat. ist..
Zamiana pieca węglowego na inne źródło	1	37,7	54,0	**							43,6	53,9	**	45,2	57,1	**
	2	36,8	28,7								32,6	30,9		32,7	28,8	
	3	25,5	17,3								23,8	15,2		22,1	14,1	
Akceptacja budowy elektrowni atomowej	1	25,7	20,2	**	19,0	27,5	**	23,2	21,5	**						
	2	36,5	26,6		32,9	27,2		27,3	34,5							
	3	37,8	53,2		48,1	45,3		49,5	44,0							

*- istotność przy prawdopodobieństwie p=0,05

** - istotność przy prawdopodobieństwie p=0,01

Źródło: opracowanie własne

Opinie dotyczące wykorzystania elektrowni atomowych w energetyce krajowej są zróżnicowane, a odsetek jego zwolenników maleje w miarę zmniejszającej się odległości miejsca ich zamieszkania od miejsca planowanej lokalizacji siłowni. Antagoniści tego rozwiązania powołują się także na występujące w tym zakresie trendy poza granicami Polski, wskazując na trwający od pewnego czasu proces wygaszania tych elektrowni, np. na terenie Niemiec. Wśród respondentów za wykorzystaniem energii jądrowej częściej opowiadały się osoby młodsze, mężczyźni oraz mieszkańcy wsi.

W innych badaniach dotyczących oceny świadomości i zachowań ekologicznych mieszkańców Polski wykazano, że za najważniejszy sposób redukcji zanieczyszczeń powietrza oraz ochrony środowiska uważano stosowanie odnawialnych źródeł energii (48% wskazań) oraz wymianę starych pieców węglowych na piece niskoemisyjne (46%) [3].

4. Podsumowanie

Celem opracowania była analiza opinii respondentów w zakresie gospodarki energetycznej z uwzględnieniem jej oddziaływania na środowisko. Materiał badawczy stanowiło 1036 ankiet wypełnionych przez osoby zamieszkujące w zdecydowanej większości teren województwa podkarpackiego. Jako determinanty zróżnicowania wypowiedzi respondentów przyjęto ich wiek, płeć, miejsce zamieszkania, wykształcenie i deklarowany poziom zainteresowania ochroną środowiska. Za podstawę oceny wpływu tych charakterystyk na poglądy badanych osób przyjęto statystykę testu chi-kwadrat.

Biorąc pod uwagę charakterystyki respondentów, ich opinie w zakresie niskiego poziomu wiedzy społeczeństwa dotyczącej problematyki ochrony przyrody była bardziej pesymistyczna u osób z wykształceniem zawodowym i średnim oraz prezentujących niższy poziom zainteresowania ekologią. Ta ostatnia grupa osób oraz kobiety, osoby starsze oraz absolwenci szkół wyższych, jako większy ocenili wpływ człowieka na globalne ocieplenie. Za korzystaniem z węgla kamiennego, jako najważniejszego źródła energii w gospodarce kraju, opowiadali się mieszkańcy miast oraz osoby mniej zainteresowane problematyką ochrony środowiska, a ta ostatnia grupa osób upatrywała w tym surowcu także najbardziej znaczące źródło energii dla gospodarki podkarpackiej. Z kolei na biomasę, jako praktycznie największe potencjalne źródło energii odnawialnej w gospodarce polskiej wskazywali mężczyźni, a w mieszkalnictwie - absolwenci szkół wyższych. Skłonność zamiany pieca węglowego na inne źródło energii w wyższym stopniu wyrażali absolwenci szkół wyższych, osoby starsze oraz bardziej interesujące się, w swoim mniemaniu, ochroną środowiska, natomiast większymi zwolennikami budowy elektrowni atomowej okazali się mężczyźni, osoby młodsze i mieszkańcy wsi.

Wyniki zaprezentowanej analizy wskazują na duże rozbieżności między opiniami respondentów, a jednocześnie między przedstawionymi ocenami bada-

nych osób a stanem rzeczywistym problematyki będącej przedmiotem badań. Istnieje więc potrzeba ciągłego i bardziej wielostronnego informowania społeczeństwa o problematyce gospodarki energetycznej, jako jednego ze sposobów poprawy jakości życia, a jednocześnie większej akceptacji odpowiednich w powyższym zakresie działań.

W dobie globalnych i regionalnych problemów środowiskowych, zmian klimatycznych, zmniejszania się bioróżnorodności gatunkowej na Ziemi, koniecznością wydaje się zrównoważony rozwój. Gospodarka zrównoważona jest jednym ze sposobów właściwego rozwoju obszarów wiejskich i miejskich, na których ochrona środowiska przyrodniczego traktowana powinna być priorytetowo. Koncepcja zrównoważonego rozwoju jest jedyną strategią umożliwiającą powstrzymanie degradacji środowiska przyrodniczego, a jej wdrożenie warunkuje trwałość egzystencji społeczeństwa [4, 5].

Literatura

- [1] Dec B., Krupa J., Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w aspekcie ochrony środowiska, [w:] Ochrona środowiska w aspekcie zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego Pogórza Dynowskiego, (red.) J. Krupa, T. Soliński, Wyd. Związek Gmin Turystycznych Pogórza Dynowskiego, Dynów 2012, s. 55-83.
- [2] Józwiak J., Podgórski J., Statystyka od podstaw, PWE, Warszawa 1998, s. 358-362.
- [3] Kachaniak D., Skrzyńska J., Trząsalska A., Badanie świadomości i zachowań ekologicznych mieszkańców Polski, Raport TNS Polska dla Ministerstwa Środowiska, Warszawa listopad 2014, na podstawie: <https://www.mos.gov.pl.pdf> (dostęp: 16-06-2016).
- [4] Krupa J., Działania proekologiczne w turystyce szansą na jej zrównoważony rozwój, Zeszyty Naukowe serii; Turystyka i rekreacja, Z. 13(1), Wyższa Szkoła Turystyki i Języków Obcych, Warszawa 2014, s. 5-23.
- [5] Snarski S. J., Rozwój turystyki zrównoważonej w kompleksie przyrodniczo-krajobrazowym Natura 2000 w Hackach, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Nr 782, „Ekonomiczne Problemy Turystyki”, Nr 1(21), Szczecin 2013, s. 79-91.

ENERGY MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE OPINION OF THE VARIOUS CATEGORIES OF RESPONDENTS - Part II

Summary

The study aimed to analyze the respondents' opinion in the field of energy-flux density, its impact on the environment and the importance of different sources of energy. The research material consisted of 1,036 questionnaires, filled in the period October - December 2015. In order to determine the effect of the characteristics that describe the respondents presented their assessment, divided into groups because of their age, gender, place of residence, education and the declared level of interest in issues of environmental concerns. To verify the impact of these characteristics

on the views of people surveyed used statistics chi-square test. Studies have shown that the generally low assessment of the level of public awareness on the problems of conservation was more pessimistic in people with vocational and secondary education as well as presenting a lower level of interest in ecology. At the same time these people and women, elderly people and university graduates, as more significant recognize human impact on global warming. On coal as the main energy source in the country's economy, they pointed urban residents and people less concerned with environmental protection, and the latter group of people saw in the raw material is also the most important source of energy for the Podkarpackie Voivodeship economy. Among considered in the development of renewable energy sources practically the biggest potential has biomass and the need for its wider use in the economy raised men, and the possibility to increase its importance in housing - graduates. In addition, the larger supporters of the construction of a nuclear power plant turned out to be men, younger people, and rural residents. The analysis shows often inconsistencies between the opinions of the respondents, and actual issues of interest. Hence the imperative felt the need to inform the public about the status and development of the energy economy based on sound arguments.

Keywords: emissions of pollutants, climate pollutants, public consultation, nuclear power energy

DOI:10.7862/rb.2016.276

Przesłano do redakcji: 17.10.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Lech LICHOLAŁ¹
Michał MUSIAŁ²

WPŁYW ORGANICZNYCH MATERIAŁÓW ZMIENNOFAZOWYCH NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ PRZEGRODY PRZEZROCZYSTEJ

W niniejszym artykule zaprezentowane zostały wyniki badań pokazujące wpływ zastosowania materiałów zmiennofazowych na poprawę efektywności energetycznej przegrody przezroczystej.

Autorzy przedstawili dotychczasowy stan wiedzy z zakresu materiałów zmienno-fazowych oraz ich wykorzystania wraz z przeszkleniem lub elementami współpracującymi z nimi. Przytoczone zostały również niekonwencjonalne zastosowania materiałów zmiennofazowych, w których zasadne było wykorzystanie ciepła przemiany fazowej do poprawy funkcjonowania wybranych rozwiązań.

Badaniom zostało poddane przeszklenie o powierzchni 0,64m², w komorze o kubaturze 1m³. Prace badawcze zostały przeprowadzone w rzeczywistych warunkach klimatycznych w Rzeszowie w III kwartale 2015 roku. Przeszklenie zostało poddane modyfikacji z wykorzystaniem paneli zawierających materiał zmienno-fazowy, mobilnej izolacji termicznej magazynująco-refleksyjnej z zaaplikowanym materiałem zmienno-fazowym oraz rolet z materiałem zmienno-fazowym.

Otrzymane wyniki uzasadniają racjonalność użycia materiałów zmienno-fazowych do zwiększenia bezwładności cieplnej przegrody, a co z tym związane zmniejszeniem wrażliwości wyżej wymienionej przegrody na chwilową zmianę temperatury powietrza zewnętrznego oraz natężenia promieniowania słonecznego.

Uzyskane wyniki ukazują zarówno potencjał powyższego zagadnienia, jak i jego wady. Kluczowe znaczenie ma odpowiedni dobór materiału zmienno-fazowego (np. temperatura przemiany fazowej oraz ciepło topnienia-krzepnięcia).

Autorzy zwracają uwagę na funkcję, jaką ma spełniać opisywany materiał, poprzez jego ulokowanie w przegrodzie w zależności od potrzeby ograniczenia przechłodzenia oraz przegrzewania pomieszczeń. Niewłaściwy dobór wyżej wymienionych parametrów uniemożliwia efektywne wykorzystanie właściwości materiału zmienno-fazowego.

Słowa kluczowe: substancje zmiennofazowe, przegrody przezroczyste, ciepło utajone, mobilna izolacja termiczna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Lech Licholał, Politechnika Rzeszowska, Zakład Budownictwa Ogólnego, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651327; Lech.Licholał@prz.edu.pl

² Michał Musiał, Politechnika Rzeszowska, Zakład Budownictwa Ogólnego, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651005; mmusial@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

W celu zmniejszenia kosztów ogrzewania oraz chłodzenia pomieszczeń od lat prowadzone są badania z zakresu wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz efektywności magazynowania ciepła. Jednym ze sposobów na zwiększenie efektywności energetycznej przegrody budowlanej jest wykorzystanie materiałów zmiennofazowych PCM (ang. phase change materials).

Przykłady zastosowań wyżej wymienionych materiałów szerzej zostały opisane w [5] gdzie prezentowane są eksperymentalne wyniki badań oraz systematyzowany jest stan wiedzy w zakresie wykorzystania materiałów zmiennofazowych we współpracy z tradycyjnymi materiałami budowlanymi. Jako najczęściej spotykane PCMy w budownictwie wymienia się, opisane szerzej w [1], węglowodory nasycone, kwasy tłuszczowe i ich mieszanki oraz estry kwasów tłuszczowych. Przyniesione wyniki badań wskazywały, że stosowanie materiałów zmiennofazowych w przegrodach budowlanych powoduje zmniejszenie dobowych wahań temperatury powietrza w pomieszczeniach, powoduje obniżenie zużycia energii potrzebnej do ogrzewania oraz klimatyzowania budynków o lekkiej, szkieletowej konstrukcji oraz wydłuża czas, w którym temperatura powietrza wewnątrz budynku jest w zakresie komfortu cieplnego.

Badacze w [5] odnoszą się do wielu przykładów zastosowań PCMów w budynkach, zarówno w przegrodach przezroczystych jak i nieprzezroczystych. Warto wspomnieć jest przykład elementów ściennych, zbudowanych z wymiennika ciepła w postaci miedzianego orurowania wraz z dodatkowymi rurkami z PCMem jako magazynem ciepła. Powyższe elementy zostały umieszczone w ścianach połowych komór badawczych, a otrzymane wyniki wskazały na obniżenie wartości gęstości strumienia ciepła w sezonie letnim o odpowiednio 11%, 21%, w przypadku zastosowania granulatu PCM w stosunku wagowym 10% i 20% całej przegrody.

Kolejnym opisanym przykładem użycia materiałów zmiennofazowych jest ich zastosowanie w systemach wykorzystujących pośrednie zyski z promieniowania słonecznego. Opisane w [2],[3],[4] wyniki badań wskazują na możliwe zwiększenie wydajności ścian kolektorowo akumulacyjnych. Poprawa efektywności spowodowana jest zwiększeniem akumulacyjności termicznej w związku z wysoką wartością ciepła utajonego PCMów.

W pracach [7],[8],[9] przedstawione zostały efekty nasycania porowatych materiałów ceramicznych substancjami zmiennofazowymi w celu poprawy ich przewodności cieplnej poprzez wypełnienie porów pianki grafitowej, względem samej parafiny. Z kolei wzrost przewodności cieplnej materiałów ceramicznych nasyconych PCMem skutkuje zwiększeniem efektywności cieplnej PCMu w przegrodzie budowlanej.

Kolejnym przykładem wykorzystania PCM w budownictwie jest opisane w [6] system wykorzystujący materiał zmiennofazowy w celu poprawy efektywności energetycznej przegrody przezroczystej. Zaprezentowane wyniki wskazują na możliwość wydłużenia czasu, w ciągu doby, w jakim temperatura

powietrza w pomieszczeniach znajduje się w pożądanym zakresie, w porównaniu z tradycyjnym przeszkleniem.

2. Cel prowadzonych badań

Celem niniejszych badań jest określenie wpływu zastosowania mobilnej izolacji termicznej zawierającej materiał zmiennofazowy na zmniejszenie szczytowych wartości temperatury w pomieszczeniu w sezonie grzewczym w rzeczywistych warunkach klimatycznych. Artykuł stanowi kontynuację badań prowadzonych nad poprawą efektywności energetycznej przegród przezroczystych oraz elementów współpracujących z nimi, poprzez wykorzystanie w ich budowie substancji zmiennofazowej [1]. Elementem współpracującym z przeszkleniem, który został poddany badaniom oraz został opisany w niniejszej pracy, jest mobilna izolacja termiczna w formie rolety zamontowanej po wewnętrznej stronie przeszklenia.

3. Budowa stanowiska badawczego oraz aparatury pomiarowej

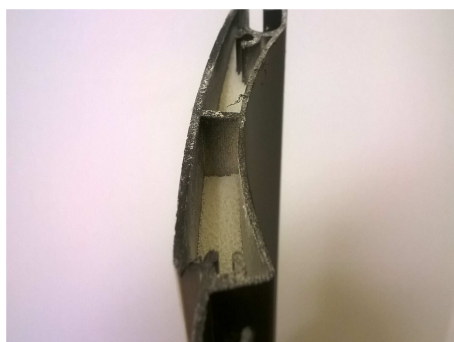
Niniejsze stanowisko badawcze stanowi sześcienna komora o kubaturze 1m^3 zbudowana z pięciu ścian z polistyrenu ekstrudowanego o grubości 10cm oraz okna dwukomorowego z stolarką aluminiową. Pomiary zostały wykonane w rzeczywistych warunkach klimatu zewnętrznego w Rzeszowie, jesienią 2015 roku.

Wnętrze komory zostało podzielone w pionie na dwie części o jednakowej objętości, a przepierzenie zostało wykonane z polistyrenu ekstrudowanego o grubości 5cm. Po obu stronach przepierzenia zamontowana została roleta wewnętrzna, której zewnętrzna strona została pokryta czarną, matową farbą (rys.3, rys.4, rys.5, rys.6). W jednej z rolet umieszczony został mikrogranulat zawierający materiał zmiennofazowy Micronal®, wyprodukowany przez firmę BASF (rys.1, rys.2).



Rys.1. Powlekanie mikrokapsułki zawierające materiał zmiennofazowy, (nazwa handlowa Micronal®)

Fig.1. Coated microcapsules containing PCM



Rys.2. Przekrój poprzeczny przez element mobilnej izolacji termicznej zawierający Micronal®

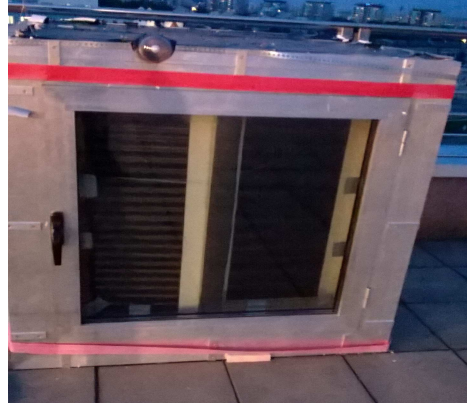
Fig.2. Cross section of reflective-buffering movable thermal insulation

Do komory badawczej zamontowane zostały czujniki natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury wewnątrz oraz na zewnątrz komory. Czujniki temperatury wewnątrz komory umieszczono po każdej stronie przepierzenia, w przestrzeni między szybą a roletą, po wewnętrznej stronie rolety oraz za roletą, pośrodku każdej połowy komory.



Rys.3. Widok komory badawczej znajdującej się na tarasie budynku P. Politechniki Rzeszowskiej

Fig.3. Research chamber on a terrace of building P, University of technology in Rzeszów



Rys.4. Widok komory badawczej z zamontowaną mobilną izolacją termiczną

Fig.4. Research chamber with installed reflective-buffering movable thermal insulation



Rys.5. Zdjęcie aparatury pomiarowej wraz z rejestratorem

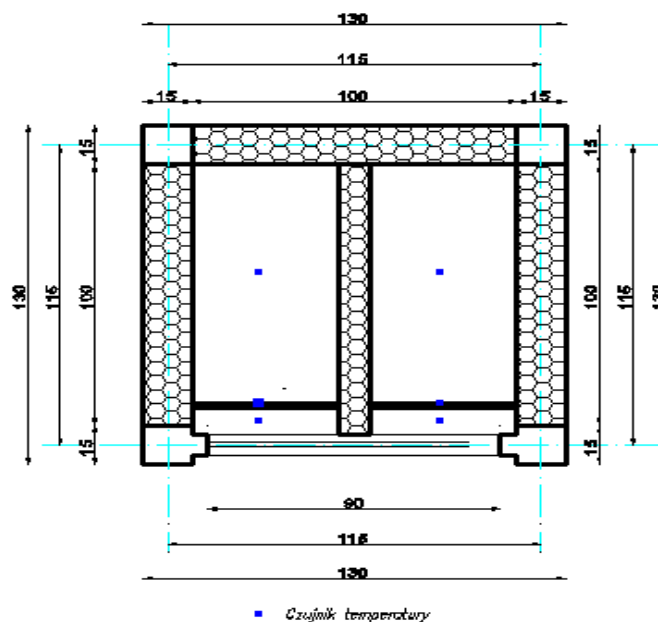
Fig.5. Measuring instruments with data logger



Rys.6. Zdjęcie prototypu mobilnej izolacji termicznej z PCMem od strony powłoki absorpcyjnej

Fig.6. Prototype of reflective-buffering movable thermal insulation. Picture taken from absorption coating side

Dokładny schemat budowy stanowiska badawczego oraz miejsce zamontowania czujników pomiarowych został zamieszczony poniżej na (rys.7).



Rys.7. Przekrój poprzeczny przez komorę badawczą

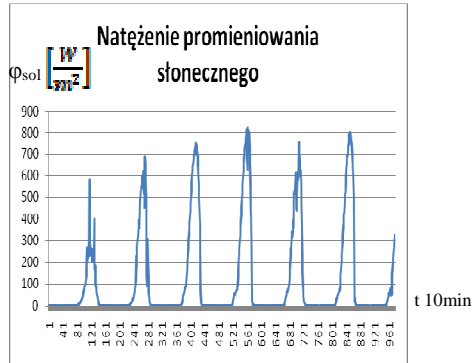
Fig.7. Research chamber cross section

Wszelkie wyniki pomiarowe zostały odczytane oraz zachowane przez rejestrator Ahlborn (rys.5.) w odstępach co 10 min.

4. Wyniki

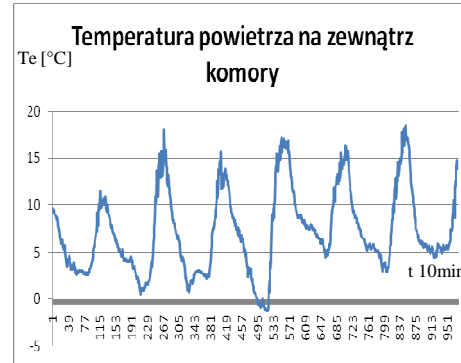
Komora badawcza znajdowała się na tarasie Budynku Politechniki Rzeszowskiej, a pomiary wykonywane były w okresach wysokiego natężenia promieniowania słonecznego.

Poniżej przedstawione zostały wykresy natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury powietrza, które występowały w czasie rejestrowania pomiarów (rys.8, rys.9).



Rys.8. Natężenie promieniowania słonecznego podczas prowadzenia pomiarów

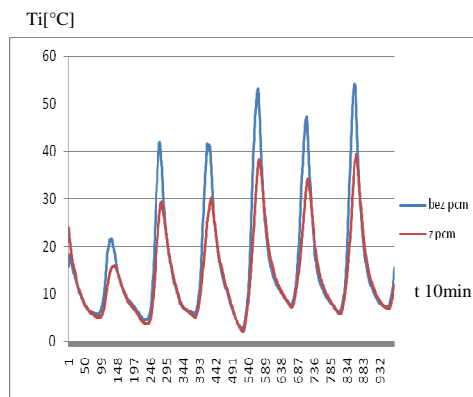
Fig.8. Solar irradiance during the research



Rys.9. Temperatura powietrza na zewnątrz komory

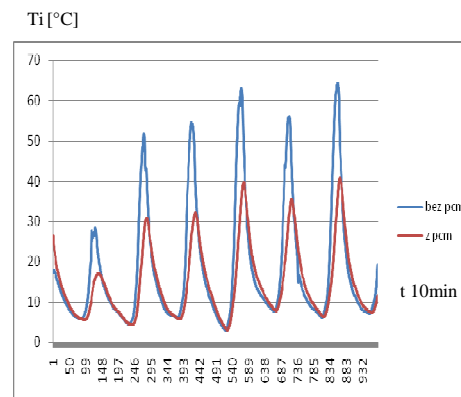
Fig.9. External air temperature

Przedstawione poniżej wyniki temperatur (rys.10, rys.11) na powierzchniach samego przeszklenia oraz przeszklenia z mobilną izolacją termiczną zawierającą materiał zmiennofazowy, ukazują znaczne obniżenie szczytowych wartości temperatur zarówno powierzchni przeszklenia i rolet, jak i temperatury powietrza wewnątrz komory.



Rys.10. Temperatura wewnątrz komory za roletą i przeszkleniem

Fig.10. Air temperature inside the chamber



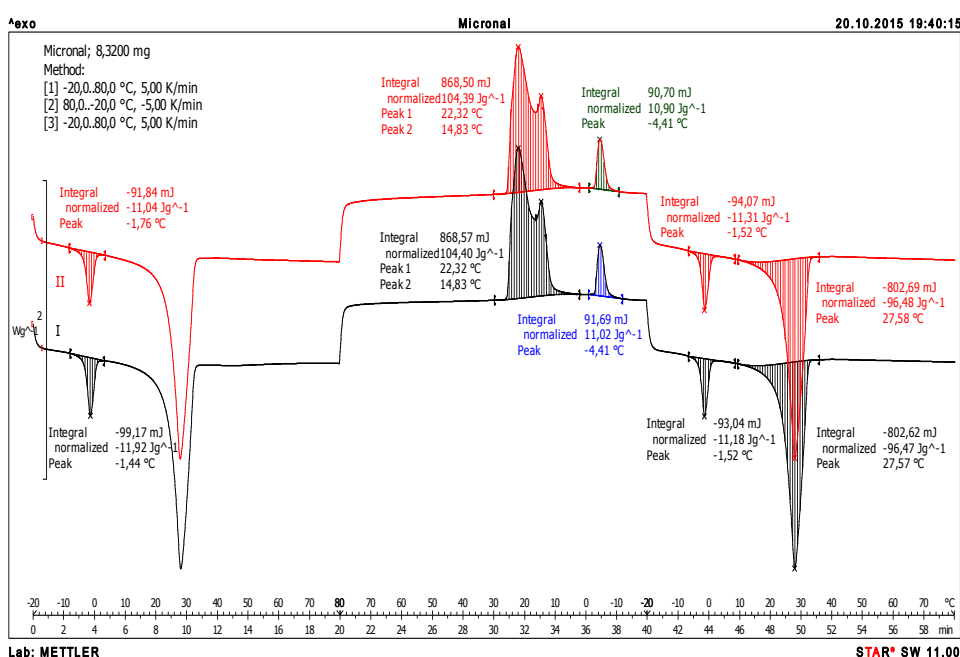
Rys.11. Temperatura na powierzchni przeszklenia i żaluzji

Fig.11. Temperature on IGU's and shutters' surfaces

Otrzymane wyniki potwierdzają zakładane właściwości materiałów zmiennofazowych, które skutkują ograniczeniem przegrzewania komory w momencie występowania wysokich wartości natężenia promieniowania słonecznego, a w momencie jego obniżenia, zaobserwowano dogrzewanie wnętrza komory po

stronie z PCMem. Dogrzewanie związane jest z uwolnieniem energii utajonej PCMu w skutek jego krzepnięcia. Nieco mniejsza od zakładanej efektywność powyższego rozwiązania, spowodowana jest zbyt wysoką temperaturą przemiany fazowej PCMu 34-36 °C, stosunkowo niedużą wartością ciepła przemiany fazowej ok 115 J/g oraz trudnościami w przekazywaniu ciepła wewnątrz rolet, spowodowanymi postacią PCMu - mikrogranulat.

Wartość entalpii przemiany fazowej mikro kapsułek Micronal® podczas ogrzewania oraz chłodzenia próbki została określona za pomocą skaningowego mikrokalorymetru różnicowego DSC (rys.12).



Rys.12. Wykres kalometryczny mikro kapsułek Micronal® zawierających organiczną substancję zmiennofazową

Fig.12. Enthalpy in function of temperature. Characteristic of Micronal® microcapsules with organic PCM

Na powyższym wykresie zaobserwować można podział entalpii topnienia oraz krzepnięcia na dwa obszary przy różnych temperaturach. Powyższe zjawisko wpływa negatywnie na sprawność całego rozwiązania, ponieważ część ciepła utajonego w materiale zmiennofazowym zostanie oddana do otoczenia dopiero przy temperaturach rzędu (ok. -5°C).

5. Wnioski

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań jednoznacznie wskazują na obniżenie szczytowych wartości temperatury przeszklenia z zastosowaną roletą z PCM, względem komory z roletą kontrolną. Wyniki otrzymane w rzeczywistych warunkach klimatu zewnętrznego przedstawiają mniejszą od zakładanej stabilizację temperatury wewnątrz komory poprzez dobór niewłaściwego materiału zmiennofazowego.

Na podstawie wyników kalorymetrycznych określono rzeczywistą wartość entalpii przemiany fazowej ok 115 J/g. Zaobserwowano różne zakresy ciepła przemiany fazowej podczas topnienia oraz krzepnięcia, przy różnych zakresach temperatur np. $\Delta H_{krz1}=105,39$ [J/g] dla $\Delta T_{krz1}=(\text{od } 30^{\circ}\text{C do } 15^{\circ}\text{C})$ oraz $\Delta H_{krz2}= 10,90$ [J/g] dla $\Delta T_{krz2}=(\text{od } 5^{\circ}\text{C do } -10^{\circ}\text{C})$.

Mankamentem badanego materiału zmiennofazowego, poza stosunkowo niską wartością ciepła przemiany topnienie-krzepnięcie (ok.115 J/g), jest istnienie przestrzeni powietrznych między poszczególnymi granulkami PCM, co zmniejsza sprawność przekazu ciepła wewnątrz listew rolet.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu stanu wiedzy z zakresu wykorzystania PCM w budownictwie oraz wykonanych badań autor zauważa potrzebę doboru takiej substancji PCM, aby temperatura przemiany fazowej była zbliżona do maksymalnych osiągniętych w miejscu jej aplikacji.

Pomimo dużego zainteresowania badaczy powyższym zagadnieniem na rynku materiałów budowlanych w dalszym ciągu brak gotowych, ogólnodostępnych produktów. Z tego względu niezbędne są dalsze badania, mające na celu poprawę wydajności wyżej wymienionych rozwiązań oraz poprawę właściwości samych substancji zmiennofazowych.

Literatura

- [1] Musiał M.: Zastosowania materiałów zmiennofazowych (PCM) w budownictwie, s. 42-45, 2015. Dom Wydawniczy Medium, Izolacje z. 195.
- [2] Krasoń J., Lichołai L.: Określenie wpływu impulsów termicznych na wewnętrzne zmiany temperaturowe w elementach silikatowych zmodyfikowanych materiałem zmiennofazowym, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 307-316, DOI:10.7862/rb.2014.97.
- [3] Krasoń J.: Możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych w pasywnych rozwiązaniach ściennych elementów murowych, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 297-306, DOI:10.7862/rb.2014.96.
- [4] Krasoń J., Lichołai L.: Badania laboratoryjne cieplnego funkcjonowania przegród kolektorowo-akumulacyjnych modyfikowanych materiałem zmienno-fazowym, *Fizyka budowlanej w teorii i praktyce*. tom VII, nr 2, 2015, str. 39-44.

- [5] Goia F., Perino M., Serra V.: Improving thermal comfort conditions by means of PCM glazing systems *Energy Build*, 60 (2013), pp. 442-452.
- [6] Kenisarin M., Mahkamov K.: Passive thermal control in residential buildings using phase change materials, *Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 55*, March 2016, pp. 371-398.
- [7] Xiangfa Z., Hanning X., Feng J., Changrui Z., Yonggang J.: Preparation and thermal properties of paraffin/porous silica ceramic composite, *Composites Science and Technology* 69 (2009), pp. 1246-1249.
- [8] Xiangfa Z., Hanning X., Feng J., Changrui Z., Yonggang J.: Pore structure modification of silica matrix infiltrated with paraffin as phase change material, *Chemical Engineering Research and Design* 88 (2010), pp. 1013-1017.
- [9] Yajuan Z., Quangui G., Sizhong L., Jingli S., Lang L.: Heat transfer enhancement of paraffin wax using graphite foam for thermal energy storage, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 94 (2010) pp. 1011-1014.

INFLUENCE OF AN ORGANIC PHASE CHANGE MATERIALS ON ENERGY EFFICIENCY OF TRANSPARENT BARRIER

Summary

This paper describes the results of the research that presents an improving influence of organic PCM on energy efficiency of transparent barrier. Author reviewed an actual knowledge concerning phase change materials and their applications with insulated glass units and other elements of transparent barriers.

Unconventional applications of phase change materials in civil engineering were also mentioned. Insulated glass unit of 0,64 m² surface area was studied in research chamber of one cubic meter volume. Research were conducted in Rzeszów, under real world, outdoor conditions, during third quarter of 2015 year. Insulated glass unit was equipped interchangeably using PCM containing panels, shutters filled with phase change material and with so called reflective-buffering movable thermal insulation.

The results obtained justify using phase change materials as a mean of increasing thermal inertia of the barrier, therefore making it less susceptible for external temperature and solar irradiance changes. Proper choice of phase change materials and its properties, especially melting point and latent heat of fusion) appears to be essential if proper improvement is to be achieved.

Author emphasizes the necessity to predetermine the function of the modification (overheating or overcooling protection), as the function strongly influences an optimal location of phase change material. Improper choice of properties or location of phase change material makes impossible to take full advantage of its potential.

Keywords: Phase change materials, transparent barriers, latent heat, movable thermal insulation

DOI:10.7862/rb.2016.277

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Adam MROZIŃSKI¹

LABORATORYJNA INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA Z MAGAZYNEM ENERGII

W artykule przedstawiono zagadnienie wykorzystania w Polsce i w Europie instalacji fotowoltaicznych (PV) z magazynami energii elektrycznej. Systemy PV będą miały w niedalekiej przyszłości znaczny udział w globalnej produkcji energii elektrycznej. Będzie to istotnie wpływało na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz na poprawę stanu środowiska naturalnego. W pracy przedstawiono budowę laboratoryjnej instalacji PV zlokalizowanej na WIM UTP w Bydgoszczy. Przedstawiono również wybrane wyniki pomiarów rozkładu produkcji i dystrybucji energii elektrycznej w czasie (produkcja przez układ PV, zużycie własne, magazynowanie w akum, przesył do sieci zewn.) z wykorzystaniem systemu monitoringu. W instalacjach PV coraz większe znaczenie mają systemy zarządzania energią oraz układy magazynujące energię elektryczną. Dzięki tym systemom energia elektryczna produkowana w ciągu dnia będzie zużywana na bieżąco. Nadmiar energii trafi do przydomowego akumulatora. Zgromadzona energia efektywnie zostanie wykorzystana wieczorem, kiedy zapotrzebowanie na prąd jest najwyższe. Ewentualne niedobory pokryje energia z sieci - kupiona nocą lub wczesnym rankiem, kiedy cena energii jest najniższa. Inteligentne sieci przesyłowe współpracujące z przydomowymi instalacjami PV z magazynami energii umożliwią skuteczniejsze zarządzanie popytem i podażą energii w całym systemie energetycznym.

Słowa kluczowe: OZE, efektywność, fotowoltaika, magazyny energii

1. Czy magazynowanie energii elektrycznej zmieni rynek PV?

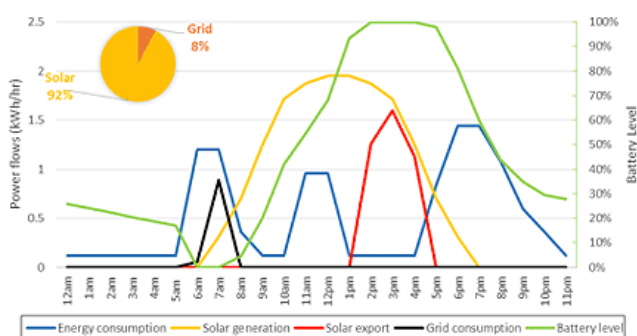
Na rynku przydomowych instalacji fotowoltaicznych (PV) zaczyna zauważać się zjawisko powstawania instalacji PV dedykowanych dla osób, które chcą w całości lub w znacznej mierze zużywać produkowaną energię na własne potrzeby. Do tej pory tak działające instalacje były skomplikowane i wymagały kilku urządzeń, a także bardzo często nie mogły być przyłączone do sieci lokalnego operatora elektroenergetycznego, a co za tym idzie wymagały dedykowanego obwodu, który miały zasilać [2, 3, 4].

¹ Adam Mroziński, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, 85-796 Bydgoszcz, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, tel.: 52 340 84 53, adammmroz@utp.edu.pl, www.amrozinski.utp.edu.pl, www.oze.utp.edu.pl

Drugą wadą była trwałość akumulatorów, która w zależności od wybranej technologii gwarantowała ich pracę jedynie od 3 do 7 lat. Trzecim problemem była spadająca w czasie pojemność akumulatorów oraz konieczność utrzymania ich stanu naładowania na odpowiednim poziomie [1, 2].

Wszystkie powyższe problemy rozwiązują systemy, którego praktyczny przykład przedstawiono w niniejszym artykule. Analizowana instalacja gromadzi nadwyżki energii elektrycznej, która jest produkowana przez instalację fotowoltaiczną. Zagadnienie to przedstawiono na rys. 1. Przedstawiono na nim dobowy rozkład zużycia energii w obiekcie, produkcji energii przez instalację PV, wartość energii dostarczanej do sieci, wartość energii pobieranej z sieci oraz najważniejszy element w postaci poziomu energii pochodzącej z magazynu energii. Jak widać możliwe jest teoretycznie uzyskanie wariantu np. 8% udziału zasilania z sieci. Udział ten będzie oczywiście uzależniony od wielkości instalacji PV oraz od pojemności zastosowanego magazynu energii elektrycznej [7, 8].

Zgromadzone nadwyżki są wykorzystywane w momencie, kiedy wzrasta pobór energii, lub kiedy instalacja fotowoltaiczna nie produkuje energii elektrycznej. W przypadku, kiedy wystąpi awaria sieci elektroenergetycznej, sieć domowa zostaje odłączona poprzez urządzenie sterujące. Dzięki takiemu rozwiązaniu, jeżeli posiadamy naładowaną baterię lub instalacja fotowoltaiczna pracuje, dom może być dalej zasilany przez energię elektryczną. W przypadku instalacji z magazynowaniem energii całą energię (lub spora jej część), którą wyprodukujemy - zużyjemy. Mimo wyższych nakładów inwestycyjnych niż przy instalacji typu on grid, zwrot poniesionych kosztów może być zdecydowanie krótszy, dzięki wykorzystywaniu 100% produkowanej energii na swoje potrzeby. Dla użytkownika takiej instalacji oznacza to, że rachunki za energię elektryczną będą bliskie zeru. Takie rozwiązanie uniezależnia użytkowników od dostawcy energii elektrycznej oraz daje gwarancję, że nawet w przypadku awarii sieci zasilanie obiektu mieszkalnego będzie podtrzymywane.



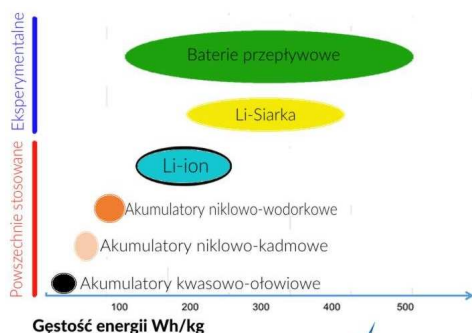
Rys. 1. Schemat popytu i podaży prądu w gospodarstwie domowym wyposażonym w system produkcji i magazynowania energii, na podstawie [8]

Fig. 1. Scheme of demand and supply of electric energy in household equipped on production and storing system, based on [8]

Tego typu rozwiązanie wymaga istotnego założenia ekonomicznego. Należy oczywiście założyć, że koszt magazynów energii będzie spadać. Czy to założenie jest dyskusyjne? Panele słoneczne kosztują obecnie 80% mniej niż pięć lat temu. To samo prawdopodobnie stanie się z akumulatorami do magazynowania energii elektrycznej. A wtedy rynek zmieni się diametralnie. Gdyby założenia te się sprawdziły, powstanie wielu prywatnych magazynów energii w Europie miałyby kolosalny wpływ na wielkich operatorów energetycznych. Mogłoby się okazać, iż klientami tradycyjnych elektrowni zostałyby tylko duże przedsiębiorstwa, a odbiorcy indywidualni staliby się samowystarczalni.

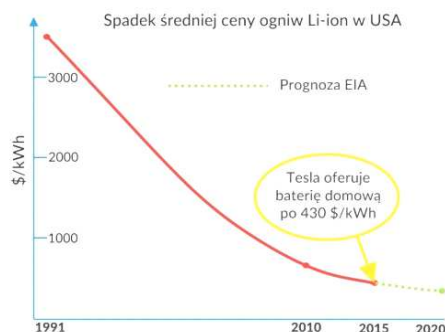
2. Magazynowanie energii - technologiczne wyzwania

Na rynku magazynowania energii elektrycznej zaczynają dominować dziś akumulatory litowo-jonowe, ogniwa oparte o prosty i wydajny mechanizm elektrochemiczny. Nie trzeba ich rozładowywać do końca, co było wadą poprzedniej generacji akumulatorów niklowych. Akumulatory te dobrze znoszą szybkie ładowanie. Są one chwilowo bezkonkurencyjne jeśli chodzi o gęstość gromadzonej energii (2,5-5 razy więcej na jednostkę masy niż akumulator kwasowo-ołowiowy) i wykazują jeszcze spory potencjał rozwojowy. Zdolność do gromadzenia energii wybranych technologii przedstawiono na rysunku 2. Przykładem dynamicznego rozwoju rynku niech będzie oferta cenowa firmy Tesla w zakresie domowych magazynów energii (rys. 3).



Rys. 2. Zdolność gromadzenia energii wybranych technologii baterii, na podstawie [2, 3, 4]

Fig. 2. Ability of energy accumulating of choose technology of battery, based on [2, 3, 4]



Rys. 3. Spadek średniej ceny ogniwa Li-ion w USA, na podstawie [7, 8]

Fig. 3. Fall of average price of Li-ion cells in USA, based on [7, 8]

Warto sobie zdawać sprawę, że większe systemy magazynowania energii, nawet o pojemności rzędu 1 MWh i megawatowej mocy są już komercyjnie dostępne, także z przeznaczeniem dla lokalnych, izolowanych sieci energetycznych opartych o OZE. Takie "wielkomocowe" układy będą musiały być budowane w miarę rozwoju energetyki odnawialnej w Europie [5, 6].

Sukces technologii litowo-jonowej, wynikający m.in. z głównie z komercyjnego rozwoju rynku motoryzacyjnego firmy Tesla, ma oczywiście swoje ograniczenia. Baterie tego typu przez ostatnie 20 lat staniały znacząco, ale tempo spadku cen ostatnio wyhamowało [8]. W miarę rozwoju technologii produkcji decydującą rolę w cenie znacznie prawdopodobnie odgrywać znaczny udział surowców, a zwłaszcza samego litu. Metal ten jest bardzo rozpowszechniony, ale jednocześnie rozproszony i nadające się do eksploatacji złoża nie są zbyt wielkie. W dodatku ponad połowa zasobów jest skoncentrowanych na dnieschniętych słonych jezior na pograniczu Argentyny, Boliwii i Chile. Spadek kosztów wytwarzania może więc zostać zniweczony przez wzrost cen. Zwłaszcza, że potencjalnie znacznie lepsza bateria – litowo-siarczkowa także będzie oparta na tym pierwiastku [6, 8, 10].

3. Budowa laboratoryjnej instalacji fotowoltaicznej z magazynem energii

Laboratoryjną instalację fotowoltaiczną, funkcjonującą na budynku Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy przedstawiono na rysunku 4. W instalacji zastosowano monokrystaliczne moduły fotowoltaiczne o mocy całkowitej 5000W_p. Zamocowano je na dachu budynku hali technologicznej WIM-UTP pod kątem 20 stopni.



Rys. 4. Instalacja fotowoltaiczna na WIM UTP w Bydgoszczy [9]

Fig. 4. Photovoltaic installation on the WIM UTP in Bydgoszcz [9]

W instalacji wykorzystano system Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S. Trójfazowy hybrydowy falownik o mocy 5,0 kW umożliwia gromadzenie w akumulatorze nadmiaru energii wygenerowanej przez instalację fotowoltaiczną. Tego typu układ charakteryzuje się maksymalnym udziałem zużycia energii na potrzeby własne i maksymalną niezależnością od zewnętrznych dostaw energii.

W ten sposób nadmiar energii solarnej można wykorzystać w okresach, gdy tej energii jest mało lub też, gdy w ogóle nie jest wytwarzana. Dzięki funkcji zasilania awaryjnego gospodarstwo domowe może być optymalnie zasilane energią także w przypadku przerw w dostawie energii. Konfiguracja i wizualizacja instalacji jest możliwa za pośrednictwem zintegrowanego serwera www

z interfejsem graficznym, zarówno przez WLAN, jak i Ethernet. Ładowanie akumulatora bezpośrednio od strony DC instalacji PV (ang. DC-coupling) zapewnia także maksymalny współczynnik sprawności całej instalacji.

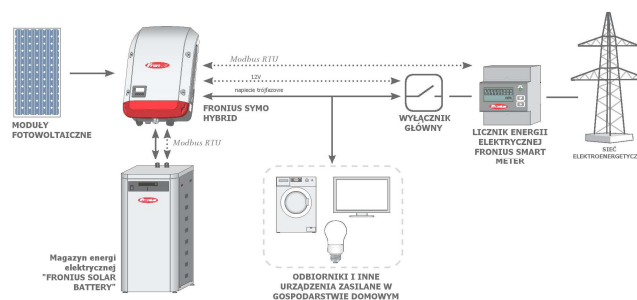
Do magazynowania energii elektrycznej w analizowanej instalacji wykorzystywany był system Fronius Solar Battery. Magazyn energii Fronius Solar Battery to wydajna technologia litowo-żelazowo-fosforanową, która gwarantuje długą żywotność, krótkie czasy ładowania i dużą głębokość rozładowania. Pojemność tego magazynu energii można dostosować do indywidualnych potrzeb obiektu, a także zwiększać w późniejszym czasie. Zakres pojemności baterii akumulatorów wynosi od 4,5 do 12kWh (rys. 5).



Rys. 5. Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S S24, Fronius Smart Meter oraz Fronius Solar Battery, na podstawie [6, 7]

Fig. 5. Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S S24, Fronius Smart Meter and Fronius Solar Battery, based on [6, 7]

Założono, że przy prawidłowo dobranej mocy generatora fotowoltaicznego można uzyskać pełną niezależność energetyczną budynku 1-rodzinny. Podczas realizowanych badań symulowano właśnie tego typu układ energetyczny. Statystycznie jedna osoba w gospodarstwie domowym zużywa 2kWh energii na



Rys. 6. Schemat instalacji z magazynem energii, na podstawie [6, 7]

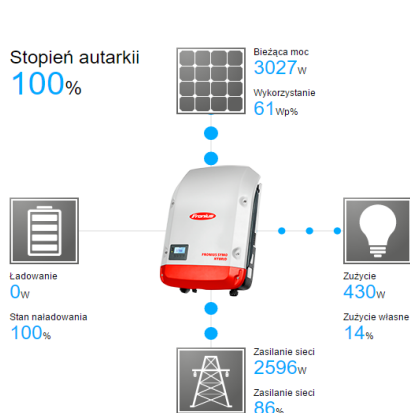
Fig. 6. Scheme of installation with energy storage, based on [6, 7]

dobę. Bateria akumulatorów pozwala na pracę bez zasilania z zewnątrz przez 24 godziny/dobę. System uzupełniany jest również o tzw. Fronius Smart Meter czyli dwukierunkowy licznik służący do optymalizacji zużycia własnego i rejestracji krzywej obciążenia gospodarstwa domowego. W połączeniu z portalem online Fronius Solar.web Fronius Smart Meter umożliwia przejrzystą prezentację własnego zużycia energii elektrycznej (rys. 6).

4. Monitoring parametrów instalacji fotowoltaicznej

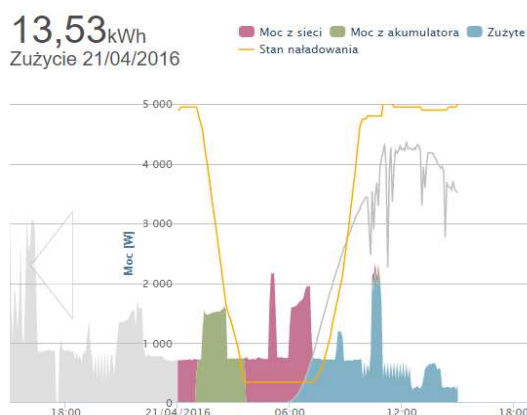
Systemy monitoringu są obecnie nieodłącznym elementem instalacji fotowoltaicznych. Pomagają utrzymać maksymalną wydajność systemu oraz wskazywać ewentualne usterki już na początkowym etapie działania instalacji. Dzięki temu można uniknąć przestojów w produkcji energii elektrycznej. Obecnie dla inwestora nie są istotne tylko sumaryczne dane energetyczne całego systemu, ale również dane chwilowe i bardziej szczegółowe - np. parametry stringów modułów PV (wydzielone ciągi modułów).

Na rysunku 7 i 8 przedstawiono wybrane wyniki pomiarów rozkładu produkcji i dystrybucji energii elektrycznej (produkcja przez układ PV, zużycie własne, magazynowanie w akumulatorach, przesył do sieci zewnętrznej) w czasie z wykorzystaniem systemu monitoringu.



Rys. 7. Wykorzystany w instalacji PV system monitorowania - przykładowe wyniki pomiarów, na podstawie [6, 9]

Fig. 7. System of monitoring used in PV installation - results examples of measurements, based on [6, 9]



Rys. 8. Przykładowe wyniki pomiarów systemu PV z magazynem energii na WIM UTP w Bydgoszczy, na podstawie [6, 9]

Fig. 8. Results examples of measurements of system PV with store-house of energy on WIM UTP in Bydgoszcz, based on [6, 9]

Podczas badań starano się uzyskać pełną niezależność energetyczną laboratorium Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii (www.LABIOZE.utp.edu.pl), które jest zasilane przedstawioną w artykule instalacją PV. Odbiornikami zużywającymi ener-

gię elektryczną w ciągu doby było oświetlenie, komputery oraz instalacje badawczo dydaktyczne, funkcjonujące w laboratorium (pompy ciepła, nagrzewnice itp.).

5. Wnioski

Realizacja badań pozwoliła przeanalizować efektywność instalacji PV z magazynem energii w polskich warunkach środowiskowych w wybranym okresie czasu (okres wiosny 2016 roku). Obecne dane z kilku miesięcy są niewystarczające do pełnej oceny przydatności tego typu instalacji. Będą realizowane pełny rok kalendarzowy. Nie mniej jednak pozwalają na optymistyczne założenia, co do potencjału ich wykorzystania. Szczególnie biorąc pod uwagę dane z innych krajów.

Producenci inwerterów fotowoltaicznych zaczynają wprowadzać na rynek dedykowane rozwiązania, które pozwolą na optymalizację autokonsumpcji energii z domowych instalacji PV dzięki możliwości zmagazynowania niewykorzystanych nadwyżek energii i zużycia jej w momencie, gdy odpowiedniej podaży nie zapewnia instalacja fotowoltaiczna. Jeszcze kilka lat temu rozwój rynku domowych instalacji fotowoltaicznych, napędzany był w Europie głównie przez atrakcyjne stawki za sprzedaż energii do sieci. System taki nie tworzył zapotrzebowania na rozwiązania optymalizujące wykorzystanie energii z domowych instalacji PV na użytek własny ich właścicieli. Ta sytuacja jednak bardzo się zmieniła [5, 6, 8].

Najlepszym tego przykładem są Niemcy, gdzie w ostatnich latach znacznie zmniejszono stawki sprzedaży energii z domowych instalacji fotowoltaicznych i gdzie teraz o wiele bardziej opłaca się wykorzystać jej jak najwięcej na własny użytek, oszczędzając na energii niezakupionej od operatora, której koszt jest niemal 3-krotnie wyższy niż stawki sprzedaży energii do sieci [10].

Jedną z ważniejszych wiadomości dla globalnej branży fotowoltaicznej w 2015 r. było rozpoczęcie sprzedaży domowych magazynów energii przez Teslę. Obecnie koszt produktu o nazwie Powerwall to 3 tys. dolarów, jednak imponujące plany Tesli dają nadzieję na obniżenie jego ceny. Rozwój domowych magazynów energii tworzy perspektywiczny rynek dla producentów inwerterów, w zakresie rozwiązań, które będą współpracować z systemami magazynowania energii i dzięki którym będzie możliwa optymalizacja wykorzystania energii z PV na własny użytek. Rozwój w kierunku systemów zakładających magazynowanie energii sygnalizują komunikaty czołowych producentów inwerterów. Firma SMA szacuje wartość globalnego rynku magazynowania energii na około 0,5 mld euro – 1,2 mld euro [10].

Literatura

- [1] Mroziński A.: Poradnik dobrych praktyk wdrażania instalacji odnawialnych źródeł energii. Wydawnictwo 1studio.pl Arkadiusz Bartnik, ISBN 978-83-943206-0-7, Bydgoszcz 2015.

- [2] Kruszelnicka W., Kozłowska N., Mroziński A.: Analiza efektywności energetycznej i ekonomicznej podgrzewania wody użytkowej przez instalację zasilaną modułami fotowoltaicznymi. *Mechanik* nr 10/2015, str. 70-80.
- [3] Mroziński A.: Badanie efektywności energetycznej laboratoryjnej instalacji fotowoltaicznej. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 357-366, DOI:10.7862/rb.2014.102.
- [4] Szymański B.: Instalacje Fotowoltaiczne. Wydanie II. Wydawnictwo Geosystem Burek, Kotyza s.c., Kraków 2013.
- [5] EurObserv'ER, www.eurobserv-er.org, 2016 (dostęp - 15.05.2016 r.).
- [6] Materiały techniczne Fronius Symo Hybrid - system Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S S24, Fronius Smart Meter oraz Fronius Solar Battery.
- [7] <http://virtech.pl/fotowoltaika/oferta/falowniki/falowniki-hybrydowe/fronius/722-falownik-fronius-symo-hybrid-5-0-3> (dostęp - 15.05.2016 r.).
- [8] <http://reneweconomy.com.au> (dostęp - 15.05.2016 r.).
- [9] Własne zdjęcia Autora oraz pomiary z wykorzystaniem monitoringu www.solarweb.com (login: adammroz@utp.edu.pl, hasło: konf999sys).
- [10] <http://gramwzielone.pl/trendy/20063/produccenci-inwerterow-odpowiadaja-narozwoj-magazynow-energii> (dostęp - 15.05.2016 r.).

LABORATORY PHOTOVOLTAIC INSTALLATION WITH ENERGY STORAGE

Summary

In the article problem of use in Poland and Europe photovoltaic installation (PV) with store-houses of electric energy was presented. PV systems will be dusts in near future considerable part in global production of electric energy. It will be influenced indeed onto limitation of emission of greenhouses gases as well as onto improvement of state of natural environment. In work building of laboratory PV installation located on WIM UTP in Bydgoszcz was carried out. Choose results of measurements of production schedule and production of electric energy (production by arrangement PV, own use, storing in batteries, dispatch to external net) in time with use of monitoring system were introduced also. In PV installations have big meaning systems of management energy more and more as well as storing arrangements electric energy. Thanks this systems electric produced energy will be day use on currently. Excess of energy will hit to house battery. It will become used evening effectively, when demand onto current is highest. Energy will cover possible shortages from net - bought night or early morning, when price of energy is lowest. Intelligent transmission lines of energy with house installations PV with store-houses of energy will make possible effective management demand and supply of energy in whole energetic system.

Keywords: renewable energy source, efficiency, photovoltaic, energy storages

DOI:10.7862/rb.2016.278

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Artur NOWOŚWIAT¹
Marcelina OLECHOWSKA²
Jan ŚLUSAREK³

PROJEKTOWANIE AKUSTYCZNE WNEŹRZ W ŚWIETLE NOWYCH WYMAGAŃ

Streszczenie. Zgodnie z obecnie obowiązującymi normami podczas kształtowania akustycznego wnętrza określa się wartości graniczne dla czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy STI. W niniejszym artykule przedstawiono odniesienie się do obowiązujących wymagań akustycznych dotyczących niektórych wnętrz, tj. wnętrz w budynkach użyteczności publicznej czy też w budynkach zamieszkania zbiorowego, oraz przedstawiono modele obliczeniowe parametrów akustycznych opisujących te wnętrza. Obowiązujące normy odnoszą się nie tylko do ograniczania hałasu pogłosowego, ale także odnoszą się do pomieszczeń przeznaczonych do prezentacji słownych. W tym zakresie odnoszą się one do zapewnienia w pomieszczeniu odpowiedniej zrozumiałości mowy. Dlatego też w niniejszej pracy przedstawiono potencjalnym projektantom pewne sugestie dotyczące kształtowania akustycznego pomieszczeń. Część badawcza pracy obejmuje analizę wpływu położenia w pomieszczeniu materiałów pochłaniających dźwięk na zmianę wartości czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy STI. W tym celu zamodelowano w programie ODEON dwa pomieszczenia. Jedno z tych pomieszczeń było prostopadłościenne a drugie sześciennie i oba miały taką samą kubaturę. Następnie wykonywano symulacje czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy przy różnym położeniu materiałów pochłaniających dźwięk. Przedstawiony artykuł porusza zatem problematykę kształtowania warunków akustycznych w pomieszczeniach ze względu na odbiór sygnałów słownych a przeprowadzone analizy pozwalają określić wytyczne dla projektantów zajmujących się kształtowaniem wnętrz. Wytyczne uzupełnione zostały opisem stosowanych modeli teoretycznych występujących zarówno w odpowiedniej normie jak i propozycją własną, w szczególności modelu STI(T).

Słowa kluczowe: akustyka wnętrza, czas pogłosu, Sabin, wskaźnik transmisji mowy

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Artur Nowoświat, Politechnika Śląska, Wydz. Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; tel. 322372878; artur.nowoswiat@polsl.pl

² Marcelina Olechowska, Politechnika Śląska, Wydz. Bud., ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; tel. 322371567; marcelina.olechowska@polsl.pl

³ Jan Ślusarek, Politechnika Śląska, Wydz. Bud., ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 322371567; jan.slusarek@polsl.pl

1. Wprowadzenie

Wprowadzenie w 2015 roku normy [1] dotyczącej wymagań odnośnie warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach, spowodowało nowe spojrzenie na projektowanie pomieszczeń przeznaczonych do prezentacji słownych. W fazie projektowania pomieszczeń można zastosować symulacje komputerowe oparte na metodach promieniowych [2]. Modele teoretyczne opierają się natomiast na statystycznej teorii pola akustycznego. Zakłada się wówczas, że gęstość energii dźwiękowej w każdym punkcie wnętrza jest równa, a prawdopodobieństwo padania fali dźwiękowej jest jednakowe we wszystkich kierunkach. Prekursorem metod statystycznych był Sabin. Na bazie jego teorii powstało co najmniej kilka różnych modeli oraz teorii. Wszystkie te teorie autorzy niniejszej pracy zebrali i porównali w artykule przeglądowym [3]. W normie [1] podano również wymagania co do zrozumiałości mowy wyrażonej wskaźnikiem transmisji mowy (STI). W tym zakresie projektanci mają w zasadzie tylko do dyspozycji metody komputerowe, chociaż model teoretyczny został opracowany przez autorów niniejszego artykułu i opisany w pracy [4].

Projektowanie wnętrz ze względu na odbiór dźwięku słownego może architektom i inżynierom budownictwa sprawiać wiele kłopotów. Dlatego też powstało kilka prac [5, 6, 7] celem których jest przedstawienie podstaw teoretycznych i praktycznych w sposób umożliwiający zrozumienie zagadnienia projektowania akustycznego. Projektując takie pomieszczenia należy uwzględnić kształt i wymiar pomieszczenia. Ponadto należy zapewnić ograniczenie hałasu w pomieszczeniu pochodzącego od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem, a także odpowiednią izolacyjność akustyczną przegród wydzielających pomieszczenia. Podczas projektowania nie sposób również pominąć właściwego rozmieszczenia powierzchni i ustrojów o właściwościach pochłaniających, odbijających, a także rozpraszających dźwięk.

Z wymienionych wyżej powodów w niniejszej pracy omówione zostały metody obliczeniowe czasu pogłosu i wskaźnika transmisji mowy a także przedstawione zostały wyniki badań wpływu rozmieszczenia materiałów dźwiękochłonnych na omawiane parametry akustyczne wnętrz. Badania ograniczono do pomieszczeń prostopadłościennych. Wyniki tych badań mogą być pomocne projektantom podczas projektowania wnętrz z uwzględnieniem różnego rozmieszczenia materiałów dźwiękochłonnych.

2. Wymagania prawne

Wymagania prawne w budownictwie dotyczące ochrony przed hałasem zainicjowane są w Ustawie Prawo Budowlane, gdzie w artykule 5.1. możemy przeczytać iż „obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne części, [...] należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i bu-

dować [...] zapewniając spełnienie podstawowych wymagań [...], dotyczących e) ochrony przed hałasem”. Natomiast w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie w § 323.1 wskazano że budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby między innymi chronić go przed hałasem pogłosowym powstającym w wyniku odbić fal dźwiękowych od przegród ograniczających dane pomieszczenie. Natomiast w § 326 pkt. 5 wskazano, iż „w pomieszczeniach budynków użyteczności publicznej, których funkcja związana jest z odbiorem mowy lub innych pożądaných sygnałów akustycznych, należy stosować takie rozwiązania budowlane oraz dodatkowe adaptacje akustyczne, które zapewniają uzyskanie w pomieszczeniach warunków określonych odrębnymi przepisami. Adaptacje akustyczne należy wykonywać z materiałów o potwierdzonych własnościach pochłaniania dźwięku wyznaczonych zgodnie z Polską Normą określającą metodę pomiaru pochłaniania dźwięku przez elementy budowlane”. Powstały zupełnie nowy dokument, odnoszący się wprost do akustyki wnętrz, jakim jest Polska Norma [1], może być traktowany jako wypełnienie zaleceń §323 i §326 rozporządzenia. W normie tej określono wymagania dotyczące warunków pogłosowych pomieszczenia, wyrażone poprzez maksymalny czas pogłosu T lub minimalną chłonność akustyczną oraz, dla pomieszczeń przeznaczonych do prezentacji słownych, zrozumiałość mowy, wyrażoną za pomocą wskaźnika transmisji mowy (STI). Norma nie dotyczy wnętrz o akustyce kwalifikowanej, takich jak sale koncertowe, czy kina, które wymagają indywidualnego podejścia.

3. Metodologia

Zgodnie z normą [1] w pomieszczeniach, w których zrozumiałość mowy jest jednym z warunków ich użytkowania zgodnie z przeznaczeniem, należy zapewnić odpowiedni czas pogłosu w pasmach oktawowych o środkowych częstotliwościach 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz i 8000 Hz oraz zrozumiałość mowy wyrażoną wskaźnikiem transmisji STI. Dopuszcza się przy tym na etapie projektowania obliczenia czasu pogłosu według normy PN-EN 12354-6 [8], a wskaźnik transmisji mowy STI według PN-EN 60268-16 [9].

3.1. Modele obliczeniowe

Wymagania dotyczące czasu pogłosu w pomieszczeniach przeznaczonych do prezentacji słownych podane w normie [1] odnoszą się do pomieszczeń wykończonych, umeblowanych w sposób typowy dla swojej funkcji, bez ludzi.

Pogłosem w pomieszczeniu nazywamy zjawisko polegające na powolnym zanikaniu dźwięku w pomieszczeniu po wyłączeniu źródła dźwięku. Miarą pogłosu jest czas pogłosu wyrażany w sekundach i definiowany jako czas potrzebny do zmniejszenia poziomu dźwięku w pomieszczeniu o 60 dB, po wyłączeniu źródła dźwięku. Jak już wspomniano we wstępie model obliczeniowy oparty jest

na statystycznej teorii opisanej przez Sabine'a, a omówionej w pracy [3]. Wzór przez niego podany można zapisać w postaci:

$$T_{SAB} = \frac{0,161V}{S\bar{\alpha}_{SAB}} [s], \quad \bar{\alpha}_{SAB} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (1)$$

gdzie: V – kubatura pomieszczenia, m^3 ,
 S – całkowita powierzchnia przegród ograniczających pomieszczenie,
 natomiast S_i jest powierzchnią i -tej przegrody, m^2 ,
 α_i – współczynnik pochłaniania dźwięku i -tej przegrody.

Współczynnik pochłaniania dźwięku jest bezwymiarowy i przyjmuje wartości z przedziału $<0, 1>$ i definiuje się go jako stosunek energii fali akustycznej pochłoniętej przez materiał do energii padającej na dany materiał.

Obliczenia czasu pogłosu przeprowadzono na podstawie normy [9]. Wzór obliczeniowy przedstawiony w tej normie jest uzupełnionym wzorem Sabine'a. Uzupełnienie to polega na uwzględnieniu prędkości dźwięku c_0 w pomieszczeniu i obiektów znajdujących się w pomieszczeniu. Model czasu pogłosu wówczas jest postaci:

$$T = \frac{55,3 V(1-\psi)}{c_0 A} [s] \quad (2)$$

gdzie: ψ – frakcja obiektów, określająca stosunek objętości obiektów do V ,
 A – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia, m^2 .

Można zauważyć, że normowy wzór (2) zastosowany do pomieszczenia pustego, w którym przyjęto prędkość dźwięku około 343 m/s staje się wzorem Sabine'a (1). Pominiemy w tym miejscu opis ψ , gdyż analizie poddamy pomieszczenia puste. Chłonność akustyczna A pomieszczenia jest sumą chłonności przegród ograniczających pomieszczenie czy też chłonności przedmiotów:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + \sum_{k=1}^p \alpha_{s,k} S_k + A_{air} [m^2] \quad (3)$$

gdzie: $\alpha_i S_i$ – chłonność akustyczna i -tej przegrody,
 $A_{obj,j}$ – chłonność akustyczna j -tego obiektu,
 $\alpha_{s,k} S_k$ – chłonność akustyczna k -tego układu obiektów,
 A_{air} – chłonność akustyczna powietrza w pomieszczeniu.

Chłonność akustyczną powietrza w pomieszczeniach o objętości nieprzekraczającej 200 m^3 można pominąć i oblicza się ją zgodnie z normą [8]. Natomiast chłonność akustyczną obiektów można obliczyć ze wzoru:

$$A_{obj,j} = V_{obj,j}^{\frac{2}{3}} \quad [m^2] \quad (4)$$

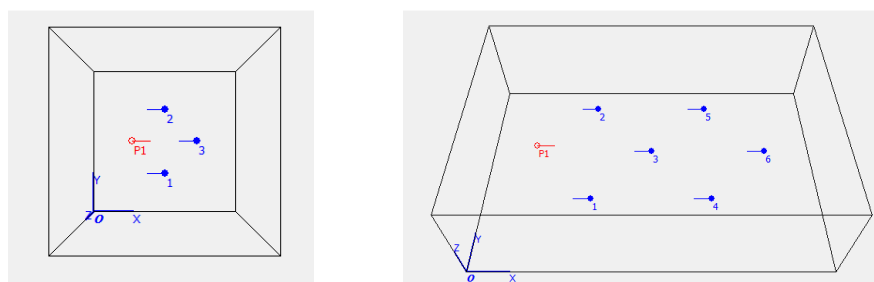
Wskaźnik transmisji mowy STI definiujemy jako miarę przyjmującą wartości w zakresie od 0 do 1 reprezentującą jakość transmisji mowy pod względem zrozumiałości, przez kanał transmisji mowy. Metody subiektywne szacowania zrozumiałości mowy omówiono np. w pracy [7], natomiast metody obiektywne przede wszystkim w pracy [10]. Dla celów niniejszej publikacji przytoczymy model opisany w artykule [4]. Oparty on jest na takim samym założeniu jak wzór Sabine'a, czyli równomiernym rozproszeniu pola akustycznego wewnątrz pomieszczenia. Ponadto ograniczając się do pomieszczeń o regularnym kształcie, w których żaden z wymiarów nie jest większy od pozostałych więcej niż 5 razy można stosować model zależny od czasu pogłosu T :

$$STI = -0,2078 \ln T + 0,6488 \quad (5)$$

3.2. Symulacje komputerowe

Symulacje komputerowe wykonano w programie ODEON. Obliczenia czasu pogłosu wykonywane są z wykorzystaniem metody Schrödera oraz wykorzystując dane o objętości pomieszczenia i średniej drodze swobodnej. Program rejestruje malejącą w czasie energię wirtualnych cząstek wysyłanych ze źródła w losowych kierunkach. Dla celów niniejszej pracy analizie poddano dwa puste pomieszczenia: prostopadłościenne i sześciennie. W celu uniknięcia wpływu kubatury na ostateczny wynik, przyjęto jednakową kubaturę obu analizowanych pomieszczeniach (rys 1).

W każdym z przedstawionych pomieszczeń analizowano następujące sytuacje: A – wytłumiony tylko sufit, B – wytłumiona tylko podłoga, C – wytłumiona tylko ściana przed źródłem dźwięku, D – wytłumiona tylko ściana za źródłem dźwięku.



Rys. 1. Pomieszczenie sześciennie $(x, y, z) = (6,95\text{m}, 6,95\text{m}, 6,95\text{m})$ (lewa strona) i prostopadłościenne $(x, y, z) = (8\text{m}, 12\text{m}, 3,5\text{m})$ (prawa strona). P1-źródło dźwięku, 1-6 punkty rejestracji

Fig. 1. Cubic room $(x, y, z) = (6,95\text{m}, 6,95\text{m}, 6,95\text{m})$ (left side) and rectangular $(x, y, z) = (8\text{m}, 12\text{m}, 3,5\text{m})$ (right side). P1 – sound source, 1-6 measurement points

Współczynniki pochłaniania dźwięku przegród przedstawiono w tabeli 1. Przyjęto temperaturę wewnątrz pomieszczenia 20°C i wilgotność 50%.

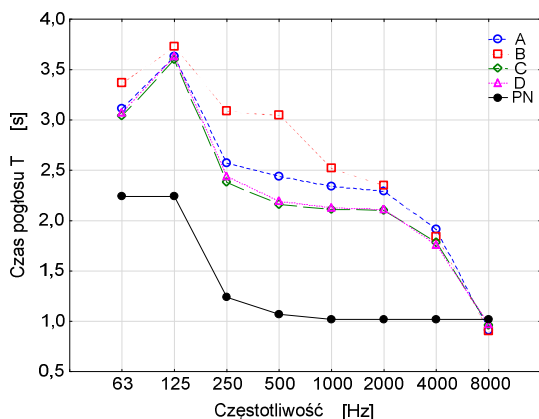
Tabela 1. Współczynniki pochłaniania dźwięku

Table 1. Sound absorption coefficients

Częstotliwość [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Beton	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Płyty dźwiękochłonne	0,45	0,45	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

4. Analiza wyników

Na rysunku 2 przedstawiono przebiegi czasu pogłosu w funkcji częstotliwości. Przebiegi te odzwierciedlają sytuacje A – D oraz ze wzoru (2). Analizując wykres przedstawiony na rysunku 2. można zauważyć dwa efekty. Pierwszy polega na znacznych różnicach pomiędzy obliczeniami ze wzoru (2) a symulacjami komputerowymi. Wynika to z faktu zaburzenia pola akustycznego polegającego na wytlumieniu jednej z przegród ograniczających pomieszczenie, opisanego również w [3]. Drugim efektem jest zróżnicowanie przebiegów czasu pogłosu w zależności od tego, którą powierzchnię ograniczającą wewnątrz wytlumiamy.



Rys. 2. Czas pogłosu w funkcji częstotliwości dla analizowanego pomieszczenia sześciennego

Fig. 2. Reverberation time as a function of frequency, cubic room

Efekt ten może być zaskakujący, gdyż analizowane pomieszczenie jest sześciennym, a zatem każda powierzchnia ograniczająca jest taka sama. Natomiast wzór normowy (2) nie uwzględnia takich różnic. Można również zauważyć, że lepiej jest wytlumiać powierzchnie przed lub za źródłem dźwięku niż po-

wierzchnie sufitu czy podłogi. Dla pomieszczenia prostopadłościennego docho-
dzi jeszcze jeden efekt. Mianowicie zróżnicowanie powierzchni przegród ogra-
niczających pomieszczenie. W takim przypadku lepiej jest wytłumić sufit czy
podłogę niż ściany przed czy też za źródłem dźwięku (najczęściej powierzchni
mniejsze niż sufitu i podłogi). Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Czas pogłosu w funkcji częstotliwości dla pomieszczenia prostopadłościennego

Table 2. Reverberation time as a function of frequency, rectangular room

Częstotliwość [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A	1,80	2,02	1,46	1,20	1,25	1,29	1,10	0,74
B	1,73	1,97	1,25	1,05	1,07	1,10	1,03	0,73
C	4,49	5,11	3,44	2,84	2,41	2,36	1,90	1,02
D	4,39	5,00	3,4	2,64	2,41	2,34	1,91	0,99

Różnice pomiędzy wartościami czasu pogłosu rozważanych przegród poziomych i pionowych wynikają zapewne ze znacznych różnic powierzchni pochłaniających. Ponadto nakłada się na to efekt zauważony przy analizie pomieszczenia sześciennego. Rozważane pomieszczenia mogą być reprezentantem na przykład klas szkolnych, którym stawia się wymagania dotyczące maksymalnych wartości czasu pogłosu i odpowiednich wartości STI. Zatem nie jest to problematyka pomijalna podczas projektowania takich pomieszczeń. Podobne efekty zauważono w pracy [11], w której autorzy zmieniali w klasach szkolnych powierzchnie pochłaniające i analizowali wyniki między innymi w programie ODEON.

5. Wnioski

Na podstawie wyników przedstawionych w pracy można przedstawić pewne wnioski, które mogą być pomocne podczas projektowania akustycznego wnętrza. Podstawowym wnioskiem jest fakt, iż wzór normowy (2) daje wyniki odbiegające od wyników uzyskanych w programie ODEON. Różnice te będą jeszcze większe dla pomieszczeń o bardziej zróżnicowanych powierzchniach dźwiękochłonnych, lub gdy w pomieszczeniach znajdować się będą obiekty. Ponadto dla pomieszczeń sześciennych należy przegrody za źródłem (jeśli jest to możliwe), bądź przed źródłem dźwięku pokryć materiałem wytłumiającym. Natomiast dla pomieszczeń dłuższych niż szerszych lepiej jest wytłumić sufit, lub podłogę. W celu sprecyzowania dokładnych wytycznych należałoby wykonać znacznie więcej takich analiz w kolejnych pracach.

Literatura

- [1] PN-B-02151-4:2015-06. Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach. 2015.

- [2] Passero C.R., Zannin P.H.: Statistical comparison of reverberation times measured by the integrated impulse response and interrupted noise methods, computationally simulated with ODEON software, and calculated by Sabine, Eyring and Arau-Puchades' formulas, *Applied Acoustics*, vol.71, Issue.12, 2010, pp. 1204-1210.
- [3] Nowoświat A., Olechowska M.: Investigation Studies on the Application of Reverberation Time, *Archives of Acoustics*, Vol. 41, No. 1, 2016, pp. 15-26.
- [4] Nowoświat A., Olechowska M.: Fast estimation of speech transmission index using the reverberation time, *Applied Acoustics*, Vol. 102, 2016, pp. 55-61.
- [5] Szudrowicz B.: Normowanie wartości czasu pogłosu w pomieszczeniach, *Materiały Budowlane*, 8, 2009, str. 9-12.
- [6] Kłosak A.: Projektowanie akustyczne budynków, *Izolacje*, 5, 2012, str. 24-30.
- [7] Dulak L., Nowoświat A.: Akustyka Architektoniczna – warunki pogłosowe i zrozumiałość mowy, *Izolacje*, 3, 2016, str. 18-23.
- [8] PN-EN 12354-6 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 6: Pochłanianie dźwięku w pomieszczeniach.
- [9] PN-EN 12354-16:2011 Urządzenia systemów elektroakustyczne – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.
- [10] Houtgast T., Steeneken H.J.M.: Predicting Speech Intelligibility in Rooms from Modulation Transfer Function I. General Room Acoustics, *Acoustica*, Vol. 46, No. 1, 1980, pp. 60-72.
- [11] Bistafa S., Bradley J.: Predicting reverberation times in a simulated classroom, *J. Acoust. Soc. Am.*, 108, 2000, pp. 1721 – 1731.

ACOUSTIC DESIGN OF THE INTERIOR IN VIEW OF MODERN REQUIREMENTS

Summary

The paper presents the legally binding acoustic requirements involving certain interiors, i.e. the interiors of public utility buildings, or multi-family houses as well as the calculation models of acoustic parameters describing these interiors. The legally compulsory standards refer not only to the reduction of reverberation noise but they also concern the rooms used for verbal presentations. In this respect, they involve the problem of ensuring an appropriate understanding of speech in a room. Therefore, in the paper presented here we offer the potential designers some suggestions involving the acoustic shaping of rooms. The research part of the paper comprises the analysis involving the impact of the location of sound absorbing materials in a room on the change of reverberation time and speech transmission index STI. For that purpose, two rooms were modeled in the program ODEON. One of the rooms was cuboid-shaped and the other was cube-shaped, and they both had the same cubature. Then, the simulations of reverberation time and speech transmission index for different locations of sound absorbing materials were carried out. In conclusion, the presented paper is discussing the problems involving the formation of acoustic conditions in rooms in terms of speech signal reception, and the carried out analyses enable to put forward some guidelines for designers who work on shaping the interior of rooms. The guidelines were complemented with the description of the applied theoretical models, both presented in a specific standard as well as the authors' own proposition, in particular involving the model STI(T).

Keywords: room acoustics, reverberation time, Sabine, speech transmission index

DOI:10.7862/rb.2016.279

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Paweł OBSTAWSKI¹
 Michał CHABERSKI²

ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA ZASTOSOWANIA GRUNTOWEJ I POWIETRZNEJ POMPY CIEPŁA W BUDYNKU JEDNORODZINNYM – STUDIUM PRZYPADKU

W artykule dokonano analizy techniczno-ekonomicznej zastosowania gruntowej i powietrznej pompy ciepła pokrywających zapotrzebowanie na ciepło budynku jednorodzinne. Obciążenie cieplne budynku związane ze stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne oraz wentylację grawitacyjną obliczono zgodnie z normą PN-EN 12831. W budynku zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie płaszczynowe w postaci ogrzewania podłogowego, którego rozmiary obliczono zgodnie z normą PN-EN 1264. Kierując się zapotrzebowaniem na ciepło budynku dobrano gruntową pompą ciepła o katalogowej nominalnej mocy grzewczej wynoszącej 13,9 kW, oraz powietrzną pompę ciepła o katalogowej mocy nominalnej wynoszącej 9,4 kW. Założono, że gruntowa pompa ciepła będzie eksploatowana w trybie monowalentnym, natomiast powietrzna pompa ciepła w trybie monoenergetycznym biwalentnym. Praca powietrznej pompy ciepła poniżej temperatury biwalentnej wspomagana będzie grzałką elektryczną o mocy nominalnej równej 6 kW umieszczonej w zasobniku buforowym. W obu przypadkach założono sterowanie instalacji w funkcji temperatury otoczenia (sterowanie pogodowe). Założono, że praca powietrzną pompy ciepła poniżej temperatury otoczenia $<-7^{\circ}\text{C}$ (temperatury biwalentnej) wspomagać będzie grzałka elektryczna. Dokonano analiz: kosztów inwestycji, uzyskanych efektów energetycznych oraz kosztów eksploatacyjnych obu rozwiązań. Analizując koszty inwestycji obu rozwiązań, ze względu na koszt wymiennika gruntowego instalacja gruntowej pompy ciepła w porównaniu z powietrzną jest droższa. Zarówno gruntowa jak i powietrzna pompa ciepła wspomagana grzałką elektryczną załączana poniżej temperatury biwalentnej pokrywa zapotrzebowanie na ciepło budynku. Z dokonanych analiz wynika, że koszt eksploatacji gruntowej pompy ciepła jest niższy niż pompy powietrznej. Jednakże analizując koszty inwestycyjne i eksploatacji obu instalacji w okresie 20 lat okazuje się, że bardziej ekonomiczne jest zainstalowanie powietrznej pompy ciepła.

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Paweł Obstawski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Gospodarki Energetycznej, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa; tel. 225934606; pawel_obstawski@sggw.pl

² Michał Chaberski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Gospodarki Energetycznej, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa; tel. 225934606; michal.chaberski@gmail.com

Słowa kluczowe: wymiennik gruntowy, centralne ogrzewanie, ciepła woda użytkowa

1. Wprowadzenie

Pozytywnym zjawiskiem jakie można zaobserwować w ostatnich latach w Unii Europejskiej i w Polsce jest stały wzrost liczby sprzedawanych i montowanych pomp ciepła [1]. Wiąże się to z coraz większą świadomością społeczną w zakresie zalet i korzyści stosowania pompy ciepła, a także spadkiem cen urządzeń, co w rezultacie poprawia ich konkurencyjność w porównaniu z kondensacyjnymi kotłami gazowymi, olejowymi czy kotłami na paliwo stałe.

Analizując rynek pomp ciepła należy zauważyć, że do chwili obecnej największą popularnością cieszyły się gruntowe pompy ciepła [1], których zaletą jest stabilne dolne źródło ciepła co w rezultacie przekłada się na niskie koszty eksploatacyjne. Jednak w ostatnim czasie coraz większą popularnością cieszą się powietrzne pompy ciepła wykorzystujące jako dolne źródło energii powietrze atmosferyczne [2]. Wzrost popularności związany jest ze wzrostem sprawności tych urządzeń a także z niższymi kosztami inwestycyjnymi w porównaniu do pomp gruntowych.

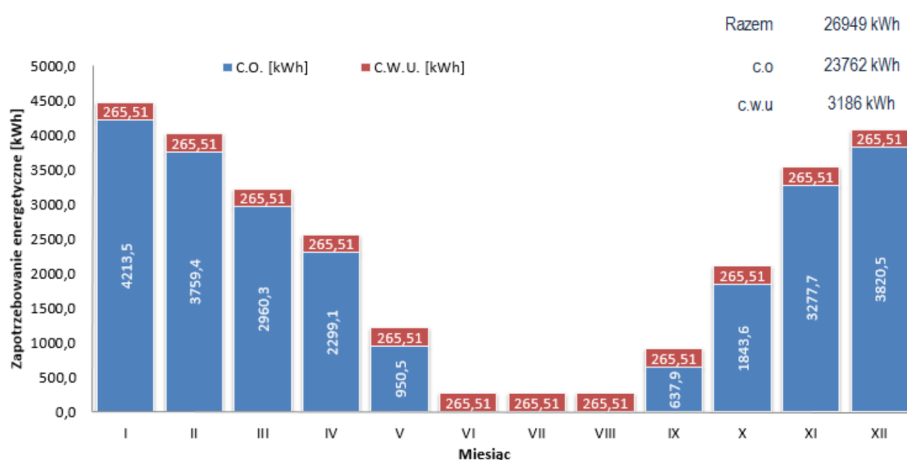
W artykule dokonano analizy dwóch koncepcji pokrycia zapotrzebowania na ciepło budynku jednorodzinnego. Pierwsza bazuje na zastosowaniu gruntowej pompy ciepła, dla której dolne źródło energii stanowi pionowy wymiennik gruntowy. Druga zaś bazuje na pompie ciepła powietrze-woda typu monoblok pracującej w monoenergetycznym biwalentnym równoległym trybie eksploatacyjnym.

2. Opis techniczny obiektu badań

Do analizy wybrano budynek jednorodzinny o powierzchni użytkowej 139,51 m². Obiekt będzie użytkowany przez czteroosobową rodzinę. Obiekt zlokalizowany jest w Grodzisku Mazowieckim, znajdującym się w III strefie klimatycznej, dla której projektowa temperatura zewnętrzna wynosi -20°C. Zapotrzebowanie na ciepło budynku związane ze stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne oraz wentylację grawitacyjną obliczono według normy PN-EN 12831 [3]. Założono, że codzienne zużycie ciepłej wody użytkowej (C.W.U.) o temperaturze 40°C wynosi 250 litrów co przekłada się na 265,51 kWh ciepła w miesiącu. W budynku zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie płaszczyznowe w postaci ogrzewania podłogowego, którego rozmiary obliczono zgodnie z normą PN-EN 1264 [4]. Zastosowanie ogrzewania podłogowego jako odbiornika ciepła współpracującego z pompą ciepła jest korzystne z uwagi na uzyskiwaną wyższą wydajność pompy. Praca na niższym parametrze temperaturowym (projektowo 35°C na zasilaniu układu przy temperaturze otoczenia -20°C) pozwala ograniczyć koszty eksploatacyjne, a także skraca czas pracy sprężarki w sezonie grzewczym co przekłada się na wydłużenie jej żywotności.

2.1. Analiza energetycznego zapotrzebowania budynku

Na rysunku 1 przedstawiono roczne zapotrzebowanie energetyczne budynku. Największe zapotrzebowanie energetyczne występuje w okresie zimowym (grudzień – luty), w którym zapotrzebowanie na ciepło budynku oscyluje w przedziale od 3760 kWh do 4220 kWh. W okresie od czerwca do końca sierpnia pompa ciepła pracuje tylko w celu przygotowania C.W.U. Tryb letni przewidywano przy temperaturze otoczenia wyższej od 16°C.



Rys. 1. Rozkład zapotrzebowania energetycznego budynku w poszczególnych miesiącach

Fig. 1. Schedule of energy demand of building in several month

3. Dobór pomp ciepła

Analizy przeprowadzone zostaną na bazie pomp ciepła oferowanych przez firmę Dimplex.

3.1. Dobór gruntowej pompy ciepła i długości wymiennika gruntowego

Kierując się zapotrzebowaniem na ciepło budynku z oferty firmy Dimplex wybrano pompę ciepła SI 14TU firmy Dimplex o nominalnej mocy grzewczej 13,9 kW. Katalogowa wartość współczynnika COP dla parametrów B0/W35 wynosi 5,0. Pompa może współpracować z dolnym źródłem którego temperatura zawiera się w granicach -5°C ÷ 25°C. W danej lokalizacji podłoże w gruncie stanowią skały i warstwy wodonośne z tego też względu jednostkową moc cieplną gruntu przyjęto na poziomie 35 W/mb, przy przewodności cieplnej gruntu równej 2 W/(mK). Uwzględniając moc chłodniczą pompy obliczono, że długość odwiertów wymiennika powinna wynosić 265,5 metrów. W obliczeniach założono 3 odwierty o długości 88,5 metra każdy wykonane z wypełnieniem w celu usunięcia płuczki z odwiertu i zabezpieczeniem przed mieszaniem się warstw wodonośnych.

3.2. Dobór powietrznej pompy ciepła

Biorąc pod uwagę obciążenie cieplne budynku oraz monoenergetyczny biwalentny równoległy tryb eksploatacji pompy ciepła z katalogu firmy Dimplex wybrano pompę ciepła LA 12S-TU o nominalnej mocy grzewczej 9,4 kW i katalogowej wartości współczynnika COP równym 4,0 dla parametrów A2/W35. Pompa pracuje przy zakresie temperatur powietrza od -22°C do 35°C . W trybie biwalentnym (temperatura powietrza $<-7^{\circ}\text{C}$) pompa ciepła wspomagana będzie przez grzałkę zanurzeniową o mocy nominalnej 6,0 kW zamontowanej w buforze grzewczym.

3.3. Algorytm obliczania temperatury zasilania układu grzewczego

Obliczanie temperatury na zasilaniu układu grzewczego odbywa się na podstawie krzywej grzewczej wiążącej temperaturę zasilania z temperaturą otoczenia. Spadek temperatury otoczenia powoduje wzrost temperatury wody na zasilaniu układu. Początek krzywej grzewczej ustalono dla temperatury zewnętrznej -20°C , dla której temperatura zasilania równa jest 35°C . Koniec krzywej grzewczej ustalono na wartość temperatury otoczenia równej 16°C , dla której pompa ciepła przechodzi w letni tryb pracy (pokrywa zapotrzebowanie jedynie na C.W.U.).

4. Analiza uzyskanych efektów energetycznych

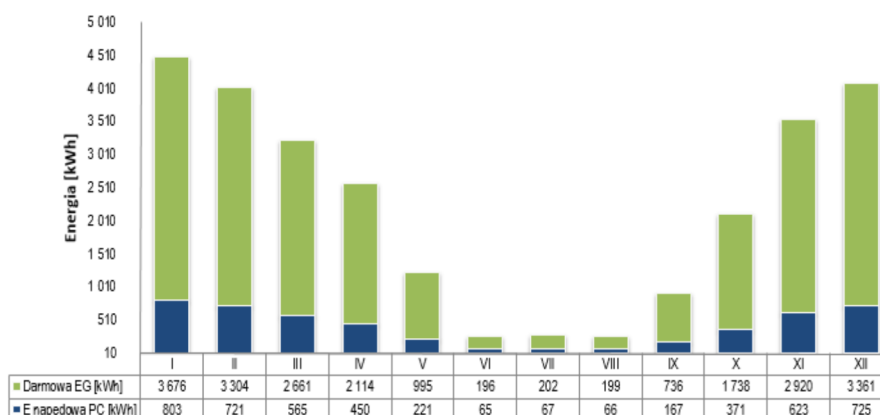
Obliczeń dokonano za pomocą programu do analizy zapotrzebowania energetycznego budynku i doboru pomp ciepła firmy Dimplex [5]. Szczegółowe analizy cząstkowe zawarte są w [6].

4.1. Analiza efektów energetycznych rocznej pracy gruntowej pompy ciepła

Na rysunku 2 pokazano rozkład produkcji energii na poszczególne miesiące. Zestawianie zawiera ilość energii elektrycznej zużytej do napędu sprężarki pompy ciepła ($E_{\text{napędowa PC}}$) oraz energię otrzymaną w wyniku działania pompy ciepła ($E_{\text{Darmowa EG}}$). Całkowita ilość energii elektrycznej niezbędnej do napędu sprężarki pompy ciepła wynosi 4844 kWh, zaś ciepło wytworzone przez pompę ciepła wynosi 21772 kWh.

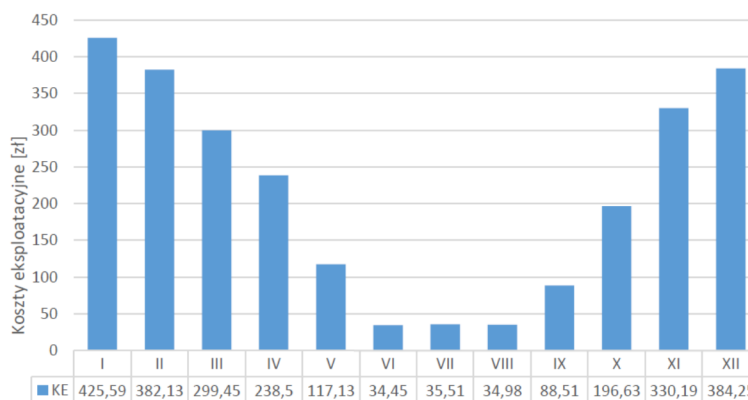
Porównując zapotrzebowanie energetyczne budynku (rys. 2) z wytworzoną energią (rys. 2) pompa ciepła w monoenergetycznym trybie eksploatacyjnym pokrywa całkowicie zapotrzebowanie budynku na ciepło. Przyjmując, że koszt 1kWh energii elektrycznej zużytej do napędu sprężarki pompy ciepła wynosi 0,53 zł/kWh oraz uwzględniając koszt przesyłu i dystrybucji energii można oszacować roczne koszty eksploatacji (KE) pompy ciepła. Najwyższe koszty eksploatacyjne ponoszone są w sezonie grzewczym i wynoszą maksymalnie 425,59 zł dla stycznia (rys. 3). Najniższe koszty ponoszone są latem, gdy pompa

ciepła przygotowuje jedynie C.W.U - 35 zł miesięcznie. Rocznie za energię elektryczną zużytą do napędu sprężarki pompy ciepła należy zapłacić 2567,32 zł. Do kosztów eksploatacyjnych należy doliczyć również koszty serwisowe, które w przypadku pompy ciepła wynoszą około 500 zł. Zatem całkowity sezonowy koszt eksploatacyjny gruntowej pompy ciepła wynosi 3067,32 zł.



Rys. 2. Rozkład produkcji ciepła w poszczególnych miesiącach

Fig. 2. Schedule production of heat in individual months

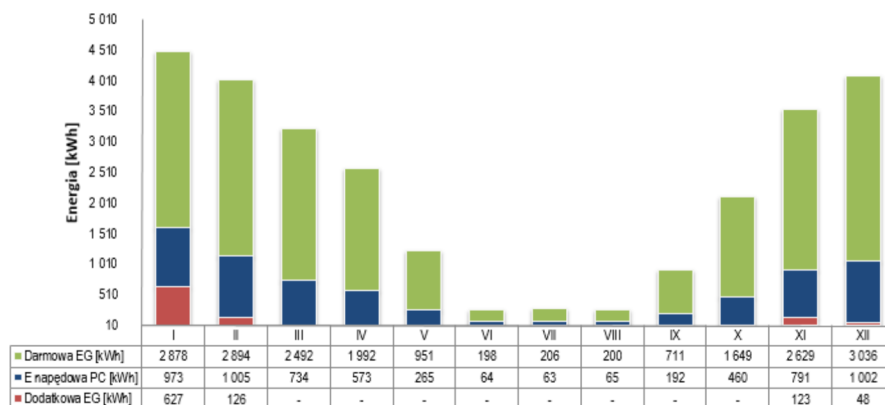


Rys. 3. Zestawienie miesięcznych kosztów za zużytą energię elektryczną do napędu sprężarki gruntowej pompy ciepła

Fig. 3. Statement monthly of cost electrical energy consumed to work of compressor of heat pump

4.2. Analiza efektów energetycznych rocznej pracy powietrznej pompy ciepła

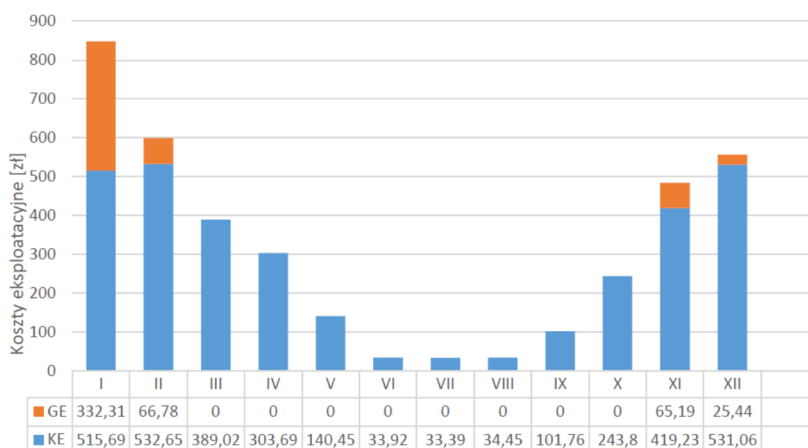
Na rysunku 4 przedstawiono roczne zestawienie energetyczne pracy sprężarkowej pompy ciepła w układzie powietrze woda. Zestawianie uwzględnia ilość energii elektrycznej niezbędnej do napędu pompy ciepła (E napędowa PC),



Rys. 4. Zestawienie energetyczne pracy układu grzewczego opartego na powietrznej pompie ciepła
 Fig. 4. Energetic statement of work of heating system based on air-water heating pump

ciepło otrzymane w wyniku działania pompy ciepła (Darmowa EG) oraz ciepło wytworzone przez grzałkę (Dodatkowa EG). Sezonowa ilość energii elektrycznej zużytej do napędu sprężarki pompy ciepła wynosi 6187 kWh, zaś ciepło wytworzone przez pompę ciepła wynosi 26023 kWh. Grzałka wspomagająca pracę pompy ciepła dostarczyła 924 kWh energii, z czego prawie dwie trzecie z tej energii zostało wyprodukowane w styczniu, w którym warunki pracy pompy są najmniej korzystne.

Roczne koszty eksploatacyjne analizowanej pompy ciepła wynoszą 4268,83 zł. Na tę kwotę składa się koszt zużytej energii elektrycznej niezbędnej do napędu sprężarki pompy ciepła (KE) (rys. 5), koszt energii elektrycznej zużytej przez



Rys. 5. Sezonowy koszt eksploatacji powietrznej pompy ciepła

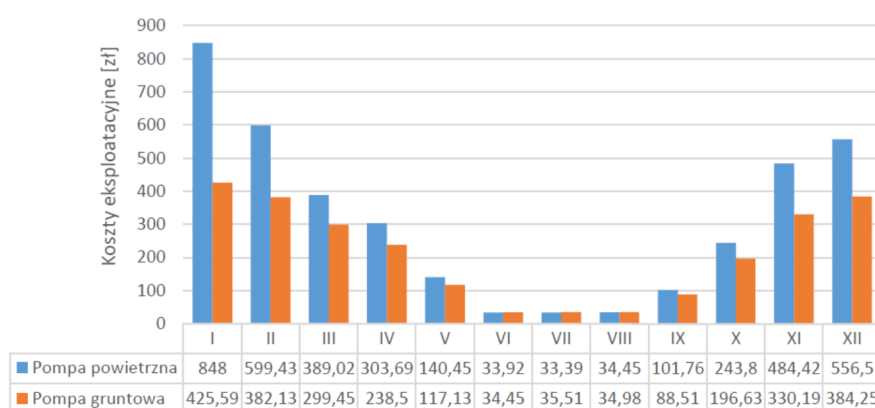
Fig. 5. Seasonal exploitation cost of air-water heat pump

grzałkę (GE) (rys. 5) oraz koszty serwisowe ok. 500. Podobnie jak w przypadku pompy gruntowej najwyższe koszty eksploatacyjne są w okresie zimowym i np. w styczniu koszt ogrzewania obiektu przy pomocy pompy ciepła i wspomagającej ją grzałki zanurzeniowej wynosi 848 zł. Najniższe koszty eksploatacyjne występują latem i wynoszą około 34 zł w skali miesiąca – przygotowanie C.W.U.

5. Analiza porównawcza kosztów i okresu zwrotu inwestycji

Koszt inwestycyjny systemu bazującego na pompie ciepła pracującej w układzie powietrze woda-jest niższy od kosztów jakie należy ponieść instalując gruntową pompę ciepła. W przypadku pompy gruntowej koszt wykonania maszynowni wynosi około 50 000 zł i jest niższy od kosztu wykonania maszynowni pompy ciepła pracującej w układzie powietrze-woda wynoszącego około 53 700 zł. Jednak w przypadku gruntowej pompy ciepła należy uwzględnić jeszcze koszt wykonania dolnego źródła ciepła, które w analizowanym przypadku oszacowano na kwotę 30 500 zł. Zatem sumaryczny koszt inwestycyjny gruntowej pompy ciepła wynosi 80 500 zł. Różnica pomiędzy kosztem instalacji gruntowej a powietrznej pompy ciepła wynosi 26 800 zł.

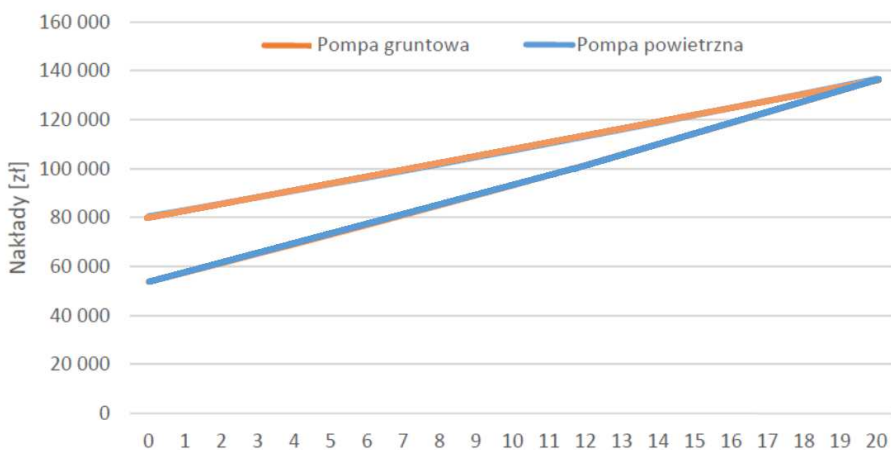
Na rysunku 6 przedstawiono zestawienie porównawcze miesięcznych kosztów eksploatacyjnych gruntowej i powietrznej pompy ciepła. Z rysunku wynika, że eksploatacja systemu bazującego na gruntowej pompie ciepła jest zdecydowanie tańsza od systemu bazującego na pompie ciepła pracującego w układzie powietrze-woda. Największa różnica w kosztach eksploatacji występuje w miesiącach zimowych, w których ze względu na niską temperaturę powietrza pompa ciepła pracująca w układzie powietrze-woda wspomagana jest grzałką elektryczną. W miesiącach letnich koszty eksploatacji obu systemów są porównywalne. Roczne koszty eksploatacyjne gruntowej pompy ciepła wynoszą 2567,32 zł, natomiast roczne koszty eksploatacyjne powietrznej pompy ciepła są wyższe i wynoszą 3768,83 zł. Różnica w kosztach eksploatacyjnych jest znaczna i wynosi 1201,51 zł.



Rys. 6. Porównanie sezonowego kosztu eksploatacji gruntowej i powietrznej pompy ciepła

Fig. 6. Seasonal comparison cost of work groundwater heat pump and air-water heat pump

Na rysunku 7 przedstawiono sumę kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych poszczególnych rozwiązań w okresie 20 lat (maksymalny przyjęty okres eksploatacji sprężarki) z uwzględnieniem wzrostu opłat za energię elektryczną wynoszącą 1% w skali roku.



Rys. 7. Porównanie nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych analizowanych koncepcji

Fig. 7. Comparison of investment and operating costs of the analyzed concept

Z analizy wynika, że po 20 letnim okresie eksploatacji obu instalacji poniesione koszty inwestycyjne i eksploatacyjne się wyrównują. Dwudziestoletni okres eksploatacji jest okresem stosunkowo długim, w którym urządzenie zostałoby w pełni zamortyzowane i wyeksploatowane. Należy zaznaczyć, że nie uwzględniono w tych obliczeniach różnicy w kosztach inwestycyjnych obu koncepcji. Kwota ta mogłaby być inwestowana i spożytkowana w innych celach przez inwestora.

6. Wnioski

Z przedstawionej analizy wynika, że pomimo wyższych kosztów eksploatacyjnych w analizowanym przypadku bardziej opłacalne jest zastosowanie pompy ciepła pracującej w układzie powietrze – woda niż gruntowej pompy ciepła. Wynika to z wyraźnie niższych kosztów inwestycyjnych.

Literatura

- [1] Pompy ciepła - Biuletyn OZE. Biuletyn pomp ciepła – Euroserv'er – 2015.
- [2] Sobieraj M.: Sprężarkowa pompa ciepła systemu powietrze/woda. Konstrukcja i badania. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 7/2015 str. 269-276.
- [3] PN-EN 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.

- [4] PN-EN 1264 - Wbudowane płaszczyznowe wodne systemy ogrzewania i chłodzenia - Część 2: Ogrzewanie podłogowe: Obliczeniowa i badawcza metoda określania mocy cieplnej.
- [5] Dimplex Heat_Pump ver_1.110815: Program do analizy zapotrzebowania energetycznego budynku i doboru pomp ciepła.
- [6] Chaberski M.: Pompa ciepła powietrzna czy gruntowa? Analiza techniczno-ekonomiczna dla wybranego obiektu. Praca inżynierska SGGW, Warszawa 2016.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS USING GROUND AND AIR HEAT PUMP IN RESIDENTIAL BUILDING - CASE ANALYSIS

Summary

In paper was presented technical and economic analysis used ground heat pump and air-water heat pump covering the heat demand of residential building. Heat demand of residential building with included heat losses by wall and ventilation was calculated according to norm PN-EN 12831. In the analyzed building uses underfloor heating. In the analyzed building uses underfloor heating with size calculated according norm PN-EN 1264. knowing heat demand of residential building selected model of ground heat pump which nominal heating power is 13,9 kW, and air heat pump which nominal power heating is 9,4 kW. Assume that the ground heat pump will be exploitation in the mono energetic mode while the air heat pump will be exploitation in mono energetic bivalent mode. Air heat pump below bivalent ambient temperature will assisted by electrical heater about nominal power 6 kW. Electrical heater was installed in buffer tank. in both cases assumed that control of work of installation will be realized in function of ambient temperature. Assumed that work of air heat pump below ambient temperature $<-7^{\circ}\text{C}$ (bivalent temperature) will assisted by electrical heater. Analysis of investment cost, energetic effects and exploitation cost has been made. Analysing of investments cost of both conceptions because of the cost of ground heat exchanger, installation of ground heat pump is more expensive than air heat pump. Heat demand of residential building is covered by a ground heat pump and air heat pump assisted by electric heater which is working below bivalent ambient temperature too. Result of economic analysis is that exploitation cost of ground heat pump is lower than air heat pump, but analysing investments cost and exploitation cost of both systems in twenty years, more economical is installation air heat pump than ground heat pump.

Keywords: ground heat exchanger, central heating, hot domestic water

DOI:10.7862/rb.2016.280

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Anita ORCHOWSKA¹

ARCHITEKTONICZNE ROZWIĄZANIA Z ZASTOSOWANIEM „RE-UŻYCIA” PŁYT PREFABRYKOWANYCH

Problemy architektoniczne i urbanistyczne blokowisk są powszechnie znane w krajach europejskich. Jednym z prób ich rozwiązania jest odnowa związana z polepszeniem środowiska mieszkaniowego i technicznego stanu zabudowy. Oprócz metody zachowawczej, w krajach Europy zachodniej prowadzi się wyburzenia niezamieszkałych i zdegradowanych budynków lub obniża się ich wysokość i tektonikę zmieniając w sposób zasadniczy estetykę zabudowy. Artykuł przedstawia prace eksperymentalne przeprowadzane w Niemczech związane z jedną z metod ponownego wykorzystania prefabrykowanych płyt betonowych, która polega na budowie przy ich udziale „nowych” budynków mieszkalnych. Jakie są architektoniczne możliwości rozwiązań i ich korzyści oraz negatywne strony tej metody?

Re-użycie płyt betonowych jest alternatywą w rozwiązaniach architektonicznych i budowanych dla istniejącej tkanki mieszkaniowej powstałej w technologii uprzemysłowionej. Nowa zabudowa spełnia standardy ekologiczne i daje możliwość wprowadzenia oszczędności na różnym etapie inwestowania i funkcjonowania budynku. W efekcie zmian notuje się generalną poprawę jakości życia, warunków higienicznych zabudowy i jej pozytywnego wizerunku na tle rozwoju terenów mieszkaniowych miasta. Problem czasowości w architekturze pojawia się tu w aspekcie przemiany uwarunkowań społecznych i środowiskowych, jako podążanie za zmieniającymi się standardami i potrzebami współczesnego życia. Wykorzystanie tej metody w Polsce jest trudne do osiągnięcia, ale może stanowić podstawą rozważań badawczych w tym zakresie.

Słowa kluczowe: budynki mieszkalne, architektura, re-użycie, środowisko mieszkaniowe

1. Wprowadzenie

Po okresie intensywnej pracy nad tworzeniem programów i strategii rozwoju wielkich osiedli mieszkaniowych miast europejskich, których celem było utrzymanie istniejących zasobów i polepszenie ich standardów, przyszedł czas na inne spojrzenie na ten znany od wielu lat problem. Niemieckie działania

¹ Anita Orchowska, Politechnika Warszawska, Wydział Architektury, Zakład Architektury, Wnętrz i Form Przemysłowych, ul. Koszykowa 55, 00-659 Warszawa; tel. 22 6282887; orchowska@poczta.fm

w dziedzinie modernizacji osiedli prefabrykowanych, będące przykładem modelowym w tym zakresie, nie wyeliminowały całkowicie problemu występujących w dużej ilości pustostanów. Pomimo stworzenia finansowego wsparcia ze strony Państwa oraz zaangażowania lokalnych społeczności mamy wciąż do czynienia z postępującymi wyludnieniami budynków, zwłaszcza we wschodnich częściach Niemiec. Zmiana miejsca zamieszkania ludności osiedli wiąże się z chęcią podniesienia statusu społecznego i osiągnięcia lepszych warunków mieszkaniowych, odcięcia się od niechlubnej historycznie zabudowy, a także migracją zarobkową do innych rejonów kraju. Zmieniające się standardy mieszkaniowe i potrzeby społeczne w miastach współczesnej Europy zmuszają projektantów do rozwiązań kreatywnych i nowoczesnych związanych z mieszkalnictwem, a równocześnie zwracających uwagę na ochronę naszego środowiska zamieszkania.

Jednym z działań modernizacyjnych w Europie dotyczącym osiedli jest wymiana substancji budowlanej w częściowym lub całościowym zakresie. Znaną są działania związane z pomniejszaniem wysokości budynków, fragmentaryczną rozbiórką ich części czy całkowitymi wyburzeniami, w celu wprowadzenia nowej zabudowy. Sporo miejsca zajmuje zagadnienie ponownego wykorzystania substancji budowlanej – wielkopłytkowej w budownictwie. Z jednej strony zwolennicy tego typu rozwiązań propagują ilość zalet wynikających z tej metody odnowy oraz jej bezpośrednie korzyści, z drugiej strony istnieje mocna świadomość braku możliwości trwałego przekształcenia środowiska mieszkaniowego bez jego radykalnych zmian.

2. Uwarunkowania

Projekty teoretyczne i eksperymentalne rozwiązania architektoniczne powstają w Niemczech od lat, od momentu kiedy nastąpiło przyłączenie wschodnich landów i ruszył proces modernizacji terenów mieszkaniowych w 1989 roku. Wkrótce problem ten stał się jednym z najważniejszych elementów polityki mieszkaniowej państwa. Temat rozbiórki jest przedmiotem projektów badawczych prowadzonych przez instytucje naukowe wspierane przez programy finansowane przez państwo².

Pierwszym problemem od lat 90-tych do chwili obecnej jest ogromna i narastająca liczba pustostanów. Niemcy przewidywali, że do 2010 roku trzeba będzie rozebrać 350 tysięcy mieszkań w budynkach prefabrykowanych³ [1],

² W modernizację zaangażowanych jest wiele instytucji m.in.: Senat Berlina, Uniwersytet Techniczny (TU Berlin), Instytut Rozwoju Regionalnego i Strukturalnego Planowania (IRS) oraz wiele innych instytucji badawczych z całego kraju. Funkcjonuje specjalistyczny program nt. możliwości ponownego re-użycia zdemontowanych elementów prefabrykowanych w budownictwie mieszkaniowym finansowany przez Urząd Federalny dla Budownictwa i Planowania Regionalnego (BBR)

³ Powody jak szacują eksperci są następujące: niski odsetek urodzeń we wschodniej części Niemiec, kurczenie się populacji i brak miejsc pracy

a następnie w ciągu kolejnych lat zlikwidować ok. 200 tysięcy lokali⁴ [2]. Wysokie koszty utrzymania budynków wiążą się z dużymi kosztami utrzymania opustoszałych mieszkań, które często pozostają w dobrym stanie do momentu rozbiórki. W takich miejscach istnieje zagrożenie zasiedlenia przez osoby o niestabilnej sytuacji finansowej i powstawanie tzw. „getta dla ubogich”. Zazwyczaj wzrasta też niezadowolenie z panującej sytuacji mieszkaniowej tych, którzy nie mogą pozwolić sobie na przeprowadzkę. Według opinii wielu środowisk naukowych opartych na obserwacjach dotychczasowych przekształceń nie da się trwale zmienić środowiska mieszkaniowego poprzez kosmetykę fasady, wzbogaceniem oferty mieszkaniowej czy budowę handlowo – rekreacyjnych centrów dla mieszkańców. Podważa to sens prowadzonej od lat modernizacji architektoniczno – urbanistycznej tych osiedli. Struktura budynków wykonanych w technologii wielkopłytowej pozostaje w dużym stopniu jednolita i monotonna. Brak też stosowanych dotąd mało kosztownych pomysłów, które mogłyby doprowadzić do zróżnicowanych i ambitnych form architektonicznych [3].

Tymczasem demontowane płyty betonowe wykorzystuje się do wznoszenia zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej, małych domów mieszkalnych, na tej samej działce, w jej pobliżu lub w innej lokalizacji. W taki sposób mogą powstać budynki jednorodzinne wolnostojące, szeregowe oraz niska intensywna zabudowa innego typu. Dzięki temu kształtuje się indywidualny charakter środowiska mieszkaniowego zgodnie z zapotrzebowaniem mieszkańców, z przydomowymi ogródkami i małą skalą rozdrobnionej zabudowy. Budynki takie prezentują znacznie wyższe jakości architektoniczne, spotykają się z powszechną akceptacją użytkowników oraz są korzystne środowiskowo i atrakcyjne finansowo.

3. Ocena technologii

Do zalet i bezpośrednich korzyści idei „re-użycia” płyt betonowych w budownictwie mieszkaniowym zaliczyć można:

- oszczędności na różnym poziomie realizacji inwestycji; przy ponownym wykorzystaniu materiału budowlanego w postaci płyt betonowych, koszt stanu surowego nowych budynków jest o ok. 30% mniejszy [3]; przy powtórnej zabudowie parcel z istniejącą infrastrukturą – nie ma potrzeby wykorzystywania nowego terenu pod inwestycje; występują mniejsze koszty transportu i usuwania materiałów budowlanych,
- użycie zachowanych w dobrym stanie płyt betonowych w znacznym stopniu przyspiesza budowę obiektu, długa żywotność płyt, które są przesuszone daje możliwość postawienia obiektu w stanie surowym w ciągu kilku dni; elementy użyte są do ścian zewnętrznych konstrukcyjnych, wewnętrznych działowych,

⁴ Niemiecki rząd wydał na rozbiórkę budynków do 2010 roku 2,6 mld euro, a w zamierzeniach miały być kolejne 3 mld euro

- jako podłogowa i konstrukcja dachu; prostszy od oryginalnego sposób spinania płyt daje możliwość łatwiejszego demontażu w dowolnym czasie użytkowania; swobodne kształtowanie wnętrza i podział otworów okiennych i drzwiowych uzyskuje się poprzez przycinanie elementów betonowych [4],
- kreowanie atrakcyjnego środowiska mieszkaniowego w sposobie zabudowy, jako zespołu domów lub indywidualnych budynków jednorodzinnych, przy jednoczesnym zachowaniu niewysokiej ceny mieszkań,
 - wizualna zmiana miejsca – osiedla wielkopłytowego, fragmentu dzielnicy, miasta poprzez wprowadzenie różnorodnej struktury budynków i infrastruktury terenu,
 - możliwość pozostania mieszkańców w dobrze im znanym środowisku, w pobliżu tej samej szkoły, przedszkola, miejsca pracy itd.,
 - wprowadzenie zróżnicowanej struktury społecznej na osiedlu mieszkaniowym,
 - uwzględnienie aspektów ekologicznych w zakresie: oszczędności związanych z wykorzystaniem niezainwestowanych terenów np. zielonych pod nowe budownictwo mieszkaniowe; ograniczenia w ruchu ulicznym dzięki dogęszczeniu zabudowy i zastosowaniu np. segregacji ruchu pieszego od jezdnego; możliwości zastosowania technologii proekologicznych przy budowie nowych budynków, bez problemów związanych ze starą zabudową,
 - występowanie nieograniczonej ilości budulca – płyt betonowych, które można odzyskiwać z planowanych do rozbiórki obiektów.

Do negatywnych aspektów re-użycia zaliczyć można ograniczenia architektoniczne w kształtowaniu bryły budynku spowodowane stałymi i niezmiennymi podstawowymi wymiarami płyt. Kreatywność w formowaniu bryły powinna zbliżać się do uzyskania prostoty i jasnych zasad budowy elewacji budynku. Duże znaczenie ma również odległość budowy od miejsca rozbiórki. Ze względu ciężar betonu zamierzenie jest opłacalne w promieniu 300 km, gdyż niskie koszty budowy wzrastają znacznie podczas odległego transportu. Najlepiej, jeśli betonowe płyty użyte są w krótkim czasie po rozbiórce, ponieważ ich magazynowanie jest bardzo kłopotliwe. Przechowywanie powinno odbywać się przy zastosowaniu drewnianych przekładek w formie podpór, aby ograniczyć stykanie się płyt i ich pękanie pod własnym ciężarem⁵ [5].

⁵ Inżynierowie z Uniwersytetu Technicznego w Berlinie tłumaczą, że firmy zajmujące się rozbiórką nie są zbyt ostrożne przy umieszczaniu płyt na podporach, a często spadające płyty naruszają swą konstrukcję

4. Przykłady

Poniżej przedstawiono przykłady projektów pilotażowych i realizacji rozwiązań architektonicznych. Realizacje dotyczą modernizacji z zastosowaniem re-użycia płyt rozbiórkowych w miejscu zabudowy lub nowych budynków na położonej w innej lokalizacji działce.

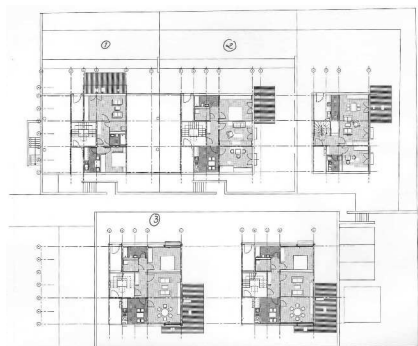
4.1. Przebudowa i modernizacja wieżowców – osiedle Sachsenorff w Cottbus

Projekt i realizacja dotyczy wyburzenia znacznej części 11-kondygnacyjnego wieżowca w Cottbus przy ul. Chopinstrasse 1/3⁶ oraz recyklingu części składowych budynku - płyt prefabrykowanych. Dwa z trzech istniejących w tym miejscu obiektów zostały odnowione⁷, trzeci poddano rozbiórce. Wykorzystując fragmenty przyziemia oraz pierwszej kondygnacji istniejącego wieżowca, a także teren w jego pobliżu powstało pięć budynków mieszkalnych, w których znajduje się od jednego do kilku apartamentów i mieszkań dwupoziomowych [3]. 2 i 3 kondygnacyjne obiekty tzw. „wille miejskie” zostały wzniesione przy ponownym wykorzystaniu płyt betonowych z rozbiórki. W tym przypadku użyto ok. 1/3 materiału rozbiórkowego⁸. Proponowane zagospodarowanie w otoczeniu obiektów stosuje podniesiony poziom terenu ponad istniejącą po wyburzeniu pierwszą kondygnację. Mieszkania są urozmaicone, 2-, 3- i 5-cio pokojowe w zależności od zapotrzebowania na rynku. Część z nich z przeznaczeniem na wynajem. Na parterze przydomowe ogródki przynależą do mieszkań. Zaproponowana architektura charakteryzuje się prostotą rozwiązań. Zastosowany schodkowy układ budynku urozmaica jego estetyczny charakter, umożliwia zmniejszenie zacienienia w bliskim sąsiedztwie, a obniżenie skali zabudowy zapewnia wgląd w otaczającą zielen. Nowe obiekty diametralnie różnią się wysokością od pozostałej zabudowy. Najbliższe otoczenia inwestycji prezentuje wysoką jakość rozwiązań urbanistycznych i atrakcyjny wizerunek przestrzeni publicznej ze ścieżkami, segregacją ruchu, przestrzenią lokalnej rekreacji i bogatą zielenią. Ludzka skala zabudowy zapewnia lepsze doświetlenie przestrzeni i odpowiednie przewietrzanie oraz lepsze warunki wegetacji roślin. Budynki spełniają najwyższe standardy ekologiczne i są tańsze o 15-20% od porównywalnego obiektu wykonanego z całkowicie nowych materiałów [6].

⁶ Autorem projektu jest biuro Zimmermann + Partner architekten DBA w Cottbus. W roku 1998 rozpoczęto projekt modernizacji grupy budynków 11- kondygnacyjnych, 2001 roku miał miejsce początek demontażu płyt prefabrykowanych w obiekcie i budowa nowych budynków, w 2002 roku kompleks został oddany do użytku. Według niemieckich źródeł ten projekt pilotażowy, był pierwszą próbą zastosowania technologii re-użycia płyt rozbiórkowych

⁷ Odnowa była kompleksowa począwszy od przebudowy mieszkań, części wspólnych, zmodernizowano elewacje, utworzono nowe wejścia, loggie oraz wprowadzono rozwiązania proekologiczne (m.in. ogniwa fotowoltaiczne)

⁸ Pozostała część uległa zniszczeniu



Rys. 1. Plan mieszkań - Cottbus. Dzięki uprzejmości biura Zimmermann + Partner architekten DBA

Fig. 1. Housing plan - Cottbus. Courtesy of Zimmermann + Partner architekten DBA



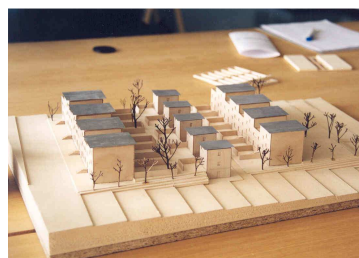
Rys. 2. Przebudowa budynków - Cottbus. (Autor zdjęcia: Anita Orchowska)

Fig. 2. Reconstruction of buildings - Cottbus. (Author photo: Anita Orchowska)



Rys. 3. Przekrój - Kitzscher. Dzięki uprzejmości biuro Meyer-Miethke & Partners Architekten und Ingenieure

Fig. 3. Section - Kitzscher. Courtesy of Meyer-Miethke & Partners Architekten und Ingenieure



Rys. 4. Model - Kitzscher. (Autor zdjęcia: Anita Orchowska)

Fig. 4. Model - Kitzscher. (Author photo: Anita Orchowska)

4.2. Projekt przebudowy budynków mieszkalnych w Kitzscher

Projekt zakładał częściowy demontaż dwóch opustoszałych budynków mieszkalnych 5-kondygnacyjnych w miejscowości Kitzscher przy ul Birkenstrasse i Strasse des Friedens⁹. Części obiektów - 2 lub 3 górne kondygnacje miały zostać zdemontowane, a uzyskane w ten sposób płyty miały stanowić materiał do budowy pojedynczych segmentów - domów jednorodzinnych w pasie równoległym pomiędzy istniejącą zabudową. Rozebrane bloki miały uzyskać urozmaiconą architekturę, a poprzez dodatkowe obniżenie części górnej kondygnacji

⁹ Projekt wykonany przez biuro Meyer-Miethke & Partners Architekten und Ingenieure w Espenhain w roku 2001

nawiązywać do nowych, pojedynczych budynków wewnątrz zabudowy. Zmodernizowane mieszkania uzyskały duże tarasy oraz nowy podział wewnętrznej powierzchni użytkowej. Projekt zakładał budowę małych domów jednorodzinnych wolnostojących, które posiadają przydomowe ogródki i w skali zabudowy tworzą przestrzeń typowego osiedla domów jednorodzinnych. Do budowy miały posłużyć zdemontowane płyty sąsiednich obiektów. W projekcie zaproponowano różnicę poziomów, wynikającą z istniejącego zagospodarowania. Teren w projekcie podwyższono w strefie rekreacji, a obniżono od strony uliczki wjazdowej [3]. Zmiany środowiska zabudowy sztywnych bloków w przyjazną architektonicznie strukturę były w założeniach bardzo atrakcyjne. Nie doszło jednak do realizacji projektu. Obecnie w tym rejonie po wyburzeniach dwóch budynków pozostał teren zielony, który służy jako rekreacja dla całej przestrzeni funkcjonującego osiedla.

4.3. Projekty pilotażowych domów wolnostojących pod Berlinem¹⁰

Budynki, które powstały w ramach projektu wykorzystywały komponenty betonowe w postaci paneli ścian nośnych i sufitowych oraz elementów podłogi. Płyty stanowią same w sobie konstrukcję nośną, dodatkowe wzmocnienia nie były potrzebne. Elementy łączono stalowymi kotwami, które mogą przenosić duże obciążenia. Takie zastosowanie gwarantowało możliwość demontażu płyt np. po zakończeniu ich użytkowania. W przypadku tego projektu oprócz korzyści środowiskowych i ekonomicznych bardzo istotne okazały się możliwości dowolnego kształtowania architektury. Każdy z obiektów miał indywidualne plany oraz różnił się kształtem kubatury. Używane do budowy zdemontowane płyty wewnętrzne mogły być w dowolny sposób pocięte zgonie z zapotrzebowaniem i wizją architekta. Cięcie oryginalnych ścian paneli zewnętrznych okazało się mniej odpowiednie, gdyż składające się z kilku warstw elementy przy naciśnięciu traciły swoją jednorodność. W ten sposób uzyskano 95% struktury konstrukcyjnej budynku, a czas jej powstawania ograniczał się do kilku dni. Zatem budowa domu do stanu wykończenia, z wykonaniem powłoki izolacyjnej i ochronnej mogła trwać jedynie 3 miesiące [4]. Poza oszczędnością kosztów inwestycji i czasu budowy warto wspomnieć o zaletach materiałowych samych paneli betonowych. Jako materiał budowlany, beton doskonale magazynuje ciepło, jest dźwiękochłonny i tworzy przyjemny klimat we wnętrzu [1], co jest ważnym aspektem użytkowym. Jak twierdzą inżynierowie współpracujący przy powstawaniu zabudowy, standardy techniczne obiektów są bardzo dobre, nie odbiegają niczym od innych, nowoczesnych technologii. Ich dodatkowym atutem jest w razie konieczności możliwość łatwej przebudowy, zmiany obrysu i struktury przestrzennej, bez uszczerbku w konstrukcji obiektu [7].

¹⁰ Budynki zaprojektowali architekt Herve Biele z biura Conclus, przy współpracy Instytutu Ochrony i Modernizacji Budynków Technicznego Uniwersytetu w Berlinie – IEMB TU Berlin

W ramach projektu powstały trzy obiekty¹¹ jednym z nich był dom „Z” zlokalizowany w Mehrow pod Berlinem. Jest to dom wolnostojący o wielkości 212 m² z garażem na dwa miejsca parkingowe. Układ przestrzenny domu proponuje ciekawy rozkład pomieszczeń wraz z przestrzenią wspólną i indywidualnymi pokojami oraz atrakcyjny lecz nieskomplikowany wygląd zewnętrzny¹². Budynek został zbudowany z płyt rozbiórkowych pochodzących z 11-kondygnacyjnego wieżowca berlińskiej dzielnicy Marzahn [7]. Do budowy użyto panele poziome sufitowe w ilości 27 sztuk i pionowe wewnętrzne ścienne - 22 sztuki. Oprócz tego, powstały jeszcze: domy „L” w Schildow oraz „K” w Schoneiche pod Berlinem [4].

a) budynek w Mehrow

b) dom w Muhlhausen



Rys. 5. Przykłady przebudowanych budynków, na podstawie [2, 5]

Fig. 5. Examples of reconstructed buildings, based on [2, 5]

4.4. Dom mieszkalny wolnostojący – „shoes-box” pod Dreznem

Budynek wolnostojący zbudowany został w Muhlhausen w pobliżu Drezn¹³. Płyty pochodzące z rozbiórki bloków przetransportowano na miejsce budowy¹⁴ [2]. Budynek nie przypomina w niczym bloków z jakich powstał. Reprezentuje on nowoczesną architekturę, a podłużna 3-kondygnacyjna bryła nadaje atrakcyjny i dynamiczny wygląd całości architektonicznego założenia. Duże otwory okienne zapewniają większy dostęp światła do wnętrza budynku.

¹¹ Wszystkie domy jednorodzinne powstały w 2005 roku

¹² Zastosowano nowoczesne technologie: pompę ciepła - ogrzewanie podłogowe, dodatkową warstwę izolacyjną zewnętrznej. Jak twierdzi projektant Herve Biele dom nie wymaga ogrzewania przez okres do 80% w ciągu roku

¹³ Autorem projektu jest Norman Hose. Dom został zbudowany w roku 2010

¹⁴ Koszt przewozu 58 elementów betonowych wyniósł 5000 euro

5. Wnioski

Eksperymentalne metody kształtowania zabudowy mieszkaniowej z zastosowaniem re-użycia płyt betonowych pozyskanych z rozbiórki obiektów są rozwiązaniem alternatywnym dla zachowawczych prób poprawy estetyki zabudowy i przeprowadzanych całościowych wyburzeń. Zbudowane w ten sposób obiekty architektoniczne mogą prezentować nie tylko różne walory estetyczne i nowoczesny wygląd nie przypominający starych bloków mieszkalnych, ale rozmaite rozwiązania przestrzenne i techniczne przy wsparciu technologii proekologicznych. Zarówno projekty eksperymentalne jak i realizacje w miejscu starych obiektów kształtują nowy wizerunek architektury mieszkaniowej i znacznym stopniu przyczyniają się do poprawy jakości życia i warunków higienicznych zabudowy. Powstające oszczędności środowiskowe i ekonomiczne w projektach realizujących ponowne użycie substancji budowlanej wielkopłytowej, wpisują tę metodę w ważny nurt architektury tworzonej z poszanowaniem środowiska naturalnego. W ten sposób nie tylko oszczędza się energię, chroni zasoby naturalne lecz uczestniczy w procesie recyklingu materiałów budowlanych. Cykl użytkowy zastosowanych w przedsięwzięciach płyt może być dalej kontynuowany. Prezentowany w artykule obszar wiedzy jest na początku swej drogi badawczej, jednak w przyszłości można spodziewać się efektów oszczędnościowych i środowiskowych zwłaszcza porządkujących tereny pustoszejących blokowisk. Najważniejszymi aspektami tej technologii, które wymagają szczegółowego opracowania jest jakościowe rozpoznanie pozyskiwanych materiałów do rozbiórki, projekty architektoniczne skorelowane z technologią, logistyka związana z rozbiórką, przewozem i montażem oraz stworzenie odpowiednich regulacji finansowych, prawnych i budowlanych [8]. Re-użycie czeka wciąż na rozpoznanie, choć autorzy projektów sygnalizują stały wzrost zainteresowania tą metodą, tym bardziej, że materiału rozbiórkowego jest pod dostatkiem i jest on w bardzo dobrym stanie technicznym.

W Polsce nie mamy problemu pustostanów i nie musimy jeszcze zadawać sobie pytania jak nasi zachodni sąsiedzi, co zrobić z wciąż zdrowymi płytami pozostałymi z rozbiórki. Jednak takie doświadczenia pozwalają spojrzeć na zagadanie blokowisk z innej, niż tej znanej strony - nieodwracalnej, niechlubnej przeszłości, lecz w kierunku rozważań badawczych nt. możliwości wykorzystania istniejącego potencjału współczesnych miast i osiedli.

Literatura

- [1] <http://archiv.pressestelle.tu-berlin.de/pi/2005/pi161.htm> {dostęp 18.06.2016}.
- [2] <http://www.csmonitor.com/World/Global-News/2010/0308/Germany-Recycling-communist-housing-blocks-into-modern-homes> {dostęp 11.06.16}.

- [3] Orchowska A.: Aspekt urbanistyczny i architektoniczny odnowy zespołów mieszkaniowych II połowy XX wieku, praca doktorska, Kraków 2002.
- [4] <https://betongelit.files.wordpress.com/2009/07/werkinfo.pdf> {dostęp 08.06.2016}.
- [5] <http://www.spiegel.de/international/recycling-architectural-disasters-a-communist-block-house-renaissance-a-367335.html> {dostęp 08.06.2016}.
- [6] <http://www.werkstatt-stadt.de/de/projekte/58/> {dostęp 10.06.2016 r.}.
- [7] <https://www.theguardian.com/artanddesign/2005/nov/14/architecture.germany> {dostęp 18.0616}.
- [8] http://www.bbsr.bund.de/BBSR/EN/Publications/CompletedSeries/IEMB/2006_2007/DL_3_2007.pdf?__blob=publicationFile&v=2 {dostęp 20.06.16}.

ARCHITECTURAL SOLUTIONS WITH REUSE OF PREFABRICATED CONCRETE SLABS

Summary

The problems of architectural and urban housing estates are well known in European countries. One of the attempt to solve them is renewal associated with improvement of housing environment and the technical condition of building estate. Western European countries in addition to conservative methods carried out the demolition of abandoned and degraded buildings or they lowered their height and tectonics in order to fundamentally change the aesthetics of buildings. The article presents experimental works in Germany related to one of the methods for the re-use of prefabricated concrete slabs, which simply involves reusing them in the construction of "new" residential buildings. What are the possibilities of architectural solutions and their benefits and negative aspects of this method? Reusing of concrete slabs is an alternative solution in architecture and construction for existing residential structures formed in the industrialized technology. The new building meets environmental standards and gives the possibility of savings at various stages of investment and operation of the building. As a result of those changes there has been a general improvement in quality of life, health conditions of the building estate and its positive image on the background of development of residential areas of the city. The problem of temporality in architecture appears here in the terms of transformation of social and environmental condition, as following the changing standards and the needs of modern life. The use of this method in Poland is difficult to achieve. However, it can form the basis for considerations of research in this field.

Keywords: residential buildings, architecture, reuse, housing environment

DOI:10.7862/rb.2016.281

Przesłano do redakcji: 25.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Bożena ORLIK-KOŹDOŃ¹

Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ²

Paweł KRAUSE³

Tomasz STEIDL⁴

ANALIZA STANU WILGOTNOŚCIOWEGO ŚCIAN Z CEGŁY Z IZOLACJĄ CIEPLNĄ OD WEWNĄTRZ

Autorzy podjęli próbę analizy stanu wilgotnościowego ścian z izolacją cieplną od wewnątrz wykonaną z dwóch materiałów izolacyjnych o odmiennych cechach fizycznych. Ich celem jest uzyskanie odpowiedzi na pytania: czy rodzaj materiału izolacyjnego w systemie ociepleń od wewnątrz ścian z cegły wpływa na zawilgoce nie warstw przegrody, których i w jakim stopniu? jak zastosowany materiał izolacyjny będzie wpływał na proces wysychania przegrody i reagował na zmienne warunki ciepło-wilgotnościowe otaczających środowisk? Analizowaną ścianą był mur z cegły o grubości 38cm. Docieplony został materiałem izolacyjnym o grubości 10cm w wariantach pierwszym: polistyren ekspandowany (W_1), w wariantach drugim: lekki beton komórkowy (W_2). Ze wstępnych analiz wykonanych w oparciu o założenia normy PN ISO 13788 wynika, że obie przegrody zostały zaprojektowane prawidłowo pod względem uniknięcia rozwoju pleśni na powierzchni wewnętrznej. Dla wariantu drugiego obserwuje się jednak wewnętrzną kondensację pary wodnej (na styku materiału izolacyjnego oraz ściany), oraz że kondensat nie wyparuje w miesiącach letnich. Szczegółową analizę zachowania się przegrody wykonano w programie WUFI zakładając trzyletni okres pomiarowy (norma PN ISO 13788 pozwala na ocenę tylko dla jednego roku). Uzyskane wyniki wykazują przyrost zawilgoce nia w obu wariantach dociepleniowych. W zależności od rodzaju użytego materiału izolacyjnego zmienia się poziom zawartości wilgoci dla poszczególnych warstw i dla wybranych kształtuje się ona na stałym poziomie (mur z cegły) lub charakteryzuje się stałą tendencją zmian (lekki beton komórkowy).

Słowa kluczowe: docieplanie od wewnątrz, zawartość wilgoci, lekki beton komórkowy, polistyren ekspandowany

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Bożena Orlik-Koźdoń, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Bozena.Orlik@polsl.pl

² Agnieszka Szymanowska-Gwiźdź; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Agnieszka.Szymanowska-Gwizdz@polsl.pl

³ Paweł Krause; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Pawel.Krause@polsl.pl

⁴ Tomasz Steidl; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Tomasz.Steidl@polsl.pl

1. Wprowadzenie

W literaturze można znaleźć sporo opisów metodologii projektowania docieplenia od strony wewnętrznej [3, 12]. Wiele publikacji ma charakter czysto praktyczny i z powodzeniem może służyć w praktyce inżynierskiej [8, 13, 16]. Podane są tam rozwiązania graficzne detali projektowych oraz podstawowe informacje dotyczące doboru grubości i rodzaju izolacji z równoczesnym podaniem ogólnych wskazówek technologicznych. Wytyczne te wydają się być niewystarczające w sytuacji kompleksowej analizy cieplno-wilgotnościowej projektu docieplenia całego budynku o złożonej geometrii i programie funkcjonalno-użytkowym. W pracach [4, 15] przedstawiono całą procedurę projektowania docieplenia budynków istniejących, użyteczności publicznej o znamionach historycznych. Obejmowała ona zarówno złożone modelowanie całej przegrody w kontekście procesów cieplno-wilgotnościowych jak również pomiar wybranych parametrów fizycznych (temperatura, wilgotność) w wybranych punktach przegrody i pomieszczeniu, w którym się ona znajdowała. Wyniki badań i symulacji posłużyły do walidacji modeli procesów transportowych, które wykorzystano w modelowaniu [1, 11]. Wiele z przedstawionych badań prowadzonych było przez kilka lat, aby móc precyzyjnie ocenić poprawność wykonanych działań [5, 7]. Analizie poddane zostały budynki o dużych walorach zabytkowych, o charakterze usługowym. W przypadku budynków mieszkalnych jednorodzinnych, zamieszkania zbiorowego, ocieplanie przegród od wewnątrz jest własną inicjatywą właściciela. Pociąga to za sobą duże konsekwencje, spowodowane wyborem ogólnodostępnych, tanich materiałów izolacyjnych.

Autorzy podjęli próbę analizy stanu wilgotnościowego ścian z izolacją cieplną od wewnątrz wykonaną z dwóch materiałów izolacyjnych o odmiennych cechach fizycznych (wariant W_1: ocieplenie polistyrenem ekspandowanym o gr. 10 cm, W_2: ocieplenie lekkim betonem komórkowym o gr. 10 cm). Dane materiałowe przedstawiono w tab. 1.

Należy przy tym stwierdzić, że obliczeniowe analizy stanu wilgotnościowego przegród są zawsze obarczone sporym błędem i nikt nie oczekuje dużej dokładności odpowiedzi, stąd autorów interesowało głównie określenie ogólnego trendu procesu; mniejszą wagę przywiązywano do wyników ilościowych.

2. Analizy symulacyjne zachowania się przegród docieplanych od wewnątrz

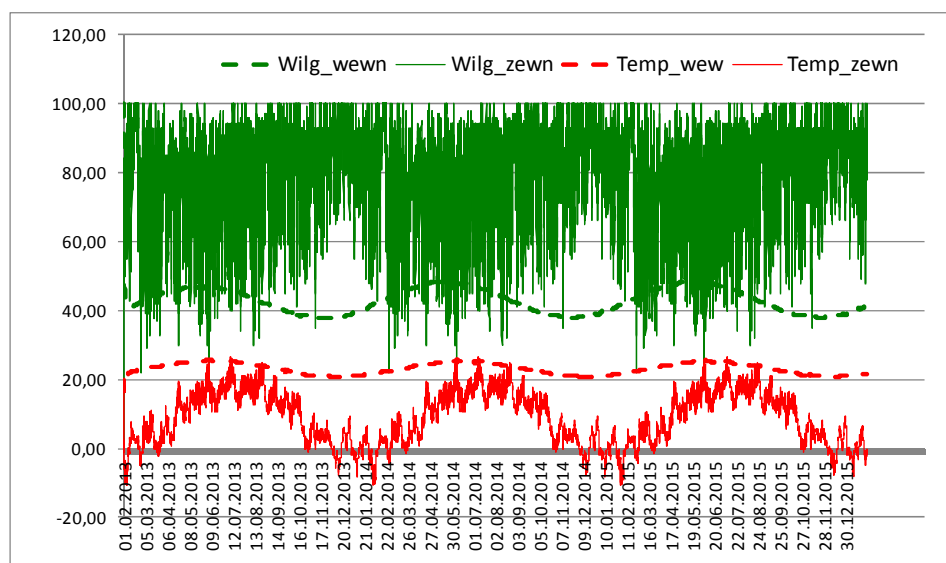
2.1. Założenia przyjęte do analizy

W celu uzyskania odpowiedzi na postawione pytania wykonano obliczenia symulacyjne za pomocą programu WUFI. Oparty jest on na układzie nieliniowych równań różniczkowych cząstkowych, opisujących niestacjonarny sprzężony transport ciepła i wilgoci w materiałach budowlanych. Program ma własną bazę danych materiałowych, obejmującą podstawowe rodzaje wyrobów budowlanych.

Tab. 1. Początkowa zawartość wilgoci materiałów

Tab. 1. Initial moisture content of materials

Nr	Materiał/Warstwa	Grubość [m]	μ [-]	λ [W/mK]	Woda/Zawartość [kg/m ³]
1	Tynk zewnętrzny	0,01	19	0,8	216
2	Mur z cegły pełnej(histerycznej)	0,38	15	0,60	98
3	Tynk cementowo-wapienny	0,02	19	0,8	144
4	Styropian (λ - 0,04, ρ -12 kg/m ³)	0,1	45	0,04	0,1
5	Lekki beton komórkowy (λ - 0,042, ρ -115 kg/m ³)	0,1	4,0	0,042	7.9
6	Wyprawa tynkarska/styropian	0,003	50	0,87	324
6	Wyprawa tynkarska/lekki beton komórkowy	0,003	23	0,87	405



Rys. 1. Profil temperatury i wilgotności względnej przyjęty do analizy

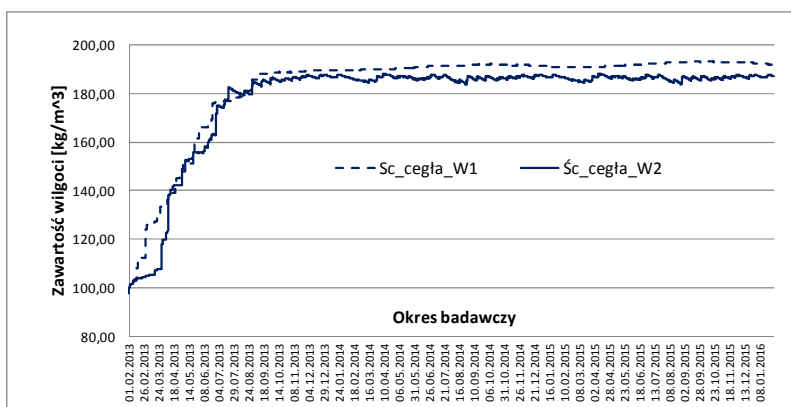
Fig. 1. Profile of temperature and relative humidity adopted for the analysis

Na potrzeby obliczeń przyjęto parametry klimatu zewnętrznego (rys. 1) – stacja meteo Kraków (ograniczona baza klimatyczna w programie WUFI). Wpływ klimatu wewnętrznego uwzględnia się przez zadeklarowaną temperaturę

i wilgotność względną powietrza, z możliwością wprowadzenia ich sinusoidalnej zmienności w okresie roku. W pomieszczeniach założono temperaturę zmieniającą się w sposób ciągły od 20°C w zimie do 24°C w lecie oraz wilgotność względną powietrza zmieniającą się od 35% w okresie zimowym do 65% w okresie letnim.

2.2. Wyniki analizy i komentarz

Wyniki obliczeń przebiegu wysychania ścian o założonej wilgotności początkowej przedstawiono w wybranych płaszczyznach przegrody na rys. 2-4. W modelowaniu założono 3-letni okres monitorowania przegrody (start luty 2013). Na wykresach na osi poziomej podano czas, na osi pionowej zawartość wilgoci w murze w kilogramach na metr sześcienny.

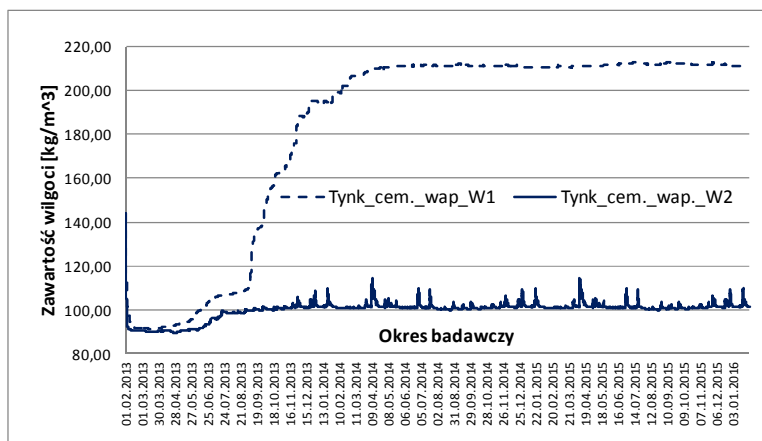


Rys. 2 . Zawartość wilgoci w warstwie cegły dla wariantu W_1 i W_2

Fig. 2. The moisture content of the brick layer for variant W_1 and W_2

Z analizy wykresu (rys. 2) obrazującego zawartość wilgoci w warstwie cegły dla poszczególnych wariantów obserwujemy podobny poziom zawilgocenia. Dla wariantu W_2, (ocieplenie lekkim betonem komórkowym) , zawilgocenie choć na stałym poziomie ulega niewielkim wahaniom – poszarpany, nieregularny wykres. Spowodowane jest to właściwościami samego materiału ociepleniowego i jego dużej sorpcyjności. Ta cecha powoduje duże zmiany w całym przekroju przegrody i skoki wilgotności w pozostałych warstwach tej przegrody – w granicach: 10÷12 kg/m³.

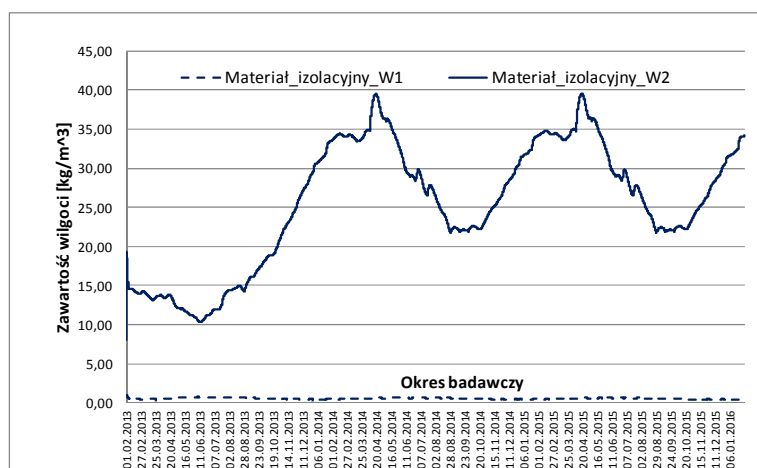
Styropian z uwagi na swoje parametry dyfuzyjne stanowi dużą blokadę dla migrującej wilgoci. Kumuluje się ona w warstwie tyku znajdującego się pomiędzy styropianem a murem z cegły. Zawartość wilgoci w tej warstwie jest na poziomie 215 kg/m³, co stanowi około 10% jej ciężaru (rys. 3).



Rys. 3. Zawartość wilgoci w tynku (warstwa pomiędzy cegłą a styropianem/lekkim betonem komórkowym)

Fig. 3. Moisture content in plaster (a layer between the brick and insulation with polystyrene/lightweight cellular concrete)

Dla wariantu W_2 zawilgocenie tej warstwy jest znacznie mniejsze i jest na poziomie 100 kg/m^3 z chwilowymi skokami. Dodać należy, że dla obu przypadków był to ten sam tynk cementowo-wapienny. Tak więc, to nie jego cechy fizyczne miały bezpośredni wpływ na stan higrotermiczny tej warstwy, ale sąsiadujące materiały izolacyjne. W układzie ściany ocieplonej lekkim betonem komórkowym, to warstwa betonu przejmuje głównie obciążenie związane z migracją wilgoci.



Rys. 4. Zawilgocenie w warstwie styropianu W_1 i lekkiego betonu W_2

Fig. 4. Moisture in the layer of polystyrene and concrete light W_1 W_2

W procesach transportu, np. przy wysychaniu elementu, bardzo rzadko mamy do czynienia z przemieszczającym się do wnętrza równomiernym frontem wysychania, objawiającym się całkowitym wyschnięciem powierzchni zewnętrznej i cofnięciem się powierzchni odparowywania w głąb elementu. W przypadku betonu komórkowego jego sorpcyjność intensywnie wzrasta przy wilgotności względnej powietrza powyżej 75%. W procesie sorpcji pary wodnej przy wysokiej wilgotności materiału może wystąpić kondensacja kapilarna. Kondensująca wilgoć znajduje się w stanie słabo związanym, co zaznacza się szybką migracją i wzrostem zawilgocenia materiału. Z uwagi na niewielką różnicę w krzywej histerezy sorpcji i desorpcji dla betonu komórkowego, potrafi on szybko wrócić do równowagi sorpcyjnej. Duża sorpcyjność materiału i jego szybka redystrybucja wilgoci sprawia, że jest on czuły na wahania i zmiany wilgotności. Widoczne jest to w analizie numerycznej (poszarpany wykres) (rys. 4). Z badań przedstawionych w pracy [14] wynika jednak, że zdolność pochłaniania wilgoci i rozprowadzania jej na całej powierzchni płyty niesie za sobą konsekwencje. Zaobserwowano, że dla wilgotności względnej większej niż 70% zmiana przewodności cieplnej dla tego materiału jest w granicach 70%. Różne wielkości wzrostu współczynnika λ dla danego rodzaju materiału przy tej samej wilgotności wynikają bezpośrednio ze struktury i wielkości porów w danym materiale oraz sorpcyjności poszczególnych materiałów. Porównanie wielkości wpływu temperatury i wilgotności na przewodność cieplną pozwala stwierdzić, iż to wilgotność ma wiodący wpływ na wartość współczynnika λ , gdyż wzrost tego współczynnika spowodowany wzrostem wilgotności jest bardzo duży, kilkukrotnie większy niż wzrost spowodowany zmianą temperatury otoczenia [14].

Dla styku ściany z polistyrenem ekspandowanym EPS obserwujemy tendencję blokowania wpływu środowiska wewnętrznego. Założeniem tego typu rozwiązania jest ograniczenie wnikania wilgoci w strukturę ściany, i należałoby sądzić, że materiał ten zachowuje się zgodnie z założonym rozwiązaniem. Przyjmuje się, że wilgotność sorpcyjna tego materiału jest prawie zerowa. Niemniej jednak może on ulegać zawilgoceniu, co wykazują badania przedstawione w pracach [6, 10]. Dla styropianu EPS o gęstości 15 kg/m^3 (jak również innych izolatorów cieplnych) zaobserwowano zróżnicowany wzrost wilgotności objętościowej po cyklach starzeniowych na poziomie 57% (dla XPS – 1%). Autorzy nie określili jednak ilości cykli, ale należy sądzić, że jest to okres dłuższy od założonego w symulacjach (3 lata) i badaniach.

3. Wnioski końcowe

Przedstawiony artykuł miał między innymi na celu ukazanie złożoności samego procesu projektowania docieplenia jak i funkcjonowania konkretnych materiałów izolacyjnych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Jak się okazuje dla dwóch typów wyrobów- (popularnych w renowacji cieplnej budynków z cegły na Górnym Śląsku) trudno jednoznacznie udzielić odpowiedzi, które z rozwiązań jest lepsze. Większość problemów skupia się przy ograniczeniu

ryzyka kondensacji. Za poprawne uznaje się, sytuacje, w których mimo pojawienia się kondensatu, przegroda wysycha w sezonie letnim. Ta jednak ciągła aktywność przegrody i brak stabilizacji higrotermicznej przekłada się bezpośrednio na trwałość całej przegrody i jej poszczególnych warstw. Badania przedstawione w pracach [2, 9] wykazały, że w przypadku długotrwałego zawilgożenia styropianu, obserwowany jest brak spójności i wyodrębnianie się poszczególnych ziaren. W przypadku betonów komórkowych o niskiej gęstości, proces utraty parametrów mechanicznych na skutek zawilgożenia jest znacznie szybszy. Nadmienić należy, że w przypadku prac dociepleniowych, ich głównym założeniem jest poprawa izolacyjności przegrody i ograniczenie strat ciepła. W zawilgoconym materiale następuje intensyfikacja transportu ciepła i wzrost przewodności cieplnej materiału. Autorzy pozwalają sobie postawić tezę, że żadne z przedstawionych i powszechnie stosowanych rozwiązań izolacyjnych nie powinno być stosowane w przedmiotowych budynkach z uwagi na nieprawidłowe wg. Autorów zachowanie muru.

Literatura

- [1] Fechner, H., Häupl P., Stopp H., and Strangfeld P. Measurements and numerical simulation of the heat and Moisture transfer in envelope parts of buildings. Proceedings Of the International Conference on Thermophysical Properties of Materials, Singapore, 1999.
- [2] Gnip J., Korsulis V., Vejelis S., Vaitikus S.: Long-term water absorption of expanded polystyrene boards, www.psu.edu.
- [3] Gonçalves, M.D.. 2003. Insulating solid masonry walls." Ninth conference on building science and technology, Ontario Building Envelope Council, Vancouver, bc, pp. 171-181.
- [4] Hens, H. 1998. Performance prediction for masonry walls With inside insulation using calculation procedures and Laboratory testing. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 22:32-48.
- [5] Kloseiko P., Arumagi E., Kalamees T.; Hygrothermal performance of internally insulated brick wall in cold climate: A case study in a historical school building; *Journal of Building Physics* March 2015 vol. 38 no. 5 444-464.
- [6] Radoń J., Kuncel H., Olesiak J., Problemy ciepłno-wilgotnościowe przy renowacji ścian budynków z muru pruskiego, [In:] *Acta Scientiarum Polonorum, Architektura*, Kraków 2006, 45-53.
- [7] Rousseau, M.Z., Maurenbrecher A.H.P. 1990. "Rehabilitation of solid masonry walls", Construction practice publication, institute for research in construction (http://irc.nrc-Cnrc.gc.ca/pubs/cp/wall_e.html). Originally published in "Construction Canada" 32(5), 1990, p. 15-20.
- [8] Schöberl H., Hofer R., Lang Ch.: *Handbuch thermische Gebäudesanierung Optimale Ausführungsvarianten erstellt im Rahmen des Projekts: „REBE” - Regionale Zusammenarbeit und Wissenstransfer Im Bereich Bioenergie und Energieeffizienz, Landesinnung Bau Niederösterreich, Wien 2012.*

- [9] Sedbauer K., Schunck E., Barthel R., Kunzel H. : Flat Roof Construction Manual, GmbH&Co, 2010.
- [10] Slaght R.G., Moisture Measurement in Polyurethane Foam Insulation, Cold Climate Housing Research Center, 2012.
- [11] Stopp H., Strangeld P., Fechner H., Häupl P. ; The Hygrothermal Performance of External Walls with Inside Insulation; Buildings VIII/Wall Performance–Practices.
- [12] Straube, J.F., and C.J. Schumacher. 2007. Interior Insulation Retrofits of Load-Bearing Masonry Walls in Cold CliMates. Journal of Green Buildings2(2):42–50.
- [13] Straube J.F., Ueno K., and Schumacher C. ,J. :Building Science Corporation; Measure Guideline:Internal Insulation of Masonry Walls; U.S. Department of Energy, 2012.
- [14] Trochonowicz M., Witek B., Chwiej M.: Analiza wpływu wilgotności i temperatury powietrza na wartość współczynnika przewodności cieplnej materiałów termoizolacyjnych stosowanych wewnątrz pomieszczeń, Budownictwo i Architektura 12(4), 2013, pp.165-176.
- [15] Wilkinson J., D. De Rose, B. Sullivan and J.F. Straube; Measuring the Impact of Interior Insulation on Solid Masonry Walls In a Cold Climate; Journal of Building Enclosure Design from Summer 2009, pp. 11-17.
- [16] www.english-heritage.org.uk/part Energy efficiency and historic buldings; Insulating solid walls. English Heritage.

ANALYSIS OF THE STATE OF MOISTURE FOR BRICK WALLS WITH INTERNAL INSULATION

Summary

The authors attempted to analyze the humidity condition of walls with thermal insulation from the inside made from two insulation materials of different diffusion resistance factors. The objective of the work was to find answers to the following questions: does the type of insulation material in the applied system of brick walls insulated from the inside have any impact on the humidity level of layers in the envelope and to what degree?; how is the applied insulation material going to influence the process of humidity transfer in the brick wall and how is it going to react to the changing hygrothermal conditions of the surrounding environment? Wall to be analyzed was the brick wall with a thickness of 38 cm and insulated material thickness 10 cm under option 1: expanded polystyrene (W_1), in the second variant: lightweight cellular concrete (W_2). Preliminary analyses based on assumptions PN ISO 13788 shows that both compartments were designed correctly with respect to avoid growth of mold on the surface. For the second variant is observed, however, internal condensation (at the interface between the insulating material and the wall), and that no condensate will evaporate in the summer months. A detailed analysis of the behaviour of the baffles are made in WUFI assuming three-year period (standard PN ISO 13788 allows you to review for just one year).The results obtained demonstrate the growth of moisture in both materials. Depending on the type of insulating material used changes the level of moisture content for each layer and for selected shapes to it on a constant basis (brick wall) or is characterized by a constant trend changes (cellular concrete).

Keywords: internal insulation, hygrothermal processes, water content, brick wall

DOI:10.7862/rb.2016.282

Przesłano do redakcji: 5.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Bożena ORLIK-KOŹDOŃ¹

Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ²

Paweł KRAUSE³

Tomasz STEIDL⁴

WYBRANE ASPEKTY STANU OCHRONY CIEPLNEJ BUDYNKU PLUSENERGETYCZNEGO "P-E-H"

Obniżanie zużycia energii w budynkach doprowadziło do coraz powszechniejszego osiągnięcia standardów budynków energetycznych i pasywnych, w których zapotrzebowanie na ciepło wynosi od 15 do 80 kWh/m². Poprawa rozwiązań w zakresie stanu ochrony cieplnej przegród zewnętrznych oraz technologii pozyskujących energię doprowadziło do pojawienia się budynków zeroenergetycznych. Autorzy podjęli próbę opisu i ocenę wybranych rozwiązań budynku plusenergetycznego. Celem opracowania jest ocena rozwiązań w zakresie ochrony cieplnej wybranych przegród zewnętrznych budynku o obniżonym zużyciu energii. Przedmiotowy budynek został zrealizowany w technologii lekkiego szkieletu drewnianego. Przegrody zewnętrzne pełne (ściana, stropodach, podłoga na gruncie) charakteryzują się bardzo wysokim oporem cieplnym. Aby uzyskać niską wartość współczynnika przenikania ciepła zastosowano izolację termiczną typu VIP. W budynku zamontowano stolarkę okienną o zróżnicowanej izolacyjności termicznej. W celu zwiększenia akumulacyjności cieplnej wykorzystano materiały zmienne-fazowe. W zrealizowanym obiekcie wykorzystano zarówno pasywne jak i aktywne systemy pozyskiwania energii. Konwersja promieniowania słonecznego na energię elektryczną była możliwa poprzez zróżnicowane rodzaje ogniw PV.

Słowa kluczowe: izolacja próżniowa, mostki termiczne, opór cieplny, izolacyjność termiczna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Bożena Orlik-Koźdoń, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Bożena.Orlik@polsl.pl

² Agnieszka Szymanowska-Gwiźdź; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Agnieszka.Szymanowska-Gwizdz@polsl.pl

³ Paweł Krause; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Pawel.Krause@polsl.pl

⁴ Tomasz Steidl; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Tomasz.Steidl@polsl.pl

1. Wprowadzenie

Od lat 90-tych XX w. coraz mocniej rozwija się budownictwo ograniczające zużycie energii na etapie użytkowania budynków. Pierwsze realizacje dotyczyły budynków energooszczędnych i niskoenergetycznych. Tego typu budynki charakteryzowały się rocznym zużyciem energii na cele ogrzewania i wentylacji na poziomie około 50-80 kWh/m². Jeden z przykładowych budynków tego typu został szczegółowo omówiony w [5]. Kolejnym krokiem było pojawienie się budynków zużywających około 30 kWh/m². Dalsze obniżanie zużycia energii prowadziło do osiągnięcia standardów tzw. budynków pasywnych, w których zapotrzebowanie na ciepło nie przekracza 15 kWh/(m²rok). Ciągłe doskonalenie rozwiązań pozyskujących energię doprowadziło do pojawienia się budynków zeroenergetycznych. Tego typu obiekty w wielu przypadkach nie wymagają doprowadzenia konwencjonalnych źródeł energii. Ze względu na rozwiązania materiałowo-instalacyjne takie budynki można traktować jako samowystarczalne. W strefie klimatycznej Europy środkowo-wschodniej występuje problem związany z nadwyżką energii w okresach letnich. Przy właściwie zbilansowanym budynku, zapewniającym pokrycie zapotrzebowania na energię w okresach zimowych, w przypadku rozwiązań budynków bazujących na ogniwach fotowoltaicznych, latem występują nadwyżki produkowanej energii elektrycznej. Można wtedy mówić o budynkach plusenergetycznych [3, 4, 6]. Samo pojęcie budynku plusenergetycznego, podobnie jak budynków pasywnych czy zeroenergetycznych, nie jest zdefiniowane w sposób jednoznaczny. Nie definiuje tego żaden akt prawny.

Jednym z najistotniejszych zadań w sektorze budownictwa jest powszechne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. W roku 2007 renomowany konkurs Solar Decathlon odbywający się w Waszyngtonie wygrała niemiecka uczelnia TU Darmstadt. Autorzy niniejszej publikacji podjęli próbę przedstawienia dobrych praktyk oraz przeprowadzenia oceny stanu ochrony cieplnej wybranych rozwiązań na przykładzie budynku Plus-Energie-Haus (P-E-H), który jest rozwinięciem budynku konkursowego (rys. 1). Przedmiotowy budynek powstał jako konsekwencja inicjatywy badawczej „Budownictwo Przyszłości – Budownictwo zorientowane na innowacyjność” niemieckiego ministerstwa BMVBS [1]. Celem niniejszego projektu było wzmożenie konkurencyjności niemieckich firm z branży budowlanej. W wyniku podjętych działań zrealizowano demonstracyjny obiekt. Jednym z głównych założeń interdyscyplinarnego projektu, obok opracowania modelowego budynku, było rozpropagowanie nowych technologii wraz z transferem wyników.

2. Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne

Główna koncepcja budynku P-E-H opiera się na minimalizacji zapotrzebowania na energię oraz optymalizacji zapotrzebowania na cele ogrzewania, chłó-

dzenia, wentylacji i oświetlenia. Prototypowy budynek został zrealizowany, jako innowacyjny budynek mieszkalny, przez architektów i inżynierów uczelni TU Darmstadt. Budynek został zaprojektowany w oparciu o kryteria budynku pasywnego. Dotyczy to w szczególności zwrócenia uwagi na przegrzewanie pomieszczeń latem – elementy zacinające oraz równoczesne wykorzystanie zysków słonecznych w okresach zimowych. Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych umożliwia przesunięcie czasowe ogrzewania i wychładzania pomieszczeń w ciągu dnia. W budynku wykorzystano pasywne i aktywne systemy pozyskiwania energii. Ze względu na fakt, iż budynek produkuje więcej energii niż zużywa na cele normalnej eksploatacji, nadwyżka energetyczna energii elektrycznej wykorzystywana jest do celów ładowania samochodów z napędem elektrycznym. Pozostała niewykorzystana część energii jest sprzedawana. Budynek wykonano jako częściowo prefabrykowany w konstrukcji szkieletu drewnianego. Ze względu na wymóg wysokiej efektywności energetycznej, izolacyjność termiczna przegród zewnętrznych, w tym ścian, podłogi oraz dachu, musiała spełniać zastrzone wymogi w zakresie izolacyjności termicznej.



Rys. 1. Widok ogólny budynku Plus-Energie-Haus

Fig. 1. General view of the building Plus-Energy-Haus

Ściana zewnętrzna została wykonana jako szkieletowa drewniana. Konstrukcja nośna wykonana z elementów drewnianych o przekroju 6x10 cm. Ze względu na ograniczoną akumulacyjność cieplną budynków realizowanych w konstrukcji szkieletowej od strony wewnętrznej zastosowano płyty z domieszką materiału zmiennofazowego PCM gr. 1,5 cm oraz pod nimi płyty gipsowo-kartonowe, mocowane na łątach 2x7 cm. Pomędzy elementami konstrukcyjnymi zastosowano wełnę mineralną gr. 10 cm. Od strony zewnętrznej do konstrukcji drewnianej zamocowano płyty OSB gr. 1,8 cm oraz izolację paroszczelną. Główną izolację termiczną wykonano w postaci paneli izolacji próżnio-

wej VIP. Zastosowano dwie warstwy izolacji VIP o sumarycznej grubości 6 cm (rys. 2). Ze względu na konieczność mocowania mechanicznego pozostałych elementów elewacyjnych izolację próżniową mocowano przy pomocy łąt krzyżowych wykonanych z purenit. Warstwę zewnętrzną stanowią elementy żaluzji drewnianych ze zintegrowanymi ogniwami fotowoltaicznymi. Elementy te zamocowano do płyt włókno-cementowych gr. 0,8 cm, które zostały zamocowane do łąt nośnych 4x7 cm. Od strony północnej zlokalizowano żaluzje zewnętrzne bez ogniw PV. Budynek przykrywa stropodach pełny (rys. 3), na bazie drewnianej belkowej konstrukcji nośnej o wymiarach przekroju poprzecznego 6x15 cm. Pomiędzy belkami stropowymi układanymi w rozstawach 60 cm wbudowano wełnę mineralną gr. 15 cm. Podobnie jak w przypadku ścian zewnętrznych ze względu na poprawę akumulacyjności cieplnej na stropie zamocowano płyty zmiennofazowe PCM gr. 1,5 cm, mocowane na drewnianych łątach 3x7 cm. Materiał zmiennofazowy PCM na ścianach oraz na suficie zwiększa akumulacyjność cieplną lekkich przegród wykonanych w konstrukcji drewnianej zapewniając, obok stateczności cieplnej, odpowiedni mikroklimat pomieszczeń. Od strony zewnętrznej do stropu drewnianego zamocowano płyty OSB gr. 1,8 cm. Główną izolacją termiczną wykonano w postaci paneli izolacji próżniowej VIP. Zastosowano dwie warstwy izolacji VIP o sumarycznej grubości 6 cm. Na izolacji próżniowej ułożono płyty cementowe gr. 2,2 cm, na płytach izolację termiczną w postaci wełny mineralnej gr. 12-18 cm, kształtującą dodatkowo spadek pokrycia dachowego. Pokrycie dachowe wykonano w postaci folii Rhepanol. Na warstwie pokrycia zlokalizowano elementy instalacji fotowoltaicznej i solarnej. Podłoga na gruncie została wykonana jako podłoga podniesiona. Pomiędzy legarami o wysokości 40 cm zastosowano wdmuchiwaną izolację termiczną na bazie celulozy. Posadzkę stanowiła płyta cementowa Duripanel gr. 2,2 cm. Przeszklenie budynku pełni istotną rolę w przypadku pasywnych zysków cieplnych oraz oświetlenia wnętrza. Pomimo znacznej powierzchni przeszklenia, ograniczono straty ciepła przez stolarkę okienną poprzez zastosowanie drewnianej stolarki okiennej o wysokiej izolacyjności termicznej. Wszystkie okna wykonano jako drewniane. Budynek P-E-H posiada trzy różne rodzaje ogniw PV. Główny zestaw ogniw PV zlokalizowany jest na dachu. Ze względu na architekturę budynku oraz problematykę wzajemnego zacielenia moduły zostały zlokalizowane prawie płasko (nachylenie ok. 2°). Z tego względu ogniwa PV wytwarzają ok. 8% mniej energii w ciągu roku, w porównaniu z ilością energii otrzymywaną dla optymalnego kąta nachylenia dachu. Ze względu na płaskie ułożenie ogniw istnieje jednakże możliwość zrównoważenia tej straty poprzez zwiększoną liczbę ogniw PV. Oprócz modułów dachowych ogniwa PV zlokalizowane są także jako żaluzje ścienny. Dla uzyskania jak najlepszego efektu energetycznego żaluzje są ruchome oraz sterowane poprzez komputer w celu uzyskania optymalnego nachylenia względem Słońca. Trzeci rodzaj ogniw PV zlokalizowany jest nad werandą, stanowiąc jej dodatkowe zadaszenie. Sumaryczna moc ogniw PV wynosi ok. 15 kWp.



Rys. 2. Model ściany zewnętrznej Plus-Energie-Haus

Fig. 2. Model of outer wall Plus-Energy-Haus



Rys. 3. Model stropodachu pełnego Plus-Energie-Haus

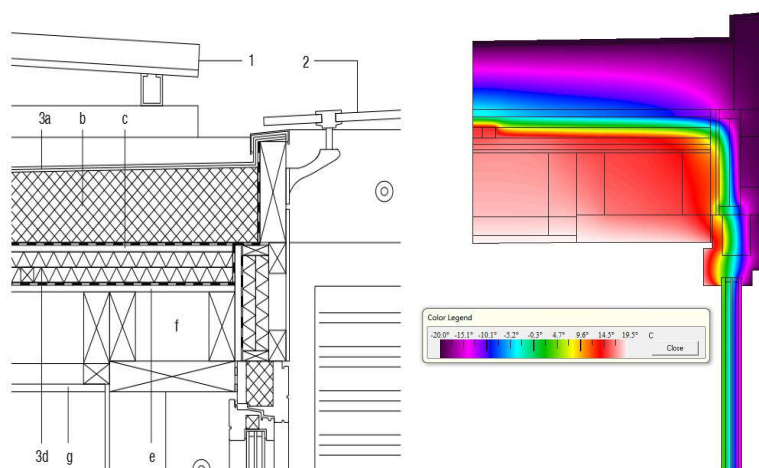
Fig. 3. Model of roof Plus-Energy-Haus

Podstawową koncepcją budynku było ograniczenie strat ciepła przez obudowę oraz efektywne wytworzenie energii. Zostało to osiągnięte poprzez wykorzystanie pasywnych i aktywnych systemów pozyskiwania energii. Odpowiednio dobrana kombinacja poszczególnych subsystemów jest bardzo ważna z punktu widzenia budynku jako całości. Ogrzewanie i wentylację budynku realizowano przy pomocy urządzenia typu kombi w postaci zintegrowanej powietrznej pompy ciepła z centralą wentylacyjną z rekuperacją powietrza. Dodatkowym ciekawym rozwiązaniem wpływającym na poprawę mikroklimatu pomieszczeń w okresach letnich jest pasywny system chłodzenia nocnego z wykorzystaniem materiału zmiennofazowego PCM.

3. Stan ochrony cieplnej przegród zewnętrznych

Rozwiązania projektowe, w zakresie ochrony cieplnej, zostaną omówione na przykładzie fragmentów dokumentacji projektowej budynku. Wszystkie obliczenia izolacyjności termicznej przegród wykonywano wykorzystując obliczeniowe współczynniki przewodzenia ciepła λ materiałów oraz wartości deklarowane przez producentów. Obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła dla ścian zewnętrznych wynosi $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Analogiczna wartość współczynnika przenikania ciepła dotyczy stropodachu pełnego i wynosi $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie przy izolacji termicznej grubości 40 cm pomiędzy legarami wynosi $U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Przeszklenie fasady północnej zrealizowano za pomocą zestawu czteroszybowego o współczynniku przenikania ciepła $U_g = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i współczynnika $g = 37\%$. Współczynnik przenikania ciepła dla okna wynosi $U_w = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. W przypadku strony południowej w oknach zamontowano wkłady trójszybowe. Współczynnik przenikania ciepła $U_g = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_w = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Drzwi zewnętrzne zostały wykonane jako drewniane z rdzeniem termoizolacyjnym z pa-

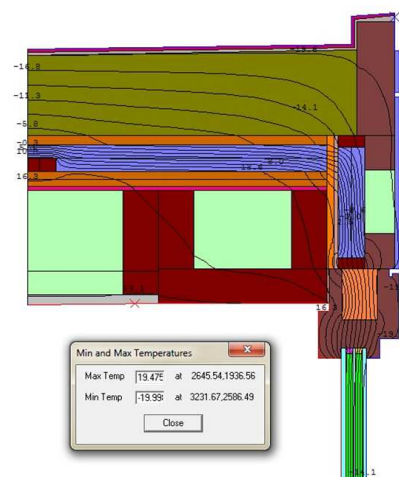
neli VIP, o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Analiza rozwiązań projektowych, w odniesieniu do mostków termicznych w miejscach połączeń poszczególnych przegród budowlanych, wspomagana była obliczeniami numerycznymi w programie Therm 7.4. Obliczona wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła dla połączenia stropodachu pełnego ze ścianą zewnętrzną wynosi $\psi_i = 0,0076 \text{ W}/\text{mK}$.



Rys. 4. Szczegół połączenia stropodachu pełnego ze ścianą zewnętrzną

Fig. 4. Detail of the connection of roof and wall

Analizując rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne połączenia stolarki okiennej ze ścianą zewnętrzną należy zauważyć, iż w przypadku wykonywania budynków w technologii lekkiego szkieletu drewnianego stolarka okienna jest mocowana do drewnianego nadproża. Jest to szczegółowo pokazane na rys. 4. W celu poprawy izolacyjności termicznej tego fragmentu budynku projektanci zaproponowali zastosowanie sufitu podwieszanego z dodatkową warstwą przestrzeni powietrznej pomiędzy sufitem a stropodachem. W obrębie połączenia sufitu ze ścianą przy stolarce okiennej zastosowano dodatkowo element drewniany gr. 8 cm. Spowodowało to, że temperatura na wewnętrznej powierzchni naroża stropodach-okno wynosi $16,3^{\circ}\text{C}$ (dla obliczeniowej temperatury wewnętrznej $+20^{\circ}\text{C}$ i temperatury zewnętrznej na poziomie -20°C). Bez zastosowania dodatkowego drewnianego elementu sufitu podwieszanego temperatura na styku stolarki okiennej i ściany wynosi ok. $10,5^{\circ}\text{C}$. Tego typu wartości związane są z zastosowaniem rozwiązań projektowych elewacji podwieszanej w postaci płyt włókno-cementowych, mocowanych do drewnianego rusztu. W przypadku wykonania ocieplenia w systemie ETICS doprowadziłoby to do istotnego podniesienia temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody. Rozkład temperatury dla omawianego detalu projektowego przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Rozkład temperatury dla detalu połączenia stropodachu ze ścianą zewnętrzną

Fig. 5. Temperature distribution in detail of the connection of roof and wall

4. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule przykładowy budynek plusenergetyczny P-E-H jest interesującą koncepcją rozwiązania obiektu o ekstremalnie niskim zapotrzebowaniu na energię, który wytwarza więcej energii niż wymagają tego potrzeby eksploatacyjne. Na szczególną uwagę zasługują rozwiązania wysokoefektywnych energetycznie przegród zewnętrznych, w których zastosowano izolację cieplną nowej generacji typu VIP. Ze względu na fakt, że prezentowany obiekt zrealizowano w technologii szkieletu drewnianego, koniecznym było zastosowanie materiałów zmiennofazowych, zwiększających akumulacyjność cieplną. Pomimo, iż rozwiązania wybranych detali projektowych wskazywały w wybranych miejscach na potencjalne problemy w zakresie mostków termicznych, autorom projektu udało się w sposób optymalny zaprojektować opisywany budynek z punktu widzenia jego stanu ochrony cieplnej.

Literatura

- [1] Bauen für die Zukunft. Plus-Energie-Haus des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Ein mobiler Ausstellungs und Forschungspavillon Technische Informationen und Details. BMVBS. Berlin 2010.
- [2] Bointner R. i in. Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung. BMViT. Berlin 2012.
- [3] Hegger M. Solar Decathlon 2007 – Prototype Home 2015. TU Darmstadt. Zukunft bauen. Das Magazin der Forschungsinitiative Zukunft Bau. Berlin 2009.

- [4] Hernandez P., Kenny P. From Net Energy to Zero Energy Buildings: Defining Life Cycle Zero Energy Buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42 (2010), pp. 815-821.
- [5] Krause P. Steidl T. Racjonalne zużycie energii na przykładzie budynku "NEH" w Zittau. Innowacyjne idee i technologie dla budownictwa. Pierwsza Międzynarodowa Konferencja Energii Słonecznej i Budownictwa Ekologicznego, Solina, 17-20 maja 2006. Pod red. L. Lichołai. Oficyna Wydaw. Politechniki Rzeszowskiej, 2006.
- [6] Marszał A.J., Heiselberg P., Bourrelle J.S., Musall E., Voss K., Sartori I., Napolitano A. Zero Energy Building – A Review of Definitions and Calculation Methodologies. *Energy and Buildings*, 43 (2011), pp. 971-979.
- [7] Sartori I., Napolitano A., Voss K. Net Zero Energy Buildings: A Consistent Definition Framework *Energy and Buildings*, 48 (2012), pp. 220-232.
- [8] Voss K., Mussal E., Lichtmess M. From Low-Energy to Net Zero-Energy Buildings: Status And Perspectives. *Journal of Green Building*, 6 (2011), pp. 46-57.

THERMAL PROTECTION OF PLUSENERGY HOUSE "P-E-H" - CASE STUDY

S u m m a r y

The authors attempted description and evaluation of the solutions adopted plusenergy building P-E-H. The objective is to evaluate solutions in the field of heat protection of selected external partitions of the building with reduced energy consumption. The building was realized in light wooden skeleton. Stay applied a highly thermal insulation type VIP, as well as a number of installation solutions for obtaining efficient energy.

The building was realized in light wooden skeleton. Baffles full outer (wall, ceiling, floor on the ground) are characterized by very high heat resistance. For low value of heat transfer coefficient applied thermal insulation type VIP. In a building fitted woodwork window at varying thermal insulation. In order to increase the heat accumulation materials variation-phase. In the completed object uses both passive and active energy. Conversion of solar radiation into electricity was made possible through various types of PV cells.

Keywords: plusenergy building, vacuum insulation, thermal insulation

DOI:10.7862/rb.2016.283

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Waldemar PARKITNY¹

OCZEKIWANIA OSÓB PODRÓŻUJĄCYCH A INTEGRACJA PARKINGÓW Z MIEJSKIM SYSTEMEM TRANSPORTU ZBIOROWEGO

Wzrost liczby pojazdów powoduje wiele skutków negatywnych. Oprócz tych powszechnie znanych, jak zanieczyszczenie, hałas, wypadki, pojawia się, zwłaszcza w centrach dużych miast kongestia ruchu, utrata terenów zielonych, nielegalne parkingi, zmiany w krajobrazie itd. Sytuacja może ulec częściowej poprawie dzięki zmianie zachowań kierowców oraz budowie parkingów Park and Ride, pozwalających na pozostawienie na obrzeżu miasta samochodu na parkingu i kontynuację podróży transportem zbiorowym. Aby zachęcić kierowców do wyboru takiego sposobu podróży, należy zintegrować budowę i działanie parkingów z miejskim systemem komunikacji zbiorowej. Identyfikacja potrzeb podróżnych, może pozwolić na lepsze dopasowanie infrastruktury i organizacji komunikacji zbiorowej do oczekiwań kierowców, a przez to do większej popularności systemu oraz usprawnienia jego funkcjonowania. Celem artykułu jest przedstawienie oczekiwań osób podróżujących komunikacją zbiorową, w kontekście integracji i dostosowania parkingów, w tym specjalizowanych parkingów Park and Ride, do systemu komunikacji publicznej i wymogów podróżnych. Wykorzystane metody badań to analiza porównawcza i badania ankietowe, realizowane wśród kierowców i mające na celu ocenę poszczególnych cech parkingów. W artykule przedstawiono preferencje w zakresie czynników komunikacji zbiorowej, których znajomość może być wykorzystana do efektywnej obsługi zintegrowanego systemu parkingów Park and Ride i komunikacji zbiorowej oraz ocenę czynników wpływających na jakość parkingów. Informacje te mogą być wykorzystane do likwidacji luki jakościowej między oczekiwaniami podróżnych, którzy korzystają z systemu, a jakością dostarczanych usług.

Słowa kluczowe: parking, Park and Ride, integracja w transporcie, zachowania kierowców, zachowania podróżnych, komunikacja zbiorowa

1. Wprowadzenie

Zasadniczym celem budowy i funkcjonowania parkingów typu Park and Ride (Parkuj i jedź) jest połączenie, czyli integracja korzyści wynikających z posiadania i posługiwania się samochodem osobowym, przez osoby dojeżdża-

¹ Waldemar Parkitny, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Zarządzania w Budownictwie i Transporcie, Zakład Transportu, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: wpark@usk.pk.edu.pl

jące do dużych miast z miejscowości przyległych, z zaletami komunikacji zbiorowej, funkcjonującej w miastach.

Do najważniejszych zalet pojazdów osobowych, sprzyjających ich wykorzystaniu w dojazdach do miast, zaliczyć można m. in.:

- praktycznie nieograniczoną dostępność oraz elastyczność połączeń,
- bardzo duży komfort podróży,
- względnie niską cenę (często już przy 3 a nawet 2 osobach podróżujących porównywalną z ceną biletów komunikacji zbiorowej),
- możliwość wygodnego przewozu bagażu i zakupów.

Dla podróżnych zaletami przemieszczania się komunikacją zbiorową są:

- możliwość szybszej jazdy, w stosunku do podróży pojazdem osobowym, zwłaszcza w przypadku połączeń kolejowych, tramwajowych, metrem lub autobusami, które poruszają się po wydzielonych pasach ruchu,
- możliwość uniknięcia kongestii ruchu, szczególnie w godzinach szczytów,
- brak problemów z parkowaniem,
- brak opłat za parkowanie w centrach miast, często stosunkowo wysokich, zwłaszcza w przypadku konieczności codziennych dojazdów,
- możliwość wykorzystania czasu podróży na inne cele lub odpoczynek (w przypadku braku zatłoczenia w pojazdach komunikacji zbiorowej i dostępności miejsc siedzących).

Z tego punktu widzenia parkingi Parki and Ride są elementem infrastruktury, łączącym komunikację indywidualną z komunikacją zbiorową.

Analizy cech i funkcjonowania parkingów można dokonać z punktu widzenia dostosowania i integracji z systemami komunikacji zbiorowej, działającymi w miastach. Im projekt, lokalizacja, warunki korzystania, otoczenie i inne czynniki będą w większym stopniu dopasowane do oczekiwań kierowców, tym mniejsza będzie luka między jakością oczekiwaną a zaplanowaną i większa skłonność do korzystania z tego typu obiektów.

Celem artykułu jest przedstawienie oczekiwań osób podróżujących komunikacją zbiorową, w kontekście integracji i dostosowania parkingów, w tym specjalizowanych parkingów Park and Ride, do systemu komunikacji publicznej i wymogów podróżnych. Przyjęto przy tym założenie, że potrzeby osób podróżujących i korzystających ze zintegrowanego systemu Park and Ride z komunikacją zbiorową w miastach w zakresie realizacji podróży, można podzielić na trzy fazy:

- fazę związaną z podróżą od miejsca wyjazdu do parkingu przesiadkowego – na realizację tych potrzeb wpływ będzie miał przede wszystkim stan techniczny dróg dojazdowych, sposób sterowania ruchem drogowym oraz jego natężenie,
- fazę związaną z parkowaniem pojazdu – wpływ na nią mają właściciele i zarządcy parkingów,

- fazę związaną z podróżą od parkingów przesiadkowych do miejsca docelowego podróży środkami komunikacji zbiorowej – wpływ na nią ma zwłaszcza sprawnie działający system komunikacji zbiorowej.

Założono, że oczekiwanie kierowców w zakresie standardu obsługi w ostatniej fazie, nie będą znacząco odbiegały od oczekiwań pozostałych podróżnych.

2. Definicja integracji i jej obszary

Integracja oznacza połączenie wielu elementów w całość. Dzięki niej możliwe jest osiągnięcie dodatkowych korzyści, niemożliwych w przypadku atomizacji działań, oraz uzyskanie efektu synergii. W przypadku podmiotów uczestniczących w procesie integracji, jej efektem jest zmniejszenie ich niezależności, związane z koniecznością podporządkowania się regułom wynikającym z konieczności integracji, jak również z podjęciem dodatkowego wysiłku w celu sprostania jej wymogom.

Wśród celów integracji transportu pasażerskiego wymienia się:

- zorganizowanie „atrakcyjnych warunków podróżowania transportem zbiorowym na całym, rozpatrywanym obszarze,
- wzmocnienie konkurencyjnej pozycji transportu zbiorowego w stosunku do transportu indywidualnego, realizowanego własnym samochodem osobowym,
- obniżenie kosztów przewozów przez szersze możliwości ograniczenia kosztownej bezpośredniości połączeń oraz likwidacji substytucyjności linii komunikacyjnych,
- optymalizację nakładów ponoszonych na transport pasażerski w skali obszaru integracji,
- uzyskanie możliwości prowadzenia polityki transportowej w efektywny sposób.” ([18] na podstawie [4]).

Dydkowski G. [3] wyróżnia poniższe obszary integracji w transporcie zbiorowym:

- informacji komunikacyjnej,
- oferty przewozowej np. w odniesieniu do koordynacji rozkładów jazdy i proponowanych standardów,
- budowę punktów przesiadkowych,
- integrację biletowo – taryfową.

Z kolei Wild P. wymienia [23]:

- integrację taryfową, wykorzystującą jeden bilet sprzedawany z wykorzystaniem miejskiej sieci dystrybucyjnej,
- integrację i koordynację rozkładową na poziomie miejskim (15 min.), metropolitalnym (30 min.) i regionalnym (1 godz.),
- integrację przestrzenną, związaną z przebudową węzłów autostradowych w węzły P & R oraz dworców w węzły przesiadkowe,

- integrację i koordynację infrastrukturalną, związaną z przejmowaniem przez samorządy linii kolejowych oraz powołaniem wspólnego regionalnego zarządu infrastruktury kolejowej i drogowej.

Zając A. podaje następujące płaszczyzny integracji [25]:

- rozkład jazdy,
- taryfa,
- informacja i identyfikacja,
- centra przesiadkowe.

Nieco inny wybór został przedstawiony przez Rutę L. [19] Są to płaszczyzny integracji:

- organizacyjno – prawna,
- taryfowa,
- informacyjna,
- funkcjonalna (przewozowa),
- infrastrukturalna.

Sprawne działanie systemu Park and Ride, jako całości, wymaga działań integracyjnych w wymienionych obszarach, nie tylko na etapie organizacji połączeń komunikacji zbiorową obsługującą parkingi „Parkuj i Jedź”, ale również w fazie projektowania niezbędnej infrastruktury w węzłach przesiadkowych.

3. Czynniki mogące wpływać na zachowania podróżnych i wybór środka transportu

Najważniejszym czynnikiem mającym wpływ na zachowania kierowców, związane z wyborem sposobu podróży opartym o system Park and Ride, jest dostępność fizyczna tego typu parkingów, oraz ich odpowiednie położenie i dopasowanie [12, 15]. Niestety, jedynym miastem w Polsce, gdzie zbudowano kilkanaście takich parkingów jest na razie Warszawa. Pozostałe miasta, choć uwzględniają w swoich politykach transportowych takie parkingi, na razie są na etapie planowania lub skromnych realizacji, jak Kraków, gdzie jest ich zaledwie dwa. Uzupełnieniem parkingów P & R realizowanych przez miasta i opartych o miejskie przedsiębiorstwa komunikacji zbiorowej, jest dość duża już grupa parkingów Park and Ride, wybudowanych w pobliżu dworców kolejowych przez spółki z grupy PKP [10, 14]. W przypadku tego typu parkingów dojazd do centrum miasta wykonywany jest przeważnie przy wykorzystaniu istniejących połączeń kolejowych.

Zakładając, że sieć parkingów zlokalizowanych wokół miast jest jednak wystarczająco duża, następnym problemem może być zmiana nawyków i skłonienie części kierowców do korzystania z systemu, wyjaśnienie jego zasad oraz zwiększenie komfortu, związanego z przesiadką i dalszą podróżą. Identyfikując zachowania podróżnych wynikające z ich preferencji dotyczących sposobów podróżowania, wykorzystano wyniki badań z tego zakresu, wykonanych

w kilku miastach. Przyjęto, że oprócz możliwości pozostawienia pojazdu na parkingu zlokalizowanym przy trasie przejazdu, na obrzeżu miasta, na decyzję o wyborze takiego sposobu podróżowania wpływ będą miały warunki związane z dalszą podróżą, wykonywaną pojazdami komunikacji zbiorowej, tzn. po zostawieniu pojazdu na parkingu Park and Ride. Założono, że oczekiwania kierowców co do funkcjonowania komunikacji miejskiej po pozostawieniu auta na parking, będą podobne jak osób, które nie posiadają samochodu.

Kompleksowe Badania Ruchu wykonane w 2013 roku w Krakowie wskazały na wzrost zainteresowania podróżami samochodami osobowymi w stosunku do poprzednich badań: 33,7% w 2013 r., 25,9% w 2003 r. i 19,2% w 1995 r. Jednocześnie zauważono spadek przemieszczeń realizowanych komunikacją zbiorową – 36,3% w 2013 r., 43,2% w 2003 r. i 48,6% w 1995 r. Taka sytuacja może wynikać m. in. ze wzrostu liczby pojazdów, jaki nastąpił w przeciągu kilkunastu lat, choć warto zauważyć, że liczba podróży komunikacją zbiorową jest nieco większa od tych, realizowanych samochodem prywatnym.

Czynniki motywujące do pozostawienia auta w domu i dojazd do śródmieścia komunikacją zbiorową, to w przypadku mieszkańców gmin sąsiadujących z miastem, a więc potencjalnych użytkowników parkingów Park and Ride [20]:

- zwiększenie częstotliwości kursowania komunikacji miejskiej (43,6%),
- możliwość szybkiego dojazdu komunikacją miejską (39,4%),
- możliwość pozostawienia pojazdu na bezpłatnym parkingu w pobliżu śródmieścia (29,8%),
- poprawa komfortu podróżowania (21%),
- możliwość pozostawienia pojazdu na płatnym parkingu w pobliżu śródmieścia (7,9%).

Kolejność postulatów przewozowych uzyskana w ramach badań preferencji transportowych mieszkańców Gdyni w 2013 r. przedstawia się następująco [5]:

- bezpośredniość (27,65%),
- częstotliwość (16,7%),
- punktualność (16,05%),
- dostępność (bliskość przystanku) (12,25%),
- niski koszt (10,85%),
- niezawodność dojazdu (5,95%),
- prędkość (5,35%),
- wygoda (2,4%),
- rytmiczność (2%),
- wyczerpująca informacja (0,4%).

Suma ważona punktów uzyskanych w badaniach zachowań komunikacyjnych mieszkańców Raciborza [2] wskazała na następującą hierarchizację cech komunikacji zbiorowej:

- punktualność kursowania (2911 przyznanych punktów),
- częstotliwość (2475 przyznanych punktów),

- czas podróży (2199 przyznanych punktów),
- bezpośredniość połączenia (1893 przyznanych punktów),
- bliskość przystanku (1374 przyznanych punktów).

Badania zachowań komunikacyjnych wykonane na Śląsku, w przypadku przydzielania ocen w skali od 1 do 10, wskazują na poniższą kolejność czynników jakościowych według badanych [24]:

- całkowity czas podróży,
- koszty podróży,
- możliwość zdecydowania o trasie przejazdu,
- bezpieczeństwo w pojeździe,
- odległość źródło – cel,
- temperatura,
- miejsce siedzące,
- czas oczekiwania na środek transportu,
- opady deszczu,
- miejsca postojowe w pobliżu celu.

Warto zauważyć, że niektóre z powyższych czynników, pomimo, że były wymienione przez respondentów jako osobne pozycje, jak np.: całkowity czas podróży i czas oczekiwania na środek transportu, zależą od siebie.

Z powyższych zestawień wynika, że najważniejszymi czynnikami związanymi z wyborem pojazdów komunikacji zbiorowej są:

- częstotliwość,
- czas podróży,
- punktualność,
- bezpośredniość połączenia,
- dostępność (bliskość przystanku).

Podróżni chcą więc szybkiego, pewnego i wygodnego środka podróży, który może być substytutem dla dojazdów własnym pojazdem. Te cechy powinny więc być dominujące dla usługi, jaką jest możliwość skorzystania ze zintegrowanego systemu parkingów i komunikacji zbiorowej.

Dokonując analizy innych czynników jakościowych, które mogą wpływać na wybór środka transportu (tab. 1), można wyróżnić te, w których:

- wpływ organizatora omawianego systemu zintegrowanego, poprzez odpowiednie przygotowanie usługi, jest bezpośredni, np. czas przejazdu komunikacją zbiorową, odległość dojścia z parkingu do środka transportu, liczba kursów w różnych porach dnia, organizacja połączeń na głównych ciągach komunikacyjnych ograniczająca liczbę przesiadek, zapewnienie odpowiedniej liczby miejsc siedzących itd.,
- wpływ organizatora jest ograniczony, np. czas dojścia z parkingu do środka transportu zależy zarówno od położenia parkingu, jak i indywidualnych predyspozycji kierowców, podobnie odległość dojścia ze środka transportu do celu zależy od odpowiedniego umiejscowienia przystanków w pobliżu

głównych, zidentyfikowanych wcześniej celów podróży, jak: uczelnie, duże biura, zakłady pracy, ale również od potrzeb pasażerów związanych z daną podróżą i jej celem,

– wpływ organizatora nie istnieje lub jest znikomy, np. warunki atmosferyczne.

Ponadto można zauważyć, że w przypadku niektórych miast funkcje zarządzania infrastrukturą, w tym parkingową, rozdzielone są od funkcji, które związane są z funkcjonowaniem transportu miejskiego i realizowane przez różne instytucje. Utrudnia to przygotowanie spójnej i satysfakcjonującej dla użytkowników systemu zintegrowanej oferty komunikacji miejskiej i parkingów P & R.

Wyjaśnienia mogą wymagać przedstawione w tab. 1 kryteria czasowe.

Tabela 1. Czynniki jakościowe wpływające na wybór środka transportu oraz możliwość wpływu na dany czynnik poprzez odpowiednią infrastrukturę i organizację zintegrowanego systemu parkingów i komunikacji zbiorowej

Table 1. Qualitative factors influencing on choice of mean of transport and possibility of influence on particular factor by suitable infrastructure and organization of the integrated system of car parks and collective communication

Kategoria	Czynniki	Możliwość wpływu na dany czynnik
Czasowe	czas przejazdu komunikacją zbiorową	+
	czas dojścia do środka transportu	+/-
	czas oczekiwania na środek transportu	+/-
	czas dojścia ze środka transportu do celu	-
Przestrzenne	odległość źródło - cel	-
	odległość dojścia do środka transportu	+
	odległość dojścia ze środka transportu do celu	+/-
Dostępność	liczba przesiadek	+
	pora dnia	+
	miejsca postojowe w pobliżu celu	+/-
Atmosferyczne	temperatura	-
	opady deszczu	-
	opady śniegu	-
	śliska nawierzchnia	+/-
Inne	możliwość decydowania o trasie przejazdu	-
	możliwość "bycia dowiezionym" na miejsce	+/-
	miejsca siedzące	+
	koszty podróży	+
	bezpieczeństwo w pojeździe	+
	przyzwyczajenia (nawyk)	+/-

Legenda: (+ tak, - nie, +/- częściowo)

Legend: (+ yes, - no, +/- to a certain degree)

Źródło: opracowanie własne przy wykorzystaniu klasyfikacji zawartej w [24]

Na całkowity czas podróży składa się: czas przejazdu komunikacją zbiorową, na który można wpływać poprzez odpowiednią infrastrukturę i funkcjonowanie komunikacji zbiorowej (np. zorganizowanie wydzielonych pasów ruchu dla autobusów i tramwajów, metro), czas dojścia do środka transportu (wpływ częściowy poprzez odpowiednie umiejscowienie przystanków i parkingów), czas oczekiwania na środek transportu (wpływ częściowy, zależny od czasu przybycia kierowcy na przystanek i częstotliwości kursowania pojazdów komunikacji zbiorowej) i czas dojścia ze środka transportu do celu podróży. Ponadto należy zwrócić uwagę na to, że np. ze względu na ukształtowanie terenu, obecność skrzyżowań z sygnalizacją świetlną itd., czas dojścia nie jest tożsamy z odległością między wymienionymi w tabeli punktami.

Analiza możliwości wpływu na poszczególne czynniki pozwala stwierdzić zbliżony rozkład czynników, na które można wpływać, o ograniczonym wpływie i czynników poza wpływem (tab. 1). Wśród tych, na które istnieje wpływ, można i tu znaleźć te, które wystąpiły w wyżej cytowanych badaniach, a więc: czas związany z podróżą, odległość dojścia do środka transportu, czyli dostępność (bliskość przystanku), liczba przesiadek - bezpośredniość połączenia, jak również: miejsca siedzące, koszty podróży, bezpieczeństwo w pojeździe.

Do zagadnienia wyboru można również podejść w inny sposób, czyli od strony oceny jakości parkingów, z których korzystają podróżni. Wprawdzie większość realizowanych w ostatnim okresie parkingów Park and Ride jest zwykle dobrze utrzymana i wyposażona, to jednak przy dojazdach z wykorzystaniem komunikacji zbiorowej część z kierowców zmuszona jest skorzystać z parkingów ogólnodostępnych. Wskazówką dla zarządców oraz projektantów, m. in. w zakresie architektury, mogą być wyniki badań ankietowych, wykonane przez autora wśród użytkowników takich parkingów. Wyniki przedstawiono w tabeli 2 [13, 2012 r.]. Badania wykonano na grupie użytkowników pojazdów samochodowych z różnych miejscowości w Polsce, liczącej, po odrzuceniu kwestionariuszy niekompletnych i błędnych, 300 osób. W tej liczbie 44,4% stanowiły kobiety, a 55,6% mężczyźni. Jako metodę badawczą przyjęto kwestionariusze ankietowe, które rozdano, z prośbą o ich wypełnienie, kierowcom. Oceny dokonano w skali od 1 do 5, gdzie 1 to ocena zła, a 5 to ocena bardzo dobra. Badani oceniali jakość parkingów, przyznając poszczególnym parametrom swoje oceny.

Tabela 2. Wyniki badań ankietowych dotyczących oceny jakości parkingów. W tabeli przedstawiono średnią z ocen przyznanych przez badanych wybranym czynnikom, które wpływają na jakość parkingów i udział procentowy w ocenie

Table 2. The results of questionnaire investigations relating to opinion of car parks' quality. The table presents the average of marks given by investigated to chosen factors influencing on car parks' quality, and proportional participation in the estimation

Miejsce	Oceniany parametr	Średnia ocena	Udział w ocenie [%]				
			Bar-dzo dobrze	Do-brze	Śred-nio dobrze	Dosta-te-cznie	Źle
1	Wydzielenie miejsc parkingowych dla niepełnosprawnych	3,46	25,85	28,57	20,41	16,33	8,84
2	Rodzaj nawierzchni parkingu	3,40	10,51	43,39	28,47	11,19	6,44
3	Warunki dojścia z parkingu do celu podróży	3,36	8,93	37,46	37,46	13,06	3,09
4	Ograniczenia w prędkości poruszania się wewnątrz parkingu	3,33	8,50	36,39	37,76	14,29	3,06
5	Oznakowanie parkingu na drogach dojazdowych	3,32	8,16	35,03	43,20	7,48	6,12
6	Oświetlenie	3,28	8,78	39,53	29,05	16,55	6,08
7	Oznakowanie bram wyjazdowych i dróg ewakuacyjnych	3,26	9,83	37,63	29,15	15,93	7,46
8	Całodobowość funkcjonowania parkingu	3,24	15,81	27,49	29,55	18,90	8,25
9	Czystość parkingu	3,23	7,12	40,34	29,83	14,24	8,47
10	Reputacja parkingu	3,22	2,75	35,74	46,39	11,34	3,78
11	Wielkość wyznaczonego pojedynczego miejsca parkingowego	3,17	5,78	38,10	31,29	17,01	7,82
12	Wielkość dróg dojazdowych i manewrowych na parkingu	3,09	5,14	30,14	38,70	20,21	5,82
13	Łatwość orientacji w układzie parkingu	3,01	5,52	28,62	36,55	19,66	9,66
14	Wielkość parkingu	3,00	4,76	31,29	35,03	17,01	11,90
15	Ogrodzenie	2,94	6,78	28,47	29,49	22,03	13,22
16	Estetyka parkingu	2,92	5,46	24,91	36,52	22,87	10,24
17	Brak ograniczeń czasu parkowania	2,90	17,36	15,63	26,39	20,49	20,14
18	Kompetencja i kultura obsługi parkingu	2,87	5,12	22,18	39,25	21,84	11,60
19	Automaty biletowe	2,80	5,54	25,26	29,76	22,15	17,30
20	Identyfikacja literowo-numeryczna pojedynczego miejsca postojowego	2,69	7,22	21,65	25,43	24,05	21,65
21	Zadaszenie	2,56	6,85	18,84	26,03	19,86	28,42
22	Wydzielenie chodników dla pieszych	2,53	4,51	16,32	30,56	25,35	23,26
23	Cena za parkowanie	2,52	7,56	12,71	27,84	27,49	24,40

Tabela 2 (cd.). Wyniki badań ankietowych dotyczących oceny jakości parkingów. W tabeli przedstawiono średnią z ocen przyznanych przez badanych wybranym czynnikiem, które wpływają na jakość parkingów i udział procentowy w ocenie

Table 2 (cont.). The results of questionnaire investigations relating to opinion of car parks' quality. The table presents the average of marks given by investigated to chosen factors influencing on car parks' quality, and proportional participation in the estimation

Miejsce	Oceniany parametr	Średnia ocena	Udział w ocenie [%]				
			Bar-dzo dobrze	Do-brze	Śred-nio dobrze	Dosta-te-cznie	Źle
24	System monitorowania	2,49	2,36	16,16	30,98	28,96	21,55
25	Plan parkingu	2,36	1,69	16,27	26,78	26,78	28,47
26	Obecność pracowników obsługi parkingu	2,34	2,03	14,58	26,44	29,15	27,80
27	Odpowiedzialność właściciela parkingu na wyrządzone szkody	2,28	3,61	9,03	29,60	27,44	30,32
28	Obecność pracowników ochrony parkingu	2,27	3,44	11,68	24,05	30,58	30,24
29	Sygnalizacja elektroniczna wolnych miejsc postojowych podawana na parkingu	2,15	4,51	13,54	18,40	19,10	44,44
30	Zniżki za parkowanie dla stałych klientów	2,11	3,86	10,53	18,25	27,02	40,35
31	Informacja o dostępności wolnych miejsc parkingowych podawana na drogach dojazdowych do parkingu	2,00	3,74	9,86	20,75	14,29	51,36
32	System naprowadzania na wolne miejsca parkingowe	1,67	2,06	5,84	11,68	18,21	62,20
33	Informacja głosowa	1,59	0,35	4,93	13,03	16,90	64,79

Źródło: opracowanie autora na podstawie [13]

Ankietowani przyznali oceny poniżej średniej, czyli 2,50, takim czynnikiem, jak: system monitorowania, plan parkingu, obecność pracowników obsługi parkingu, odpowiedzialność właściciela parkingu na wyrządzone szkody, obecność pracowników ochrony parkingu, sygnalizacja elektroniczna wolnych miejsc postojowych podawana na parkingu, zniżki za parkowanie dla stałych klientów, informacja o dostępności wolnych miejsc parkingowych podawana na drogach dojazdowych do parkingu, system naprowadzania na wolne miejsca parkingowe i informacja głosowa. Czynniki te można podzielić na trzy grupy związane z:

- informacją - plan parkingu, sygnalizacja elektroniczna wolnych miejsc postojowych podawana na parkingu, informacja o dostępności wolnych miejsc parkingowych podawana na drogach dojazdowych do parkingu, system naprowadzania na wolne miejsca parkingowe i informacja głosowa,

- bezpieczeństwem - system monitorowania, obecność pracowników obsługi parkingu, odpowiedzialność właściciela parkingu na wyrządzone szkody, obecność pracowników ochrony parkingu,
- kosztami parkowania - zniżki za parkowanie dla stałych klientów.

Grupy powyższych czynników mogą, więc stanowić obszar do działań, które zmierzają do poprawy istniejącej sytuacji. Warto zauważyć, że dwa z trzech wymienionych czynników, które uzyskały słabą ocenę, a więc bezpieczeństwo i koszty, tym razem zostały odniesione do parkingów, a nie do środków komunikacji zbiorowej.

4. Uwagi końcowe i wnioski

System Park and Ride zapewnia połączenie zalet wynikających z możliwości dojazdu indywidualnego w terenach słabo zaludnionych, szczególnie gdy brak jest regularnych i częstych połączeń komunikacją zbiorową, oraz dojazdu transportem publicznym w miastach, który niejednokrotnie oferuje większą prędkość przejazdu oraz zredukowanie związanych z tym kosztów, w tym kosztów zewnętrznych.

Podstawowym problemem, który daje się obecnie zauważyć, jest duży deficyt miejsc parkingowych, występujący nie tylko w ścisłych centrach miast [16, 17], ale również w odniesieniu do ich przedmieść oraz miejscowości podmiejskich, w których można byłoby zorganizować parkingi typu „Parkuj i Jedź”. O ile konieczność budowy parkingów i węzłów przesiadkowych przy wjazdach do miast jest rozumiana i umieszczana we wszystkich politykach transportowych dużych ośrodków miejskich i miast wojewódzkich, o tyle takie czynniki jak np.:

- wysokie koszty pozyskania gruntu,
- nakłady na budowę parkingów,
- konieczność ponoszenia kosztów na bieżące utrzymanie zrealizowanych parkingów przesiadkowych,
- brak zrozumienia problemu,

mogą powodować u władz miejscowości przyległych do dużych miast niechęć do realizacji parkingów Park and Ride obsługujących te miasta. Działania integracyjne w sferze rozwoju sieci parkingów i zwiększania liczby miejsc na parkingach, należy więc prowadzić w sferze informacyjnej oraz współpracy na szczeblu miast i gmin przyległych do nich, niejednokrotnie będących miejscem zamieszkania sporej liczby użytkowników samochodów osobowych, codziennie przemieszczających się do miast w celach: zawodowych, edukacyjnych, zdrowotnych, kulturalnych i handlowych. Warto też zwrócić uwagę na fakt, iż pomimo znajomości zalet systemu w kraju oraz powszechności jego stosowania zagranicą, w dalszym ciągu nie jest on w sposób spójny i zintegrowany z komunikacją miejską realizowany w miastach (z wyjątkiem Warszawy).

Aby system mógł należycie spełniać swoje funkcje, konieczne jest również spojrzenie na jego funkcjonowanie z punktu widzenia użytkownika. Zadanie

to jest utrudnione, gdy poszczególne elementy systemu są rozproszone. Do elementów tych zaliczyć można:

- istniejącą infrastrukturę drogową (stan nawierzchni, drogi dojazdu, odpowiednie oznakowanie),
- istniejącą infrastrukturę punktową (parkingi, ich wyposażenie, węzły przesiadkowe),
- sterowanie ruchem,
- przepisy prawne,
- procedury korzystania,
- opłaty za parkowanie,
- taryfikatory biletów komunikacji zbiorowej,
- organizację obsługi komunikacyjnej parkingów (częstotliwość i czas jazdy pojazdów komunikacji publicznej, godziny funkcjonowania, trasy przejazdu itd.),
- komfort i wyposażenie pojazdów,
- jakość informacji,
- bezpieczeństwo pojazdów pozostawionych na parkingu,
- obsługę parkingów i komunikacji zbiorowej.

Mnogość czynników, które należy zsynchronizować i zintegrować może powodować problemy. Jest to tym trudniejsze, im występuje większa liczba instytucji publicznych i podmiotów gospodarczych, odpowiedzialnych za funkcjonowanie poszczególnych elementów systemu. Źródłem trudności mogą być odmienne interesy poszczególnych instytucji i przedsiębiorstw, nierzadko konkurujących ze sobą np. przy obsłudze określonych fragmentów miasta, jak również wpływ czynników zewnętrznych, koniecznych do uwzględnienia przez firmy uczestniczące w systemie, ale nie zawsze brane pod uwagę przez jego użytkowników.

Pomimo podobnych potrzeb przewozowych, posiadacze samochodów osobowych mając możliwość wyboru środka transportu, tzn. jazdy własnym pojazdem albo pojazdem komunikacji zbiorowej, mogą być mniej tolerancyjni w odniesieniu do czynników jakościowych środków komunikacji zbiorowej od osób, które własnego pojazdu nie mają. Mniejsza elastyczność kierujących pojazdami osobowymi na ofertę przewozową organizatorów transportu zbiorowego może skutkować rezygnacją z korzystania ze zintegrowanego systemu: P & R i komunikacja zbiorowa. Spadające systematycznie od wielu miesięcy ceny ropy naftowej, przy jednoczesnym utrzymywaniu się stałych cen za bilety w komunikacji publicznej, dodatkowo wpływają na zwiększenie atrakcyjności komunikacji indywidualnej. Poznanie rzeczywistych oczekiwań kierowców, przekładające się na zwiększenie korzyści z korzystania z systemu Park and Ride, może przyczynić się do zmiany ich nawyków. Przytoczone wyniki badań wskazują, że ważne okazują się konkretne czynniki dotyczące przejazdu, takie jak np.: częstotliwość jazdy, punktualność, czas dojazdu, w odróżnieniu od spektakularnych, ale nie wymienionych przez podróżnych gadżetów umieszczanych w pojazdach, jak: elektroniczne plany miast, duże, kolorowe wyświet-

tlacze w kasownikach, ekrany i reklamy telewizyjne czy Wi Fi. Czynniki te nie zastąpią pewnego i szybkiego środka komunikacji zbiorowej, jakiego oczekują kierowcy pojazdów osobowych, korzystający z komunikacji zbiorowej. Wpływają one jednak na uatrakcyjnienie i estetykę pojazdów, zachęcając do podróży zwłaszcza młode osoby, dla których często środek komunikacji zbiorowej jest jedynym, z którego mogą korzystać przy dojazdach do szkół i uczelni.

Przykłady decyzji podejmowanych w innych krajach, wskazują na jeszcze jeden aspekt związany z zachowaniami komunikacyjnymi kierowców, jakim jest czynnik finansowy. Choć działania takie są kosztowne, to tam, gdzie podjęto próbę wpływania na kierowców w celu rezygnacji z dojazdów samochodami osobowymi do centrów miast, poprzez opłaty za wjazd lub udzielane im różnego rodzaju gratyfikacji finansowych, osiągnięto rezultaty w postaci częściowej rezygnacji z używania własnych pojazdów, na rzecz komunikacji zbiorowej. Przykładem może być: Sztokholm – zarządzanie zmian, polegających na pobieraniu opłat za używanie samochodów w godzinach szczytu, dało efekt redukcji: 14% dwutlenku węgla i tlenu azotu, od 30% do 50% strat czasu stania w korkach, od 20 do 25% liczby pojazdów w centrum miasta; Rotterdam – działanie odwrotne, nagradzanie zamiast karania (46% osób uczestniczących w programie, polegającym na wypłatach 5€ przy rezygnacji z każdego dojazdu samochodem w pierwszym roku oraz 3€ po tym czasie przez dwa lata, zaprzestało wykorzystywać auto osobowe w godzinach szczytu, w celu dojazdu do pracy, co więcej: u ponad połowy zaobserwowano utrwalenie tego nawyku po zaprzestaniu programu); Drezno – dopłaty dla kierowców do biletów komunikacji zbiorowej w zamian za rezygnację z wykorzystywania samochodów osobowych oraz poprawa infrastruktury rowerowej (efekt to m. in.: redukcja liczby osób dojeżdżających własnym samochodem o 19%, 650% wzrost podróży pieszych, 49% wzrost dojazdów komunikacją zbiorową) [8].

Zagadnienie integracji parkingów z systemami komunikacji zbiorowej w miastach jest również poruszane w literaturze zagranicznej. Tematem badań są m. in.: wpływ parkingów, w tym Park and Ride, na kongestię ruchu, funkcjonowanie parkingów przykrawężnikowych, budowa modeli matematycznych, zagadnienia wprowadzania opłat za wjazd do centrów miast.

Jako przykład można podać pracę Jose Holguin-Veras, Wilfredo F. Yushimoto, Felipe Aros-Vera, John (Jack) Reilly pt. „User rationality and optimal park-and-ride location under potential demand maximization” [7], w której przedstawiono oszacowanie miejsca oraz potencjalnego rejonu ciężenia parkingów P & R.

Model programowania liniowego użyty do określenia miejsca położenia parkingów typu Park & Ride został przedstawiony w artykule Felipe Aros-Vera, Vladimira Marianov, Johna E. Mitchella [1].

Model charakteryzujący wybór sposobu podróży z wykorzystaniem parkingów Park and Ride oraz zachowania osób podróżujących zaprezentowano w artykule Tian-Liang Liu, Hai-Jun Huang, Hai Yang, Xiaoning Zhang, pt.

„Continuum modeling of park-and-ride services in a linear monocentric city with deterministic mode choice” [22].

W pracy pt. „Class of Comprehensive Optimization of Congested Road-Use Pricing and Parking Pricing” [6] autorzy rozważają wprowadzenie opłat za korzystanie z zatłoczonych odcinków dróg oraz opłat za korzystanie z parkingu. Ich celem może być zmniejszenie kongestii ruchu drogowego. Założono wprowadzenie poboru opłat za wjazd do zatłoczonych stref lub wprowadzenie systemu Park & Ride, umożliwiającego parkowanie na granicy strefy i kontynuowanie podróży transportem publicznym.

Zagadnienie m. in. wpływu parkingów na zatłoczenie ulic jest również rozważane przez Mei Zhenyu, Xiang Yiqiang, Chen Jun, Wang Wei [9]. Zwrócono w nim uwagę na parkowanie przykrawężnikowe, które jest częścią systemu parkowania w miastach, oraz na wpływ cen za parkowanie tego typu na stopień wykorzystania wolnych miejsc i redukcję zatłoczenia drogowego. Przeanalizowano również zachowania kierowców oraz wykonano probitowy model zachowań, który związany jest z wyborem miejsca parkowania samochodu.

Modele logitowe, wykonane na podstawie badań kierowców, dotyczących parkowania w warunkach polskich, przedstawiono w pracy W. Parkitnego [11].

Podawane są też przykłady inteligentnych systemów parkowania, w takich miastach jak np.: Kolonia, Helsinki, Stuttgart, Wiesbaden, Haga, przekazujących informacje o wolnych miejscach [21].

Literatura

- [1] Aros-Vera Felipe, Marianov Vladimir, Mitchell John E.: p-Hub approach for the optimal park-and-ride facility location problem, *European Journal of Operational Research* 226 (2013) 277-285.
- [2] Badania zachowań komunikacyjnych mieszkańców Raciborza 2005, http://debica-archiwum.pl/images/file/Badania%20zachowan%20komunikac_zawrtosc.pdf, {dostęp: 24.09.2015 r.}.
- [3] Dydkowski G.: Warunki i bariery integracji miejskiego transportu zbiorowego na przykładzie miast Aglomeracji Górnośląskiej, Konferencja nt. polityki miejskiej w kontekście spójności polityki UE z latami 2007 – 2013, Katowice 2007. http://konferencja2007.silesia.org.pl/materialy/034_Gdydkowski.pdf {dostęp: 27.10.2015 r.}.
- [4] Grzelec K.: Integracja komunikacji miejskiej w aglomeracjach miejskich, *Transport Miejski*, nr 5/2003.
- [5] Hebel K.: Postulaty przewozowe mieszkańców Gdyni w badaniach marketingowych na przykładzie badań bezpośrednich, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 5/2015, Kraków 2015.
- [6] Hi Feng, Chen Yan, Li Hengxin, Deng Lianbo: Class of Comprehensive Optimization of Congested Road-Use Pricing and Parking Pricing, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* Volume 9, Issue 1, February 2009.

- [7] Holguin-Veras Jose, Yushimito Wilfredo F., Aros-Vera Felipe, Reilly John (Jack): User rationality and optimal park-and-ride location under potential demand maximization, *Transportation Research Part B* 46 (2012) 949-970.
- [8] Kornalewski L., Malasek J.: Analiza skuteczności metod poprawy miejskich zachowań komunikacyjnych, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 6/2015.
- [9] Mei Zhenyu, Xiang Yiqiang, Chen Jun, Wang Wei: Optimizing Model of Curb Parking Pricing Based on Parking Choice Behavior, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol. 10, Issue 1, February 2010, 99-104.
- [10] Parkitny W.: Analiza parametrów parkingów realizowanych przez kolej w południowo – wschodniej Polsce, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 3, marzec 2013.
- [11] Parkitny W.: Analysis of chosen logit models to predict the behaviour of personal vehicles' drivers with reference to car parks choice, *Logistyka*, nr 6/2014, CD: część *Logistyka – nauka*, pp. 8383-8391.
- [12] Parkitny W.: Model matematyczny wyboru lokalizacji miejsc przesiadkowych i parkingów dla systemu P & R, *Polityka parkingowa w miastach, Zeszyty Naukowe – Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie*, seria: Materiały konferencyjne, nr 80, zeszyt 134, Kraków 2007.
- [13] Parkitny W.: Ocena jakości parkingów na podstawie wyników badań ankietowych, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 1, styczeń 2012.
- [14] Parkitny W.: Park & Ride and railway station's car parks in Małopolska and Podkarpacie provinces in Poland, 5th International Conference Road and Urban Transport and Sustainable Development CMDTUR 2009, Slovak Republic, Žilina 2009.
- [15] Parkitny W.: Wskaźniki oceny dopasowania parkingów, *Logistyka*, nr 4/2008.
- [16] Parkitny W.: Analiza wykorzystania stref płatnego parkowania we Wrocławiu przez uprzywilejowane grupy kierowców, *Magazyn Autostrady Budownictwo Drogowo - Mostowe*, nr 8-9/2016, str. 59-63.
- [17] Parkitny W.: Zasady funkcjonowania i analiza wydawanych abonamentów do stref płatnego parkowania w Krakowie, *Magazyn Autostrady Budownictwo Drogowo - Mostowe*, nr 7/2016, str. 42-46.
- [18] Praca zbiorowa pod red. A. Rudnickego: Innowacje na rzecz zrównoważonego transportu miejskiego. Doświadczenia z realizacji projektu Unii Europejskiej CIVITAS – CARAVEL, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Systemów Komunikacyjnych, Kraków 2010.
- [19] Ruta L.: Transport publiczny w aglomeracji warszawskiej. Wybrane aspekty integracji – perspektywa organizatora, Konferencja „Region - Miasto - Kolej”, 30.03.2011, Warszawa 2011.
- [20] Szarata A.: Wyniki badań podróży w Krakowie KBR 2013, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 5/2015.
- [21] Teodorović Dušan, Lučić Panta: Intelligent parking systems, *European Journal of Operational Research* 175 (206) 1666-1681.

- [22] Tian-Liang Liu, Hai-Jun Huang, Hai Yang, Xiaoning Zhang: Continuum modeling of park-and-ride services in a linear monocentric city with deterministic mode choice, *Transportation Research Part B* 43 (2009) 692-707.
- [23] Wild P.: Transport szynowy w Aglomeracji Wrocławskiej, Konferencja „Region - Miasto - Kolej”, 30.03.2011, Warszawa 2011.
- [24] Sierpiński G.: Zachowania komunikacyjne osób podróżujących a wybór środka transportu w mieście, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, Z. 84*, Warszawa 2012.
- [25] Zając A.: Zasady tworzenia zintegrowanej oferty w systemie transportu publicznego. rola, struktura, funkcje i odpowiedzialność integratora systemu transportowego, Konferencja „Region - Miasto - Kolej”, 30.03.2011, Warszawa 2011.

EXPECTATIONS OF TRAVELLERS AND INTEGRATION OF CAR PARKS WITH MUNICIPAL SYSTEM OF COLLECTIVE TRANSPORT

Summary

The growth of number of vehicles causes many negative results. Except those widely known like pollution, noise, accidents, there appears, especially in centers of large cities, congestion of movement, loss of green terrains, illegal car parks, changes in landscape, etc. The situation can be partly improved thanks to change of drivers' behaviour and building Park and Ride car parks which allow leaving a car on a car park outskirts and continuation of travel by collective transport. To encourage drivers to choose such a way of travelling, one should integrate building and working of car parks with municipal system of collective transport. Identification of travellers' needs can permit better adjustment of infrastructure and organization of collective transport to drivers' expectations and through that to larger popularity of the system as well as improvement of its functioning. The aim of the paper is to present expectations of people travelling by collective transport in context of integration and adjustment of car parks, including Park and Ride car parks, to the system of public communication and travellers' needs. Research methods, which were used, are comparative analysis and questionnaire researches, being realised among drivers, and intending to estimate particular features of car parks. In the article there have been described preferences in domain of collective transport elements, knowledge of which can be used to effective service of Park and Ride car parks' system and collective transport as well as estimation of factors having influence on car parks quality. This information may be used to eliminate quality gap between expectations of travellers using the system and the quality of services supplied.

Keywords: car park, Park and Ride, integration in transportation, drivers' behaviour, travellers' behaviour, collective (public) transport

DOI:10.7862/rb.2016.284

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Janusz PEŁCZYŃSKI¹
Bartłomiej TOMKOWICZ²

ZAGADNIENIA ETAPU PROJEKTOWANIA ZMIANY SPOSOBU UŻYTKOWANIA STRYCHÓW KAMIENIC NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH W STREFIE ŚRÓDMIEJSKIEJ RZESZOWA

Jednym ze sposobów pozyskiwania powierzchni użytkowych w centrach miast jest adaptacja strychów kamienic. Zainteresowanie wzbudza możliwość wytworzenia mieszkań o niepowtarzalnym, indywidualnym charakterze przy stosunkowo niskich nakładach finansowych. Adaptację strychów w strefie śródmiejskiej można traktować także jako działanie w ramach zrównoważonego rozwoju w kierunku przekształceniowym, przeciwstawiającym się trendowi rozlewania się miast (urban sprawl). Liczne korzyści płynące z takiego działania pojawiają się zarówno w skali budynku jak i miasta. W praktyce, proces pozyskania i przekształcenia strychu na mieszkanie może okazać się długotrwały, a przede wszystkim złożony tak na płaszczyźnie formalnej jak i projektowej. Występujące uwarunkowania projektowe można podzielić na kilka zasadniczych grup obejmujących: stan techniczny budynku, uwarunkowania formalno-prawne, uwarunkowania architektoniczne, konstrukcyjne i instalacyjne. Pełne rozpoznanie istniejących uwarunkowań w ramach analizy przedprojektowej jest niezbędną podstawą optymalnego wyznaczenia założeń adaptacji. W artykule omówiono zagadnienia uwarunkowań projektowych na tle trzech przykładów adaptacji czterokondygnacyjnych kamienic w Rzeszowie, różniących się pod względem wymagań konserwatorskich: kamienicy przy ul. Kraszewskiego 1 leżąca w strefie ochrony konserwatorskiej, kamienicy przy pl. Śreniawitów 2 wpisaną do ewidencji zabytków i kamienicy przy ul. Grodzisko 3 wpisaną do rejestru zabytków. Podjęto kwestię ogólnych uwarunkowań projektowych związanych ze zmianą sposobu użytkowania, przedstawione zostały przyjęte założenia i rozwiązania adaptacji omawianych strychów w zakresie układów funkcjonalnych, stropów, więźby dachowej.

Słowa kluczowe: adaptacja, przebudowa, zmiana funkcji, uwarunkowania projektowe adaptacji

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Janusz Pełczyński, Politechnika Rzeszowska, Zakład Urbanistyki i Architektury, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; tel.: 17 865 1691; jpe@prz.edu.pl

² Bartłomiej Tomkowicz, Creativa Studio Architektury i Budownictwa, ul. T. Lenartowicza 27/4, 35-051 Rzeszów; tel.: 604 756 888; biuro.creativa@gmail.com

1. Wprowadzenie

Zmiana sposobu użytkowania strychu kamienicy w strefie śródmiejskiej jest zadaniem złożonym, o specyficznym charakterze. Występujące uwarunkowania można podzielić na kilka zasadniczych grup obejmujących: stan techniczny budynku, uwarunkowania formalno-prawne oraz uwarunkowania projektowe architektoniczne, konstrukcyjne i instalacyjne. Pełne rozpoznanie istniejących uwarunkowań w ramach analizy przedprojektowej jest niezbędną podstawą optymalnego wyznaczenia założeń adaptacji.

W niniejszym artykule przedstawiona została problematyka fazy projektowej związanej z adaptacjami strychów kamienic przy ul. Kraszewskiego 1, pl. Śreniawitów 2 i ul. Grodzisko 3 w Rzeszowie. Bliższy opis obiektów wraz z omówieniem występujących uwarunkowań formalno-prawnych zawarty został w artykule [1].

2. Ogólnie uwarunkowania projektowe adaptacji strychów

Ogólnie uwarunkowania projektowe dla adaptacji strychów tworzą:

- istniejący układ konstrukcyjny, funkcjonalny, instalacyjny, układ i kompozycja elewacji kamienicy,
- nośność istniejących elementów konstrukcyjnych budynku: fundamentów, ścian, stropów, więźby,
- zakres formalnie dopuszczanej ingerencji w strukturę i geometrię budynku,
- wymogi zachowania oryginalnych elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych [2].

Zazwyczaj najbardziej oczekiwanym w ramach zmiany sposobu użytkowania strychu na cele mieszkalne jest podejście polegające na jak najmniejszej interwencji. Wynika to przede wszystkim z niższych kosztów inwestycyjnych a także z urzędowej ostrożności służb konserwatorskich i organów administracji architektonicznej, które w drodze warunków i decyzji często ograniczają dopuszczalny zakres interwencji do minimum. Do rzadkich należą sytuacje, gdy zezwala się na nadbudowę obiektów historycznych czy to w postaci podniesienia czy zmiany formy dachu. Najczęściej preferowaną formą działania jest nieinwazyjne wprowadzenie lukarn lub okien połaciowych oraz ewentualne korekty konstrukcji wewnętrznej.

Specyfiką projektowania w przestrzeni strychów jest także konieczność spełnienia wszystkich wymagań obecnych warunków technicznych. Wymaganie to dotyczy nie tylko obszaru bezpośrednio objętego projektowaniem, ale również pozostałych części budynku leżących poza bezpośrednim obszarem adaptacji a mające związek z funkcjonowaniem adaptowanej powierzchni. Biorąc pod uwagę że w zabudowie pierzejowej budynek uznaje się za odrębny w przypadku oddzielenia go od innych części zabudowy ścianami oddzielenia pożarowego od

fundamentów pod dach, zakres analizy np. odnośnie zagadnień ochrony i odporności pożarowej może być niezwykle poszerzony [3].

Główne problemy projektowe odnoszące się bezpośrednio do przestrzeni adaptowanego strychu sprowadzają się do możliwości prawidłowego rozwiązania zakładanej funkcji wraz z jej konstrukcją i częścią instalacyjną, przy wprowadzeniu akceptowalnych zmian elewacji budynku i jego gabarytu.

Jako pierwsze zagadnienie projektowe można wymienić wysokość przestrzeni strychu: czy i na ile umożliwi wprowadzenie przewidywanej funkcji. Ocenę należy dokonać z uwzględnieniem koniecznych korekt istniejącej konstrukcji i przegród [4].

Drugim charakterystycznym zagadnieniem w przestrzeni strychu jest występowanie kominów oraz ograniczeń przestrzeni przez elementy więźby.

Określone uwarunkowania projektowe tworzy także możliwość wprowadzania okien i przeszkleń w celu zapewnienia naturalnego oświetlenia wnętrza; jest ona zazwyczaj ograniczona od strony elewacji frontowej przez konserwatora zabytków, który w obiektach objętych ochroną będzie spójności charakteru kamienicy i dominacji jego historycznej kreacji.

Następnie, istotna z punktu widzenia przyjmowania rozwiązań instalacyjnych, ale także układu funkcji, jest lokalizacja pionów instalacji, w tym przede wszystkim pionów kanalizacji sanitarnej.

Poruszanie się w sztywno określonej przestrzeni z jednej strony ogranicza wachlarz możliwości do kilku rozwiązań, z drugiej zaś zmusza do przyjmowania rozwiązań kompromisowych; uzyskanie rozwiązania bez jakichkolwiek kompromisów nie jest proste, a w szeregu przypadków w ogóle niemożliwe [5], lub związane z nadmiernymi kosztami inwestycyjnymi.

3. Założenia projektowe i przyjęte rozwiązania.

3.1. Układy funkcjonalne

W omawianych przypadkach adaptacji strychów dążono do uzyskania optymalnych układów funkcjonalnych uwzględniających spełnienie założeń w zakresie ilości lokali i ich programu użytkowego. Starano się zachować w maksymalnym stopniu zasady projektowania funkcji mieszkaniowej - podział na strefę dzienną i nocną, zapewnienie doświetlenia naturalnego w odpowiedniej ilości, prawidłowy rozkład pomieszczeń ich proporcje.

W przypadku strychu w budynku przy ul. Grodzisko 3 założeniem było wytworzenie dwóch lokali mieszkalnych o określonym programie funkcjonalno-powierzchniowym (Rys. 1). Większe mieszkanie wielkości ok. 120 m² powinno mieć duży pokój dzienny z otwartym aneksem kuchennym i przestronnym balkonem, gabinet, dwie sypialnie i dwie łazienki. Mieszkanie mniejsze wielkości ok. 60 m² o elastycznym układzie dającym możliwość dzielenia i otwierania przestrzeni w zależności od potrzeb.

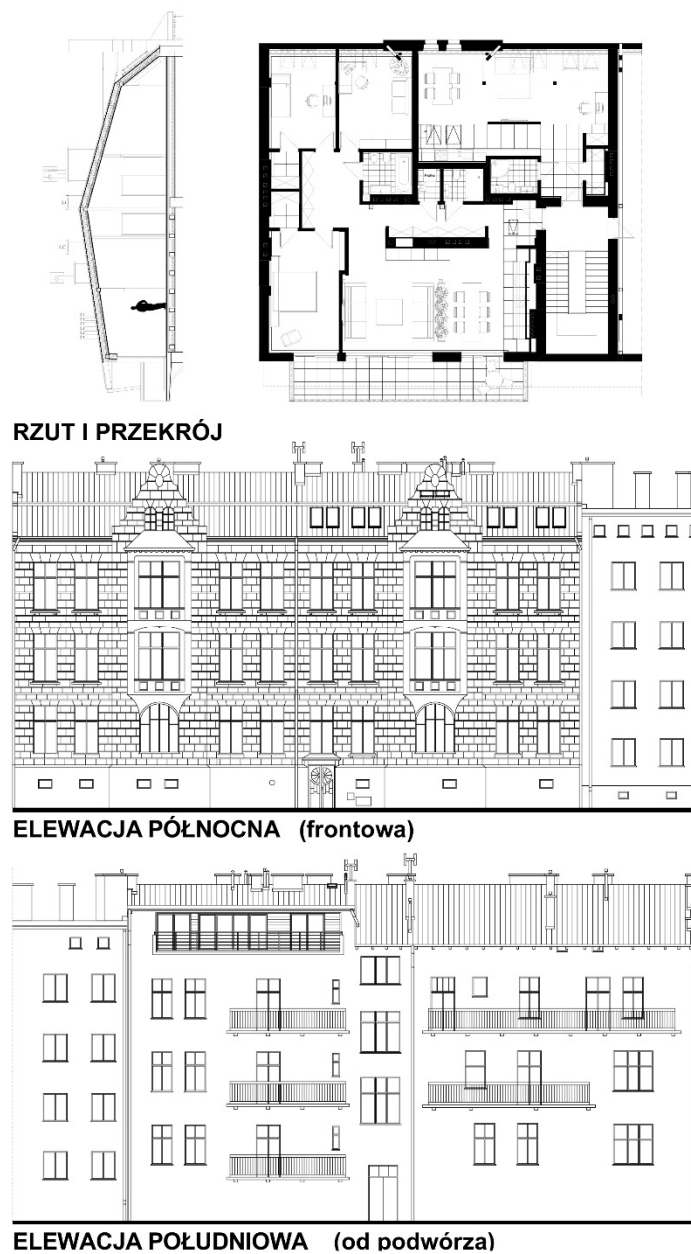
Podział przestrzeni na lokale wynikał z rozmieszczenia ścian nośnych i kominowych. Lokalizacja klatki schodowej warunkującej dostępność do przestrzeni przeznaczonej do adaptacji pozwoliła tylko w jednym z mieszkań uzyskać układ na przestrzał (północno-południowy). Mniejsze mieszkanie o orientacji wyłącznie północnej ze względu na obowiązujące przepisy dotyczące oświetlenia naturalnego zaprojektowano jako jednopokojowe. Wejścia do obydwu lokali dostępne są bezpośrednio z klatki schodowej. W obydwu mieszkaniach zrealizowano strefowanie funkcji i założenia programowe. W dużym mieszkaniu układ kominów i instalacji wygenerował komunikację w postaci długiego korytarza. Inne analizowane warianty układów, choć umożliwiłyby zlokalizowanie strefy dziennej bliżej wejścia, w opinii projektantów były mniej korzystne. Ostatecznie uzyskano klarowny rozkład rzutu o dogodnych dla aranżacji proporcjach przestrzeni.

Nie zawsze jest to do osiągnięcia na strychach zwłaszcza wówczas gdy powierzchnie przeznaczone do aranżacji nie tworzą zwartego, regularnego kształtu. Taką sytuację napotkano przy adaptacji Kraszewskiego 1, gdzie na powierzchni ok. 100 m² założono wytworzenie 2 mieszkań z opcją przyszłego ich połączenia (Rys. 2). Utrudnieniem był tu układ kominów, konstrukcja więźby, lokalizacja pionów sanitarnych oraz kształt rzutu związany z wcześniej wyodrębnionymi do osobnego zagospodarowania obszarami. Lokalizację łazienek w obydwu mieszkaniach uznać należy za kompromis wymuszony uwarunkowaniami tego strychu. Wejścia do mieszkań zdecydowano usytuować przy północnej klatce schodowej.

W przypadku adaptacji strychu przy Pl. Śreniawitów 2 zakładano wytworzenie 6 niezależnych lokali mieszkalnych o różnorodnym metrażu i programie użytkowym (Rys. 3). Zasadnicze okazały się uwarunkowania uzyskane w drodze rozmów z konserwatorem i przedstawionych mu koncepcji. Umożliwienie rozbudowy w pionie centralnej klatki schodowej stanowiło o sensowności inwestycji. Istotnym ze względów funkcjonalnych w rozmowach z konserwatorem było uzyskanie zgody na wstawienie lukarn w przestrzeń adaptowanego strychu. Ich rozstaw powiązany został z układem okien na kondygnacjach poniższych. Nadto dopuszczone zostało zastosowanie okien połaciowych oraz niezbędna nadbudowa dachu od strony podwórza.

Pozostałe uwarunkowania projektowe związane były, podobnie jak w pozostałych przypadkach, z gabarytem strychu, jego układem konstrukcyjnym, kominowym i instalacyjnym.

W efekcie prac wykreowano mieszkania jedno, dwu i trzypokojowe z aneksami kuchennymi. W części mieszkań udało się wytworzyć także garderoby. Kształt samych mieszkań uzależniony został od linii kominów przebiegającej w środkowej części budynku w obydwu jego skrzydłach oraz przylegającej do niej komunikacji. Nienormatywną drewnianą klatkę schodową w zachodniej części, którą dotychczas można się było dostać na strych z poziomu drugiego piętra wyłączono z opracowania.

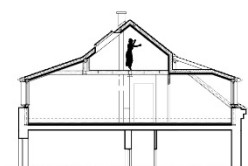


Rys. 1. Kamienica przy ul. Grodzisko 3, stan projektowany - rzut i przekrój strychu, elewacje północna i południowa

Fig. 1. The building at 3 Grodzisko Street, state designed- floor plan and cross-section of the loft, front and back elevation

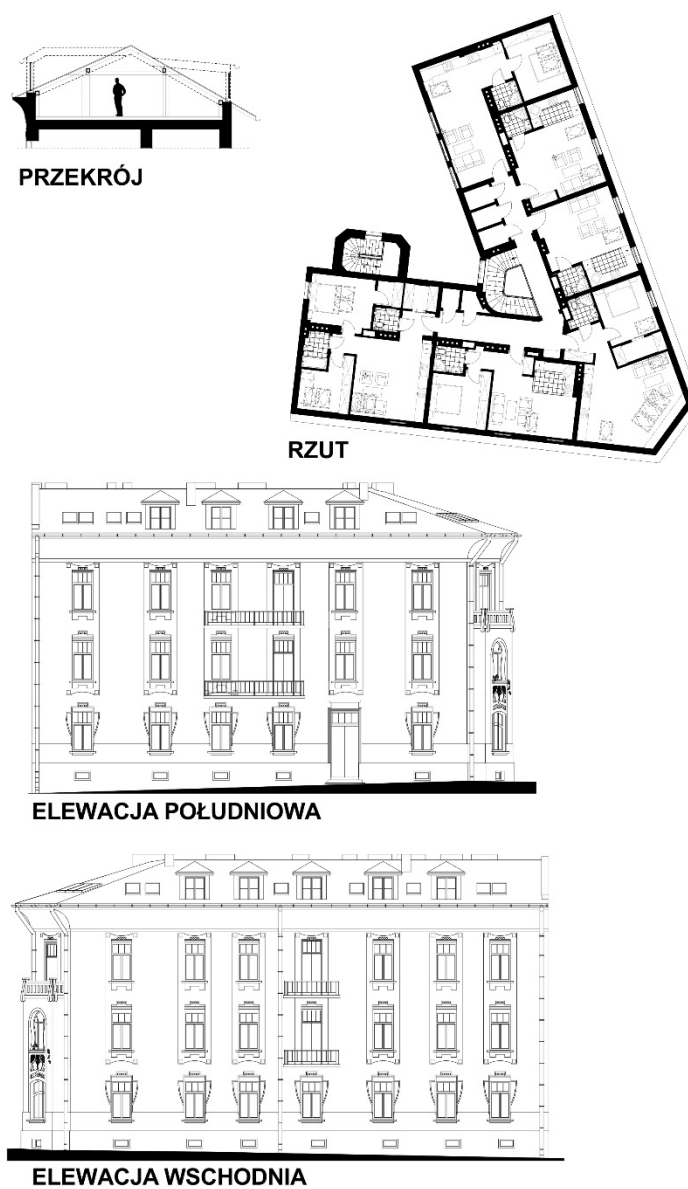
**RZUT**

kolorem szarym zaznaczono powierzchnię przeznaczoną do adaptacji

**PRZEKRÓJ****ELEWACJA PÓŁNOCNA** (frontowa)**ELEWACJA POŁUDNIOWA** (od podwórza)

Rys. 2. Kamienica przy ul. Kraszewskiego 1, stan projektowany - rzut i przekroje strychu, elewacje frontowa i od podwórza

Fig. 2. The building at 1 Kraszewskiego Street, state designed - floor plan and cross-sections of the loft, front and back elevation



Rys. 3. Kamienica przy pl. Śreniawitów 2, stan projektowany - rzut i przekrój strychu, elewacje południowa i wschodnia

Fig. 3. The building at 2 Śreniawitów Square, state designed - floor plan and cross-section of the loft, south and east elevation

3.2. Stropy

Ze względów konstrukcyjnych na szczególną uwagę podczas analizy i projektowania zasługuje układ statyczno-materiałowy stropu. Możliwość wykorzystania istniejącego stropu jest najlepszym rozwiązaniem, jednak w praktyce nie zdarza się to często.

Strop dla funkcji mieszkalnej wg normy EN 1991-1-1:2002 powinien przenosić obciążenia rzędu 1,5-2,0 kN/m². Większość kamienic, zwłaszcza tych wznoszonych pod koniec XIX i na początku XX wieku posiada stropy drewniane, których właściwości mechaniczne w przestrzeniach użytkowych są rzędu 1,2 kN/m² a dla strychów 0,5 kN/m² [6], co oznacza potrzebę ich wzmocnienia, wymiany, lub wprowadzenia nowej, niezależnej konstrukcji.

Najbardziej złożone zagadnienie stropu napotkano w kamienicy Grodzisko 3. Strop belkowy w poziomie strychu w części północnej - frontowej posiada niemal 7-metrową rozpiętość bez podpór pośrednich. W części południowej ze względu na zagęszczenie ścian nośnych niższych kondygnacji długość elementów drewnianych jest mniejsza, ale podłużny względem kalenicy układ belek wraz z przyjętym na wstępie założeniem wykonania długiego balkonu w tej części, znacznie skomplikowały dobór rozwiązania projektowego. Rozważono wprowadzenie alternatywnych rozwiązań dla przystosowania stropu dla celów mieszkalnych. Analizowano możliwość zastosowania stropów lekkich drewnianych, drewniano-stalowych lub stalowych w rozwiązaniach nie wymagających użycia dźwigu ani rozbiórki dachu na czas montażu, stropów prefabrykowanych z płyt strunobetonowych (SMART) i kanałowych, a także wylewanych gęstożebrowych (RECTOR) i monolitycznych niezależnych od stropu istniejącego jak i z nim powiązanych. Ostatecznie do realizacji wybrano strop żelbetowy z wykorzystaniem istniejącego stropu drewnianego wcześniej wyremontowanego i wzmocnionego nadbitymi elementami drewnianymi. Płyta żelbetowa nie została zespolona ze stropem drewnianym, ale przy jej projektowaniu korzystano z zasad konstruowania stropów zespolonych [7]. Osiągnięto cel w postaci znaczącej poprawy właściwości mechanicznych istniejącego ustroju przy stosunkowo niskich kosztach materiałowo-wykonawczych - 2 i 3-krotnie niższych od pozostałych analizowanych rozwiązań. Na wybór rozwiązania, oprócz aspektu ekonomicznego, wpływ miały także inne czynniki takie jak łatwość technologii wykonania, sztywność ustroju oraz bardzo korzystna ostateczna wysokość stropu umożliwiająca uzyskanie największej powierzchni użytkowej. Bardzo istotna była również możliwość osiągnięcia wielkość balkonu (11 x 1,9 m).

W przedstawianych adaptacjach kamienic w zasadzie tylko strop przy ul. Kraszewskiego 1 dawał szansę bezpośredniego wykorzystania. Nad ostatnią kondygnacją w tym budynku został zastosowany strop gęstożebrowy prefabrykowany DMS. Ekspertyza konstrukcyjna wykonana na podstawie dokumentacji archiwalnej i odkrywek wykazała brak odpowiedniej nośności dla adaptacji na obciążenia użytkowe funkcji mieszkalnej. Przeprojektowano jednak układ

warstw wykończeniowych istniejącego stropu co pozwoliło na jego bezpośrednie wykorzystanie. Usunięto polepę z warstwami wylewek cementowych i ocieplenia zastępując je podłogą pływającą z izolacją akustyczną. Zmniejszone zostały w ten sposób obciążenia na jego konstrukcję i korzystnie obniżono jej wysokość.

3.3. Więźba

Podobnie jak ze stropami okazuje się przedstawiać sytuacja z więźbą dachową. Rzadko kiedy możliwe jest wykorzystanie istniejącej konstrukcji bez konieczności dokonania wzmocnień czy wymiany jej elementów. Więźby projektowane kilkadziesiąt lat temu z reguły nie spełniają wymagań współczesnych norm. O ile więźby te lepiej lub gorzej funkcjonują w przestrzeni strychu jako np. nieocieplonej suszarni, to w przypadku zmiany przeznaczenia na cele mieszkalne przekroje elementów nośnych konstrukcji dachu muszą zapewnić przeniesienie dodatkowych obciążeń z nowych warstw wykończeniowych i muszą ponadto spełniać obecne normy. W omawianych kamienicach niemal w całości wymieniono konstrukcje więźb w przestrzeniach objętych zmianą sposobu użytkowania. Powody tego były różne.

W kamienicy przy ul. Grodzisko 3 ekspertyza mykologiczno-konstrukcyjna wykazała zły stan niemal wszystkich elementów nośnych więźby – murłaty, płatwie, słupki, kleszcze zostały porażone przez owady Spuszczela i Kołatka, grzyb wroślak rzędowy, a miejscowo, zwłaszcza w styku z murem nasiąkniętym wilgocią, także spróchniałe. Stwierdzono także znaczne ugięcia krokwi i za małe przekroje w stosunku do długości elementów; wątpliwości budziła też jakość zastosowanego drewna. W części południowej wymiana wskazana była nadto ze względu na zmianę nachylenia połaci dachu (poprzez wstawienie lukarny pulpityowej) konieczną dla wytworzenia przestrzeni użytkowej tej niskiej części strychu.

W przypadku więźby dachu budynku przy ul. Kraszewskiego 1 powodem korekty więźby była konieczność dostosowania jej układu do potrzeb funkcjonalnych. Pochyłe stolce, przenoszące obciążenia z płatwi pośrednich na nośną ścianę podłużną biegnącą w środku budynku, tworzyły wprawdzie interesującą konstrukcję, ale jej walory wizualne kolidowały z optymalnym zakomponowaniem powierzchni strychowej. Eliminacja słupów drewnianych i wprowadzenie ramy stalowej pozwoliły tutaj na wytworzenie antresoli i dodatkowej powierzchni użytkowej w przekształcanym poddaszu. Lukarny, które często dopuszczane są jako mniej agresywna alternatywa dla całkowitej zmiany formy dachu są kolejnym czynnikiem powodującym ingerencję w strukturę więźby. W adaptacji przy ul. Kraszewskiego dzięki dużym lukarnom pulpityowym udało się osiągnąć przestronną, niemal w pełni użytkową powierzchnię mieszkalną. Wykorzystano także przestrzeń nad klatką schodową, której powierzchnię włączono do antresoli mieszkań. W trakcie budowy, decyzją Inwestora zrezygno-

wano z podziału i nastąpiło scalenie obydwu lokali. W ramach zmiany projektu budowlanego doprojektowano kolejne dwie lukarny w przestrzeni antresoli znacznie poprawiając jej parametry przestrzenne.

W kamienicach mieszczańskich z końca XIX i początków XX wieku, stosowano w układach więźb dachowych konstrukcje niezależne od konstrukcji stropowych. Dolne belki tych wiązań przenoszące siły rozporowe (tramy) ze względu na ich dużą wysokość i znaczne wyniesienie są elementami, które mogą dostarczać wiele problemów przy rozwiązywaniu układów mieszkań w przestrzeni strychowej. Sytuacja taka ma miejsce w kamienicy przy pl. Śreniawitów. Ograniczona wysokość przestrzeni strychu nie sprzyja wprowadzeniu konstrukcji podłogi w górnej płaszczyźnie tramów. Przebieg tramów wyklucza możliwość wkomponowania ich w układ funkcjonalny. Dlatego w porozumieniu z Konserwatorem zabytków założono przebudowę więźby z założeniem likwidacji kolidujących belek.

3.4. Kominy i instalacje

Większość kamienic wznoszonych w pierwszej połowie XX w. i wcześniej ogrzewana była przez piece na paliwo stałe podpięte do przewodów dymowych, które wobec następujących z czasem zmian w sposobie ogrzewania budynku, straciły swą przydatność. Zmieniły się również zasady wentylacji z bezpośredniej na pośrednią, dzięki czemu istnieje pewna ilość "wolnych" nie używanych przewodów kominowych. Część z nich można rozebrać, zaś część przewodów w przypadku kolizji z projektowaną funkcją może być przebudowana, większość jednak stanowi trwały komponent rozwiązywania układu funkcjonalnego stanowiąc swoisty szkielet dla projektowanej funkcji.

W adaptacjach przy ul. Grodzisko i pl. Śreniawitów stosowano zarówno rozbiórkę części przewodów jak i przebudowę układu wentylacji na wysokości strychu, dzięki czemu uzyskano zwiększenie powierzchni użytkowej, ale przede wszystkim większą swobodę uzyskania prawidłowego rozwiązania układu funkcjonalnego.

W kamienicy przy ul. Grodzisko podjęto też próbę wykorzystania istniejącego nie używanego przewodu kominowego do wprowadzenia nowego pionu kanalizacji sanitarnej. Niestety pomimo pozytywnej opinii kominiarskiej w zakresie drożności przewodu, na etapie realizacji inwestycji, z powodu nieprostopadłości przebiegu przewodu, nie powiodło się wprowadzenie do niego rury kanalizacji sanitarnej. W konsekwencji zmusiło to Inwestora do przebudowy istniejącego w pobliżu pionu ks, tak żeby można było przypiąć do niego kolejne przybory.

4. Uwagi końcowe

Złożoność inwestycji związanej ze zmianą sposobu użytkowania strychu ujawnia się również na etapie realizacji prac budowlanych. Nieodłączne podczas budowy hałas, pylenie i uszkodzenia, możliwości zalania pomieszczeń na niższych kondygnacjach są bardzo uciążliwe dla aktualnych użytkowników budynku. Często występują sytuacje braku zrozumienia i cierpliwości z ich strony dla uwarunkowań związanych z prowadzeniem prac. Dlatego w przypadku prowadzenia inwestycji w czasie normalnej eksploatacji budynku istotne jest przyjmowanie rozwiązań projektowych umożliwiających szybki postęp prac, minimalizujących potencjalne uciążliwości i zagrożenia dla otoczenia inwestycji, z unikiem w miarę możliwości ciężkich technologii budowlanych.

Literatura

- [1] Pełczyński J., Tomkowicz B.: Zagadnienia etapu wstępnego zmiany sposobu użytkowania strychów w strefie śródmiejskiej na cele mieszkalne na przykładzie wybranych kamienic w Rzeszowie, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 411-422, DOI:10.7862/rb.2014.107.
- [2] Frodl W.: *Pojęcie i kryteria wartościowania zabytków*, Wyd. ODZ, Warszawa 1966.
- [3] Tomkowicz B., Pełczyński J.: Problemy modernizacji obiektów położonych w strefie ochrony konserwatorskiej na przykładzie przebudowy budynku mieszkalnego przy ul. Piekarskiej 13 w Kolbuszowej, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, 2012, z. 59, tom II, nr 2, s. 777-789.
- [4] Motak E., Zapał L.: Wybrane zagadnienia konstrukcyjne adaptacji poddaszy budynków zabytkowych, materiały konferencyjne w książce V konferencja naukowo-techniczna REW-INŻ'2000 Kraków, T.2, Wyd. Politechniki Krakowskiej, s.163-170.
- [5] Borzym K., Węgrzynowski W.: Ocena możliwości przebudowy poddaszy i nadbudowy budynków, *Materiały Budowlane*, wyd. SIGMA-NOT, 11/1999, s. 5-9.
- [6] Thierry J.: *Remonty budynków i wzmocnianie konstrukcji*, Wyd. Arkady, Warszawa 1982.
- [7] Masłowski E., Spizewska D.: *Wzmocnianie konstrukcji budowlanych*, Wyd. Arkady, Warszawa 2000.

ISSUES OF DESIGN PHASE THE LOFT CONVERSION IN DOWNTOWN BY EXAMPLES OF SELECTED TENEMENTS IN RZESZÓW

Summary

One of obtaining ways of usable areas in city centers is an adaptation of attics of buildings. Interest is the ability to produce housing a unique, individual character at relatively low cost. Lofts adaptation in the downtown area can be treated as well as action in the framework of sustainable development, opposed to the trend of urban sprawl. Numerous benefits of such action appear both in the building and the city. In practice, the process of acquisition and conversion of loft on the

apartment can be a long and complex, as at the formal as the design level. Existing conditions of design can be divided into several major groups, including: the technical condition of the building, the formal and legal level, considerations of architecture, construction, and plants. Full study of the existing conditions in the predesign stage is an essential foundation for an optimal designation of assumptions the adaptation. The article discusses of issues the design phase on three examples of adaptation four-storey tenement houses in Rzeszów, which differ in terms of monuments conservation requirements: the building at 1 Kraszewski Street lying in the zone of protection and conservation, the building at 2 Śreniawitów Square entered in the municipal files of monuments and building at 3 Grodzisko Street entered in the register of monuments. The article presents the general design considerations related to the change of using, assumptions and solutions to adapt these lofts in the field of function, ceilings and roof truss.

Keywords: adaptation, reconstruction, change of function, the conditions of adaptation design

DOI:10.7862/rb.2016.285

Przesłano do redakcji: 30.11.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Adam Paweł PIECH¹
Anna BASZAK²

PIERWIASTKI ŚLADOWE W WYBRANYCH WODACH MINERALNYCH DOSTĘPNYCH W HANDLU

Butelkowane wody mineralne stanowią istotne źródło zaspokajania zapotrzebowania na wodę w codziennej diecie człowieka. Ze względu na łatwość przyswajania przez organizm składników mineralnych zawartych w wodach mineralnych konieczne jest świadome wybieranie produktu o składzie dostosowanym do indywidualnych potrzeb. Oprócz makroskładników, których charakterystyka ilościowa zawsze widnieje na etykietach, wody mineralne zawierają również mikroelementy. Celem pracy była analiza koncentracji pierwiastków śladowych w 22 butelkowanych wodach mineralnych dostępnych w handlu na terenie Rzeszowa. Artykuł zawiera główne zagadnienia dotyczące znaczenia wody dla prawidłowego funkcjonowania organizmu oraz wpływu mikroelementów na zdrowie człowieka. W badaniach zastosowano metodę całkowitego odbicia promieniowania rentgenowskiego TXRF. Analizy wykazały obecność 18 pierwiastków śladowych w badanych wodach: Al, As, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Ge, I, Mn, Ni, P, Rb, Se, Sr, Ti, Zn. Najwyższe stężenia mikroskładników w przeważającej większości występują w wodach leczniczych. Żadna z badanych wód mogąca służyć jako stałe źródło płynów w diecie (wody nisko-, średnio- i wysokozmineralizowane) nie zawiera mikroskładników w ilości, która pozwalałaby na fizjologiczno-odżywcze oddziaływanie na organizm. Dodatkowo wykazano, że pomiędzy stężeniem bromu i germanu istnieje silna korelacja dodatnia ($R^2 = 0,993$).

Słowa kluczowe: mikroelementy, woda mineralna, wody butelkowane, german

1. Wstęp

Woda jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania ciała ludzkiego. Jej funkcje nie polegają tylko na nawadnianiu organizmu, ale również na dostarczeniu niezbędnych pierwiastków jak na przykład magnezu, wapnia czy sodu.

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Adam Paweł Piech, Politechnika Rzeszowska, Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 178651949, apiech@prz.edu.pl

² Anna Baszak, Politechnika Rzeszowska

Dziedziną nauki, zajmującą się wykorzystaniem wody i innych surowców naturalnych w celach leczniczych jest balneologia, krenoterapia zaś jest kuracją pitną. Jest to jedna z najczęściej wykorzystywanych metod leczenia uzdrowskiego [7]. Jednak dzięki intensywnemu rozwojowi przemysłu rozlewniczego wykorzystywanie korzystnych właściwości wód i rozpuszczonych w nich składników mineralnych wykroczyło poza granicę uzdrowisk. Nieograniczony wręcz dostęp do butelkowanych wód mineralnych wymaga od konsumentów racjonalnego wyboru takiej wody, która będzie dostosowana do ich indywidualnych potrzeb.

Na właściwości zdrowotne wód mineralnych mają wpływ nie tylko składniki główne, o stężeniu których producent jest zobowiązany poinformować na etykiecie, ale również mikroskładniki [5]. Istotne zatem jest poznanie zawartości tych pierwiastków, zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym.

Pojęcie wody mineralnej po raz pierwszy zostało formalnie sprecyzowane na Międzynarodowym Kongresie Balneologicznym w Neuheim w 1911 roku. Odnosiło się ono do wód, które w jednym litrze zawierają powyżej 1000 mg rozpuszczonych składników mineralnych [4]. Obecnie podział i definicje wód mineralnych regulowane są w europejskich i krajowych aktach prawnych.

Woda stanowi środowisko dla przebiegu wielu reakcji biochemicznych, jest głównym składnikiem ciała ludzkiego. W zależności od wieku, płci i budowy ciała jej udział w ogólnej masie ciała waha się w granicach od 45% u ludzi starszych, do nawet 80% u noworodka [3]. Ciało ludzkie nie ma jednak możliwości magazynowania wody, więc w celu zachowania prawidłowego funkcjonowania organizmu musi być ona stałym punktem codziennej diety. Zapotrzebowanie na wodę również różni się w zależności od wieku, płci, masy ciała, przeciętnie wynosi ono $2 dm^3$ na dobę. Można założyć więc, że dla człowieka żyjącego 70 lat, ilość wody spożywanej przez całe życie kształtuje się na poziomie $50 tys dm^3$. Oznacza to, że ciągłe spożywanie wody zawierającej nawet minimalne ilości szkodliwych substancji może prowadzić do skumulowania ich w organizmie [6]. Jednocześnie picie wody o bardzo niskiej mineralizacji lub wody zdemineralizowanej, otrzymanej na przykład w wyniku zastosowania filtrów RO (odwróconej osmozy), może być przyczyną zaburzonej równowagi elektrolitycznej [2].

Wpływ spożywania wód mineralnych na zdrowie człowieka nie jest uzależniony tylko od zawartości głównych składników, ale również od stężenia mikroelementów. Zbyt duża lub zbyt mała zawartość określonych pierwiastków może oddziaływać na organizm człowieka. Woda w prawdzie dostarcza zaledwie 10% dziennego zapotrzebowania na składniki mineralne, są jednak one znacznie łatwiej przyswajalne niż składniki mineralne dostarczane z pożywieniem. Mikroskładniki w żywności występują zwykle w formie trudno rozpuszczalnych i źle przyswajalnych związków kompleksowych. Ponadto intensyfikacja rolnictwa i hodowli oraz procesy przetwarzania żywności są przyczyną zmniejszania się zawartości potrzebnych pierwiastków w przyjmowanym pokarmie [2, 5].

Znane są pierwiastki, które ograniczają lub uniemożliwiają przyswajanie innych mikrośladników przez organizm. Jednak odpowiednie proporcje poszczególnych pierwiastków przyjmowanych z pokarmem i wodą nie są w pełni poznane. Istotne zatem jest spożywanie wód mineralnych i wód leczniczych, w których występują różnorodne mikrośladniki w korzystnych, łatwo przyswajalnych formach.

Właściwości lecznicze wód podziemnych związane są z obecnością gazów (wody siarczkowe, szczawy) lub występowaniem charakterystycznych właściwości fizycznych (wody radonowe, termalne). Istotną grupę stanowią wody swoiste, czyli takie, których właściwości wynikają z odpowiednio wysokiego stężenia – głównie na poziomie $mg \cdot dm^{-3}$ – składników podrzędnych lub mikrośladników. Do pierwiastków tych mogą być zaliczane fluor, jod, arsen, brom, bor, bar, lit, stront. Dodatkowo istnieją mikrośladniki, które wodom podziemnym nadają korzystny lub nawet leczniczy wpływ już przy zawartości rzędu $\mu g \cdot dm^{-3}$. Są to m.in. mangan, wanad, kobalt, cynk, selen, chrom, miedź i molibden. Pierwiastki te nazywane są biokatalizatorami. Pełnią istotną funkcję w organizmie, ponieważ budują niektóre enzymy oraz usprawniają przemiany biochemiczne. Możliwe jest, że wraz z postępem nauki, przede wszystkim medycyny i balneologii poznane będą funkcje w organizmie innych, niewymienionych powyżej mikrośladników [5].

Celem pracy było badanie zawartości pierwiastków śladowych w wybranych butelkowanych wodach mineralnych dostępnych w handlu oraz porównanie tych wód pod względem występowania mikrośladników.

2. Metodologia wykonania badań

2.1. Charakterystyka urządzenia analitycznego

Podstawowym instrumentem wykorzystanym w trakcie badań był spektrometr S2 PICOFOX. Urządzenie to charakteryzuje się możliwością szybkiego i sprawnego wykonywania analiz ilościowych oraz mikroanaliz próbek stałych i ciekłych oraz zanieczyszczeń na filtrach. Metoda wykorzystywana w tym spektrometrze to fluorescencyjna spektrometria rentgenowska całkowitego odbicia TXRF. Granica wykrywalności to ppm($mg \cdot dm^{-3}$) i ppb ($\mu g \cdot dm^{-3}$) [9].

2.2. Aparatura i odczynniki

Podczas badań wykorzystano następujące odczynniki:

- aceton (CH_3COCH_3),
- woda dejonizowana,
- stężony 69 % kwas azotowy (HNO_3),
- 10% kwas azotowy (HNO_3),
- kwas solny 1:1,

- silikon (roztwór w izopropanolu),
- roztwór galu $1000\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Wykorzystana aparatura:

- suszarka laboratoryjna,
- waga analityczna Radwag Max50/1/WH,
- dygestorium,
- płyta grzewcza,
- wytrząsarka o ruchu drgającym Lab Dancer, IKA,
- piec muflowy,
- spektrometr rentgenowski S2 PICOFOX, Bruker AXS Microanalysis GmbH.

2.3. Przygotowanie próbek

- 1) Przygotowanie roztworu standardu wewnętrznego: do kolby miarowej o pojemności 10ml dodano $0,1\text{ml}$ roztworu galu o stężeniu $1000\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ i dopełniono do kreski wodą dejonizowaną. Roztwór dokładnie wymieszano. Otrzymano roztwór o stężeniu $10\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.
- 2) Do próbek Eppendorfa za pomocą pipety automatycznej wprowadzono po 1ml badanej wody. Dla każdej wody przygotowano po 3 próbki.
- 3) Do każdej próbki za pomocą pipety automatycznej dodano po $10\mu\text{l}$ roztworu standardu wewnętrznego. Próbki dokładnie mieszano na wytrząsarce laboratoryjnej o ruchu drgającym.
- 4) Nośniki (dyski kwarcowe) ułożono na płycie grzejnej. Za pomocą pipety automatycznej o pojemności $6\mu\text{l}$ na centralną część nośników nanoszono próbki wody. Po odparowaniu wody nanoszono olejną warstwę. Proces powtarzano do uzyskania wyraźnej warstwy analitu [1].

Procedura czyszczenia nośników i pomiar kontrolny w celu sprawdzenia czystości wykonano zgodnie z metodyką producenta urządzenia [1].

3. Charakterystyka badanych wód

W badaniach wykorzystano 22 wody butelkowane dostępne w handlu na terenie Rzeszowa. W Tabeli 1 przedstawiono ich skład chemiczny, ogólną zawartość składników mineralnych oraz klasyfikację wg informacji podanych na etykietach.

Tabela 1. Klasyfikacja, mineralizacja ogólna oraz zawartość składników mineralnych w badanych wodach butelkowanych [$mg \cdot dm^{-3}$] (na podstawie informacji zawartych na etykietach)Table 1. Classification, total mineralization and mineral content in bottled mineral waters [$mg \cdot dm^{-3}$] (information from the labels)

Nazwa	Mineralizacja	Kationy					
		Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Li^+	Fe^{2+}
Wody niskozmineralizowane							
Primavera	248,28	1,78	48,1	6,08	0,86	-	-
Dobrowianka	420	2	58,12	33,42	-	-	-
Evian	489	6,5	80	26	1	-	-
Wody średniozmineralizowane							
Jurajska	500,33	10	66,1	32,8	2,2	-	-
Kinga pieninska	508,676	9,2	86,97	12,82	3,46	-	-
Rzeszowianka	630	5,4	101	26,2	3,4	-	-
Nałęczowianka	650	10	114,2	20	2,5	-	-
Perrier	708	11,8	155	6,8	-	-	-
Cisiowianka	742	11	130,3	21,9	<5	-	-
SPellegrino	998	33,3	174	51,4	-	-	-
Celestynka	1409	256	74	15	7	-	-
Wody wysokozmineralizowane							
Piwniczanka	1729	133	180	87	13	0,6	-
Saguaro	1991,6	420	94	35	-	-	-
Muszynianka	2104	98	240	120	9	-	-
Krynica	2246,1	54,71	368,92	73,209	5,27	-	-
Wysowianka	2896,3	619,9	142,5	47,9		-	-
Wody lecznicze							
Słotowinka	3243,6	267,4	195,2	211,2	10,31	-	0,11
Henryk	5225,6	1231	156,7	39	33	1	-
Franciszek	14814,3	4040	176,4	19,6	80,8	2,5	-
Zuber	25006,3	6168	77,43	363,8	288,4	18,53	0,43
Jan	669,9	15,73	115,71	17,607	1,67	0,011	0,22
Wielka Pieniawa	1380	67,3	218	26,4	38,8	-	-

Tabela 1 (cd.). Klasyfikacja, mineralizacja ogólna oraz zawartość składników mineralnych w badanych wodach butelkowanych [$mg \cdot dm^{-3}$] (na podstawie informacji zawartych na etykietach)

Table 1 (cont.). Classification, over mineralization and mineral content in bottled mineral waters [$mg \cdot dm^{-3}$] (information from the labels)

Nazwa	Mineralizacja	Aniony				
		Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	F^-	J^-
Wody niskozmineralizowane						
Primavera	248,28	4,2	13,78	160,11	0,12	-
Dobrowianka	420	-	-	276,94	0,13	-
Evian	489	6,8	12,6	360	-	-
Wody średnizmineralizowane						
Jurajska	500,33	7,8	40,5	329,9	0,4	-
Kinga pieninska	508,676	5,32	12,6	360,01	0,06	-
Rzeszowianka	630	13,5	37	442,4	-	-
Nałęczowianka	650	12,6	-	448,1	0,3	-
Perrier	708	25	46,1	445	-	-
Cisiowianka	742	<5	<1	539,1	<0,5	-
SPellegrino	998	52	430	245	-	-
Celestynka	1409	338	24	584	0,4	0,5
Wody wysokozmineralizowane						
Piwniczanka	1729	-	32	1260	0,22	-
Saguaro	1991,6	212,7	-	1141	-	0,26
Muszynianka	2104	10	27,0	1600	-	-
Krynica	2246,1	10,3	6,15	1721,9	0,14	-
Wysowianka	2896,3	319,1	-	1665,8	-	0,52
Wody lecznicze						
Słotowinka	3243,6	15,1	3,0	2479,3	0,11	-
Henryk	5225,6	585	11,7	2989,9	0,5	0,9
Franciszek	14814,3	2162,9	11,7	7853	-	2,9
Zuber	25006,3	902,8	3,0	17161	0,097	1,13
Jan	669,9	43,7	49,24	343,1	0,206	-
Wielka Pieniawa	1380	3,4	30,0	970	0,43	-

4. Wyniki badań i ich omówienie

Badania własne wykazały, że w analizowanych wodach butelkowanych występują następujące mikrośladowości: glin (Al), arsen (As), bar (Ba), brom (Br), kobalt (Co), chrom (Cr), miedź (Cu), żelazo (Fe), german (Ge), jod (I), mangan (Mn), nikiel (Ni), fosfor (P), rubid (Rb), selen (Se), stront (Sr), tytan (Ti) i cynk (Zn). Tabela 2 zawiera zestawienie otrzymanych wyników.

Tabela 2. Zawartość mikrośladowości w wybranych butelkowanych wodach mineralnych [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$]

Table 2. Trace elements in selected bottled mineral waters [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$]

Pierwiastki	Woda butelkowana										
	Celestynka	Cisowianka	Dobrowianka	Evian	Franciszek	Henryk	Jan	Jurajska	Kinga Pienińska	Krynica	Muszyńska
Al	-	375,5	-	-	8034,67	8516,77	472,89	-	-	-	499,6
As	-	-	1,42	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	2198,08	24,65	285,99	108,96	4521,89	1756,74	214,21	77,45	134,46	989,9	1235,53
Br	-	23,26	17,73	12,59	12350,8	2978,14	18,63	40,57	9,42	23,57	27,88
Co	-	-	-	-	-	-	7,12	-	-	-	-
Cr	-	1,39	-	5,25	-	-	-	-	1,61	3,72	-
Cu	-	1,01	1,07	0,63	-	9,51	-	0,81	0,81	4,36	1,91
Fe	52,06	28,32	13,08	30,86	85,18	102,69	20,86	16,52	6,53	37,27	29,92
Ge	1,03	-	-	-	53,59	17,69	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	1628,04	580,83	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	0,8	115,17	170,14	454,27	-	0,6	132,42	342,58
Ni	-	-	-	-	-	7,22	20,53	-	-	-	-
P	-	748,32	-	-	3040,60	1709,38	561,29	-	-	-	1242,21
Rb	19,01	5,08	1,385	-	386,06	125,58	2,721	5,3325	0,5405	10,786	10,944
Se	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1625	-	-
Sr	1797,24	1522,26	244,93	338,87	1814,05	705,07	514,72	1279,34	330,37	2572,67	1652,64
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	10,46	5,35	74,15	3,61	64,84	41,58	8,08	5,17	6,84	6,73	11,26

Tabela 2 (cd.). Zawartość mikrośladników w wybranych butelkowanych wodach mineralnych [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$]Table 2 (cont.). Trace elements in selected bottled mineral waters [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Pierwiastki	Woda butelkowana										
	Natęzowianka	Perrier	Piwniczanka	Primavera	Rzeszowianka	S. Pellegrino	Slotwinka	Saguaro	Wielka Pieniawa	Wysowianka	Zuber
Al	413,22	-	-	-	-	-	-	1587,58	-	-	10668
As	-	-	-	-	-	0,7	-	-	1,28	-	-
Ba	20,27	19,16	1062,28	16,95	39,61	11,25	48347,29	436,57	0	427,63	1507,87
Br	38,3	86,94	45,04	14,62	23,46	389,88	29,07	1159,11	21,586	1526,22	4944
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	2,59	-	-
Cr	1,86	4,77	-	0,62	3,33	8,31	10,19	-	-	-	-
Cu	1,06	2,77	1,37	0,46	3,35	0,78	6,07	-	1,2	4,92	0
Fe	23,38	53,84	18,01	52,42	26,38	15,71	92,71	49,91	28,19	32,36	472,57
Ge	-	-	-	-	-	-	-	6,49	-	7,04	-
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	169,91	0,65	-	-	296,11	44,66	255,49	243,65	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	956,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb	4,4326	-	19,0237	3,1417	3,4605	-	21,92	50,89	175,43	75,777	441,53
Se	-	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	2294,5	567,31	803,46	302,73	437,57	2523,74	16619,86	468,35	509,19	459,72	1649,59
Ti	-	12,66	-	-	5,53	-	-	-	-	-	-
Zn	3,89	6,98	10,04	2,94	14,71	6,22	22,61	8,16	6,88	11,35	47,85

4.1. Częstość występowania

Badane wody nie wykazują dużej zmienności pod względem zawartości mikrośladników. Tabela 3 przedstawia częstość występowania poszczególnych mikrośladników w badanych wodach.

Mikrośladniki, które obecne były we wszystkich 22 przebadanych wodach to stront, cynk i żelazo. Bar nie występował tylko w Wielkiej Pieniawie, a brom w Celestynce. Pierwiastki, które wykrywano były najrzadziej to tytan, selen, nikiel, jod i kobalt.

4.2. Najwyższe stężenia

W tabeli 4 przedstawiono wody, w których odnotowano najwyższe stężenia mikrośladników. Badania wykazały, że najwyższe stężenia mikrośladników w przeważającej większości występują w wodach leczniczych. Nisko zmineralizowana woda Dobrowianka jest najbogatsza pod względem zawartości arsenu i cynku. Tytan i selen w najwyższym stężeniu występują w wodzie Perrier.

Tabela 3. Częstość występowania mikrośladników w badanych wodach [%]

Table 3. Incidence of microelements in waters used in study [%]

Pierwiastek	Częstość występowania [%]
Zn	100
Sr	100
Fe	100
Br	95
Ba	95
Rb	86
Cu	77
Mn	59
Cr	59
Al	36
P	27
Ge	23
As	14
Ti	9
Se	9
Ni	9
I	9
Co	9

Tabela 4. Najwyższe stężenia mikrośladników [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$]Table 4. Highest concentrations of microelements [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$]

Pierwiastek	Najwyższe stężenie [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$]	Woda butelkowana
Al	10668,0	Zuber
As	1,4	Dobrowianka
Ba	48347,3	Słotwinka
Br	12350,8	Franciszek
Co	7,1	Jan
Cr	10,2	Słotwinka
Cu	9,5	Henryk
Fe	472,6	Zuber
Ge	53,6	Franciszek
I	1628,0	Franciszek
Mn	454,3	Jan
Ni	20,5	Jan
P	3040,6	Franciszek
Rb	441,5	Zuber
Se	0,6	Perrier
Sr	16619,9	Słotwinka
Ti	12,7	Perrier
Zn	74,2	Dobrowianka

4.3. Fizjologiczne znaczenie mikrośladników

Wojtaszek [8] w opracowaniu „Profilaktyczno zdrowotne działanie wód mineralnych” podaje, że składniki mineralne występujące w wodach mogą mieć znaczenie fizjologiczne jeśli ich ilość przekracza 15% dziennego zapotrzebowania. Obecnie nie jest określone dzienne zapotrzebowanie dla wszystkich mikrośladników. To, które dotychczas poznano przedstawione zostało w tabeli 5.

W tabeli 6 przedstawiono ilość mikrośladników mających znaczenie fizjologiczne, która jest dostarczana do organizmu wraz z wypijaną wodą. W nawiasach podano procentowe pokrycie dziennego zapotrzebowania na dany mikroelement. Założono dzienne spożycie wody w ilości 1,5dm³. Wody lecznicze nie zostały ujęte w tym zestawieniu, gdyż dawkowanie tych wód, ze względu na ich specyficzne właściwości, musi być kontrolowane przez lekarza.

Tabela 5. Dienne zapotrzebowanie na mikroelementy, na podstawie [3]

Table 5. Recommended daily amount for microelements, based on [3]

Składnik	Dzienne zapotrzebowanie [$\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$]	15% dziennego zapotrzebowania [$\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$]
Co	0,3	0,045
Cr	100	15
Cu	2000	300
Fe	15000	2250
Mn	3000	450
Ni	100	15
P	3500000	525000
Se	60	9
Zn	13000	1950

Wyniki pokazują, że żadna z badanych wód mogąca służyć jako stałe źródło płynów w diecie, nie zawiera mikrośladników w ilości, która pozwalałaby na fizjologiczno-odżywcze oddziaływanie na organizm. Można jednak zauważyć, że w kilku wodach zawartość chromu i manganu jest wyraźnie bliska osiągnięcia granicy fizjologiczno odżywczej. Dla chromu jest to: S. Pellegrino (12,47%), Evian (7,88%), Perrier (7,16%) i Kryniczanka (5,58%). Dla manganu: Muszynianka (14,68%), Wysowianka (10,44%), Piwniczanka (7,28%) i Kryniczanka (5,68%).

Tabela 6. Ilość mikrośladników dostarczana wraz z wypijaną wodą przy założeniu spożycia $1,5dm^3$ wody dziennie [μg] oraz pokrycie dziennego zapotrzebowania na dany pierwiastek [%]Table 6. Amount of microelements supplied with water ($1,5dm^3$ per day)[μg] and covering recommended daily amount for each element [%]

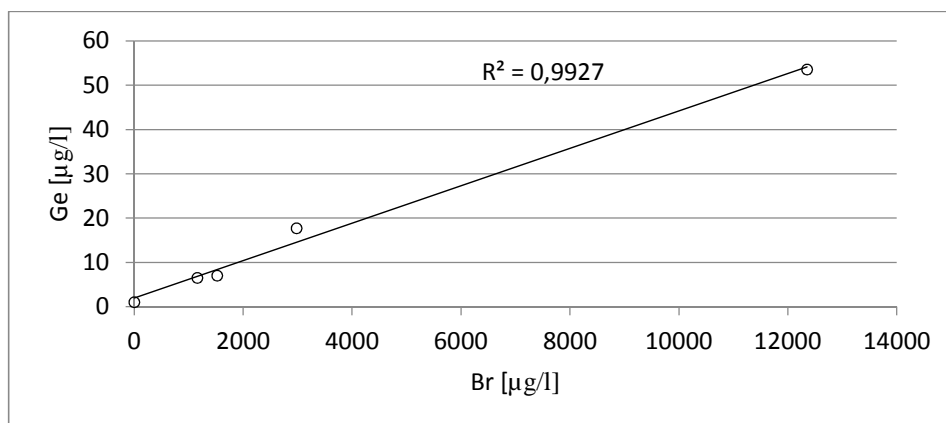
Woda butelkowana								
Pierwiastek	Celestynka	Cisowianka	Dobrowianka	Evian	Jurajska	Kinga Pienińska	Krynicyzanka	Muszyzianka
Co	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	-	2,1 (2,09)	-	7,9 (7,88)	-	2,4 (2,42)	5,6 (5,58)	-
Cu	-	1,5 (0,08)	1,6 (0,08)	0,9 (0,05)	1,2 (0,06)	1,2 (0,06)	6,5 (0,33)	2,9 (0,14)
Fe	78,1 (0,52)	42,5 (0,28)	19,6 (0,13)	46,3 (0,31)	24,8 (0,17)	9,8 (0,07)	55,9 (0,37)	44,9 (0,30)
Mn	-	-	-	1,2 (0,03)	-	0,9 (0,03)	198,6 (5,68)	513,9 (14,68)
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	1122,5 (0,03)	-	-	-	-	-	1863,3 (0,05)
Se	-	-	-	-	-	0,2 (0,41)	-	-
Zn	15,7 (0,12)	8,0 (0,06)	111,2 (0,86)	5,4 (0,04)	7,8 (0,06)	10,3 (0,08)	10,1 (0,08)	16,9 (0,13)
Woda butelkowana								
Pierwiastek	Nałęczowianka	Perrier	Piwniczanka	Primavera	Rzeszowianka	S. Pellegrino	Saguaro	Wysowianka
Co	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	3,3 (3,32)	7,2 (7,16)	-	0,9 (0,93)	5,0 (5,00)	12,5 (12,47)	-	-
Cu	1,6 (0,08)	4,2 (0,21)	2,1 (0,10)	0,7 (0,03)	5,0 (0,25)	1,2 (0,06)	3,3 (0,16)	7,4 (0,37)
Fe	35,1 (0,23)	80,8 (0,54)	27,0 (0,18)	78,6 (0,52)	39,6 (0,26)	23,6 (0,16)	74,9 (0,50)	48,5 (0,32)
Mn	-	-	254,9 (7,28)	1,0 (0,03)	-	-	67,0 (1,91)	365,5 (10,44)
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	1434,7 (0,04)	-	-	-	-	-	-
Se	-	0,8 (1,40)	-	-	-	-	-	-
Zn	5,8 (0,04)	10,5 (0,08)	15,1 (0,12)	4,4 (0,03)	22,1 (0,17)	9,3 (0,07)	12,2 (0,09)	17,0 (0,13)

4.4. Występowanie germanu

Badania własne wykazały obecność germanu w 5 badanych wodach: Celestynka ($1,03\mu\text{g}/\text{l}$), Saguaro ($6,49\mu\text{g}/\text{l}$), Wysowianka ($7,04\mu\text{g}/\text{l}$), Henryk ($17,69\mu\text{g}/\text{l}$) i Franciszek ($53,59\mu\text{g}/\text{l}$). Istnieje zależność między zawartością germanu i bromu w badanych wodach (Rys. 1).

Z krzywej korelacji stężenia germanu i bromu wyznaczono współczynnik dopasowania $R^2 = 0,993$. Na jego podstawie można stwierdzić że powyższe wskaźniki wykazują silną korelację dodatnią tzn. wraz ze wzrostem stężenia bromu rośnie wartość stężenia germanu.

W literaturze brak jest dokładnych danych na temat występowania germanu w polskich wodach mineralnych. Zatem uzyskane wyniki stanowią podstawę do dalszych badań.



Rys. 1. Krzywa korelacji stężenia bromu i germanu

Fig. 1. Correlation graph of bromide and germanium concentration

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiza można wysunąć następujące wnioski i stwierdzenia:

- Mikroskładniki występujące w analizowanych 22butelkowanych wodach mineralnych to: glin, arsen, bar, brom, kobalt, chrom, miedź, żelazo, german, jod, mangan, nikiel, fosfor, rubid, selen, stront, tytan i cynk.
- Najwyższe stężenia mikroskładników w przeważającej większości występują w wodach leczniczych.
- Mikroskładniki występujące w badanych butelkowanych wodach mineralnych, z wyłączeniem wód leczniczych, nie mają znaczenia fizjologicznego.

- German występuje w polskich butelkowanych wodach mineralnych. Pomieędzy stężeniem bromu i germanu istnieje silna korelacja dodatnia.

W badaniach wykorzystano aparaturę zakupioną w ramach projektu nr POPW.01.03.00-18-012/09 z Funduszy Strukturalnych w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Literatura

- [1] Bruker AXS Microanalysis GmbH, S2 PICOFOX User Manual, 2008.
- [2] Derkowska- Sitarz M., Adamczyk-Lorenc A., *Wpływ składników mineralnych rozpuszczonych w wodzie pitnej na organizm człowieka*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały, Rocznik 2008, Tom 123, Nr 34, Str. 39-48.
- [3] Gawęcki J., Hryniewiecki L.: *Żywność człowieka. Podstawy nauki o żywieniu*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [4] Janiec B., *Woda w środowisku przyrodniczym i jej kwalifikacje: Aqua minerale: dlaczego ją pijemy?*, „Aura”, 2005, Nr 5, s. 4-7.
- [5] Macioszczyk A., Dobrzyński D.: *Hydrogeochemia. Strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [6] Rak J.R., Pietrucha-Urbanik K., Boryczko K.: *Balneotechnika. Wody mineralne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013.
- [7] Rak J. R., Tchórzewska-Cieślak B., Pietrucha K.: *Balneotechnika. Walory uzdrowiskowe.*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2010.
- [8] Wojtaszek T., *Profilaktyczno-zdrowotne działanie wód mineralnych*. Journal of Elementology, 2006, Nr 11 (1), Str. 119-126.
- [9] www.bruker.poznan.pl [dostęp: 03.01.2015 r.]

TRACE ELEMENTS IN SELECTED MINERAL WATERS COMMERCIALY AVAILABLE

Summary

Bottled mineral waters are an important source of recommended daily amount for water. Due to the facility in assimilation elements in water by human organism, it is essential to choose consciously product with individual composition. Amount of the main elements in mineral water are always visible on the label, but there are also trace amounts of microelements. The purpose of this study was to investigate the trace elements in 22 mineral waters commercially available in Rzeszów. The paper presents the main issues of water influence on functioning of the human body and microelements influence on human health. The method which was applied in study is total reflection X-Ray Fluorescence TXRF. The results of the study were that there is 18 microelements in bottled water: Al, As, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Ge, I, Mn, Ni, P, Rb, Se, Sr, Ti, Zn. Zinc, strontium and iron occurred in all waters used in study. In the therapeutic water the content of 14 microelements were the highest. Lowly-mineralized, medium-mineralized and highly-mineralized waters do not contain microelements in an amount which would allow for the physiological and nutri-

tionaleffects on theorganism. Additionally it has been proved that there is a strong positive correlation between the concentration of bromine and germanium ($R^2 = 0,993$).

Keywords: microelements, mineral water, bottled water, germanium

DOI:10.7862/rb.2016.286

Przesłano do redakcji: 10.07.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK¹

Agnieszka NIEMIEC²

Marek URBANIK³

STATE OF WATER SUPPLY INFRASTRUCTURE IN THE SUBCARPATHIAN CITIES

The characteristics of equipping the Subcarpathian province cities with water supply infrastructure was made on the basis of data collected from the Provincial Office, Statistical Office, reports submitted by water companies regarding the functioning of water supply infrastructure and literature data. The indicators characterizing water supply infrastructure were determined for the years 1995-2014. In the paper the indicators of equipping cities with water supply systems were presented. Also water consumption and changes in the length of the water supply network in the cities of the Subcarpathian Province were examined. The analysis shows that the water consumption for the years 1995-2014 decreased by almost 6 m³·year⁻¹ per capita. The reason for such situation was the increasing price of water and the ecological awareness of the inhabitants of the Subcarpathian region. In the last year of the analysis the water supply system in urban areas of the Subcarpathian province was used by 95% of the population and, for comparison, in rural areas by 77% of the population. In the paper also changes in prices for water in the Subcarpathian region were shown, on the basis of data from the water tariffs in individual water companies. The important element of urban development is the technical infrastructure which reduces the investment costs. The determined indicators of equipping cities with water supply systems show an upward trend in the development of technical infrastructure. Based on the operational data from the water companies the failure rates in selected water supply networks were determined.

Keywords: water consumption, water supply, water price, the development of water supply infrastructure, water network failure

1. Introduction

The Polish accession to the European Union contributed to the systematic development of the technical infrastructure, which results in the increase of technical infrastructure level, especially in less developed areas, including small

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Katarzyna Pietrucha-Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651703, kpiet@prz.edu.pl

² Agnieszka Niemiec, Politechnika Rzeszowska

³ Marek Urbanik, Politechnika Rzeszowska

towns. In recent times the significant changes associated with the development of water supply infrastructure can be noticed, which had a significant impact on developing water supply network, what is indicated in numerous works [2-8].

People always seek to improve their living standards in different areas of life. Undoubtedly one of the factors contributing to the improvement of living standards is a level of development of water supply infrastructure. Access to tap water will not only increase living standards, but also contributes to the attractiveness of the property, the development of new investments in given region and excludes the additional costs of investment in technical infrastructure [10, 11]. Water supply through collective water supply system should meet certain requirements, related, among others, to the quality and the appropriate pressure of delivered water.

The Subcarpathian Province was established in 1999 under the act on a three-tier administrative division of the country, through connecting three provinces: Rzeszow, Przemysl and Krosno and parts of Tarnow and Tarnobrzeg provinces. Subcarpathian covers an area of 18,000 km², about 6% of Polish territory and is inhabited by 2,129 million people (approx. 5,53% of the Polish population). Cities are inhabited by 41.35% of the total population. The analysis of the age and material structure of water supply system, depending on the size of the water supply system in Subcarpathian, was presented in the paper [1]. The oldest water supply pipelines are located in cities with more than 20 thousand residents, most pipes are over 26 years old, while 80% of all pipes are less than 25 years old and are in cities with 5 to 10 thousand residents. In the construction of water pipes dominate material of PE and PVC, in the large cities appears grey cast iron, previously used for constructing water supply systems, constituting 51% of the mains and 18% of the distributional pipes [1].

Ensuring proper level of water supply infrastructure development is an important factor in economic development in accordance with applicable regulations.

2. Equipping cities of the Subcarpathian province with water supply networks

In recent years there has been a significant increase in the length of water supply network in individual cities of the Subcarpathian province. It is due to rapid expansion of cities and increasing living standards. The increase in the length of the water supply system in urban areas in the years 1995-2014 amounted to 182% and for the whole Subcarpathian to 196% (approx. 1300 km). As a point of reference it was assumed that in 1995 the total pipe length was 100%.

The characteristic values related to the degree of equipping cities with water supply networks, depending on the number of inhabitants, are presented in Table 1.

Table 1. The average length of water supply network per one inhabitant in the cities of the Subcarpathian province in 2014

Tabela 1. Średnia długość sieci wodociągowej przypadającej na jednego mieszkańca w miastach województwa podkarpackiego w 2014 roku

Specification	Number of urban residents						Total
	poniżej 5000	5000-10000	10000-20000	20000-50000	50000-100000	powyżej 100000	
Total number of cities	20	14	7	6	3	1	51
Length of water supply network falling per one inhabitant, m·Mk ⁻¹	0,21	0,95	1,7	2,03	3,52	5,54	2,33

With the increase of the water supply network length the number of connections to buildings also increases. In the last year the network length falling per capita amounted to 3,25 m·Mk⁻¹, whereas the length of the water supply system per unit area was 25,01 m·ha (Fig. 1).

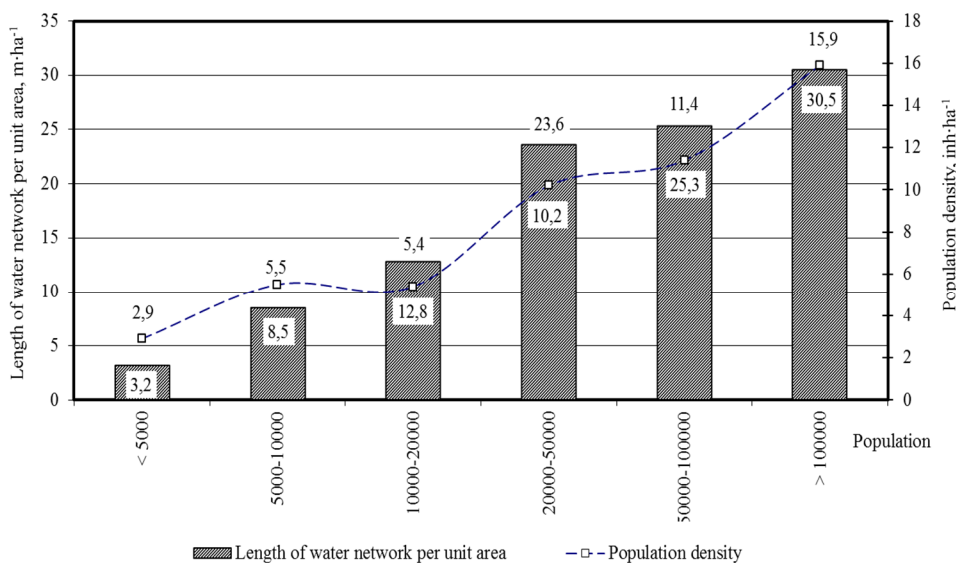


Fig. 1. Summary of the average length of water supply network per unit area and corresponding to it density of population in the cities of the Subcarpathian region in 2014

Rys. 1. Zestawienie średniej długości sieci wodociągowej przypadającej na jednostkę powierzchni oraz odpowiadającej im gęstości zaludnienia w miastach województwa podkarpackiego w 2014 roku

Both, the indicator of equipping with water supply network and the indicator of water use, are very useful in performing the analysis of prices and costs associated with the construction and the use of water supply network in cities with different numbers of inhabitants [3, 4]. The cities of with the longest length of the water distribution network in 2014 included: Rzeszów (536,9 km), Krosno (184,9 km), Tarnobrzeg (177 km), Mielec (170,3 km), Jasło (151,3 km), Przemyśl (149,7 km), Dębica (134,2 km), Nisko (104,2 km), Jarosław (103,6 km) and Sanok (100,1 km). For comparison, the cities with the shortest length of the water supply network included: Kołaczyce (4,1 km), Iwonicz Zdrój (4,4 km), Nowa Sarzyna (5,7 km), Lesko (6 km), Narol i Cieszanów (7,7 km), Dukla (9 km) oraz Oleszyce (9,1 km).

A clear indicator for describing the operation of water supply systems is the intensity of network load which can be determined as the average daily demand for water by the length of water supply network. In the cities of the Subcarpathian province it was $26,25 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ (fall from $65,79 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ in 1995), in comparison in rural areas it was $5,65 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ (Fig. 2).

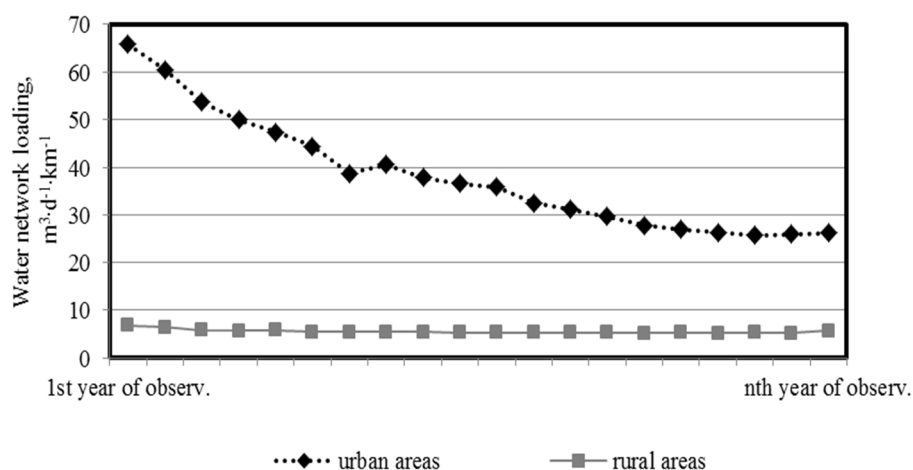


Fig. 2. Summary of the intensity of water network load in rural areas and in the cities in the years 1995-2014

Rys. 2. Zestawienie intensywności obciążenia sieci wodociągowej na obszarach wiejskich oraz w miastach w latach 1995-2014

Analysis of the dependence between number of inhabitants per 1 km of water supply network in the cities of the Subcarpathian region and the intensity of the network load showed an obvious correlation of 60%, confirming that the more residents the higher indicator of the intensity. By using this dependence, the level of water losses in the water supply system can be specified and the assessment of state of water supply in the given city compared to similar water supply systems, can be made.

3. Water consumption in the cities in the Subcarpathian region

The greatest impact on water consumption in households had the number of residents. Over the years, this dependence has changed depending on the equipping households with water facilities, such as dishwashers, washing machines, fittings. In recent years, a significant decrease in water consumption, caused by the increase of water price and the use of water saving equipment, is noticed. The average consumption of water in cities varied at the level 20,04-27,2 m³·M⁻¹·rok⁻¹. Such fluctuations in the levels of water consumption in cities are caused by rising prices of water and increasing operating costs of the whole water network. Habits of residents vary from year to year, which also results in fluctuations in the value of indicators of water consumed by residents for the living purpose. Changeability of the water consumption is also affected by other factors not directly related to human activities, such as seasons, holidays and temperature differences.

Different values of the indicators showing the use of water supply network in the cities of the Subcarpathian province are one of the causes of differentiated prices for water in rural areas and in the cities. The analysis shows that in the cities with a population of more than 100 000, the water consumption is significantly lower than in the small towns of less than 5 thousand residents (20 cities with an average water consumption per capita of 25,73 m³·M⁻¹·rok⁻¹). For the 14 cities with a population from 5 to 10 thousand, the average water consumption was 20,56 m³·M⁻¹·rok⁻¹.

With the increase in the development of water supply infrastructure in the Subcarpathian province cities the water consumption decreased. One of the reasons of such situation is the water price. Many cities explains the increases in water price by the significant investment of the infrastructure. The Constitutional Tribunal ordered the Members of the Polish Parliament to clarify the calculation for water charges. Considering the water price, Rzeszów, the largest city of Subcarpathian, ranks at the seventh place in the whole country, with a gross price of 4,28 zł·m⁻³. While the detailed analysis showed that in the last year of analysis the highest water prices are, among others, in the following cities in the Subcarpathian province: Rudnik nad Sanem - 9,59 zł·m⁻³, Zagórz - 8,95 zł·m⁻³, Sieniawa - 8,59 zł·m⁻³, Kańczuga - 8,56 zł·m⁻³, Cieszanów - 7,73 zł·m⁻³, Pruchnik - 7,59 zł·m⁻³, Iwonicz Zdrój, Narol - 6,59 zł·m⁻³, Dynów - 6,65 zł·m⁻³, Radymno - 6,59 zł·m⁻³. In turn, the lowest prices occur in Lubaczów (2,25 zł·m⁻³), Stalowa Wola (2,37 zł·m⁻³), Sokołów Małopolski (2,75 zł·m⁻³), Ropczyce (2,83 zł·m⁻³), Leżajsk (2,93 zł·m⁻³), Mielec (3,25 zł·m⁻³), Białzowa (3,26 zł·m⁻³), Lesko (3,45 zł·m⁻³), Jasło (3,55 zł·m⁻³), Dębica (3,62 zł·m⁻³). The water consumption in big cities is influenced by the water price, in small towns with up to 5,000 residents the price of cold water per 1m³ is higher than the price of water in cities with over 100 000 inhabitants, which is presented in Table 2.

Table 2. The average net price per 1m³ of water in the cities of the Subcarpathian province in 2014Tabela 2. Średnia cena netto za 1m³ wody w miastach województwa podkarpackiego w 2014 roku

Specification	Number of urban residents						Total
	poniżej 5000	5000-10000	10000-20000	20000-50000	50000-100000	powyżej 100000	
Total number of cities	20	14	7	6	3	1	51
Średnia cena za wodę (netto), zł·m ⁻³	5,81	4,49	3,11	4,20	2,40	3,96	4,00

Water consumption for various purposes in the cities of the Subcarpathian province varies throughout the period of analysis, which in case of individual sectors of the economy is due to economical water and sewage management in industrial plants, so the introduction of closed water circuits, the recession of the economy and the closure of unprofitable (often water-absorbing) industrial plants, as well as the environmental protection requirements, which force the industrial plants to use the environment friendly technology. The water consumption for industry underwent fluctuations throughout the analysed period, in the last year of analysis it amounted to 19302 dam³·a⁻¹ (the average increase of 22% compared to the first year of the analysis). Similar situation occurred in the case of water used for agriculture and forestry, despite large fluctuations in water consumption, the average increase in the last year of analysis was 40% and the water consumption in 2014 amounted to 42222 dam³·a⁻¹. On the other hand, the consumption of water for the operation of the water supply network has fallen to value of 60627,2 dam³·a⁻¹, a decrease of 17%.

4. Percentage of people with access to water supply network in the cities of the Subcarpathian province

With the increase in population, urbanization and fast economic development the demand for water increases. In the last year of analysis the indicator of the access to water supply network was 96.8%. There was a significant increase in number of people who use the water supply system in comparison to 1995 when the indicator was 84%. The cities where almost 100% of people have the access to water supply network are: Przecław, Brzostek, Lubaczów, Nowa Dęba. In Sieniawa, Głogów Małopolski, Iwonicz-Zdrój, Łańcut, the access to the water supply network had 99,95%. The cities with the smallest number of the population having access to water supply network were: Dynów (44,01%), Rymanów (4,48%), Jedlicze (54,49%), Radymno (58,64%), Rudnik on San (67,23%), Nisko (77,73%), Strzyżów (78,29%). Providing the residents safe water for con-

sumption is not an easy process and requires a large involvement of operators in the efficient management and, among others, the renovation of old water pipes. The reason for the connection to a public municipal water supply system even the smallest households, that often have individual underground water well, can be depletion of small water sources which can often be caused by weather conditions or improving the material conditions of the residents. More and more new housing estates and houses are being built in the outskirts of cities, which affects the need to build new water supply networks.

5. Failure frequency of water supply network

In the figures 3-4 the number of failures that occurred in the distributional pipes were summarized, referring the number of failures to the length of the water network [9]. Eight water supply systems were distinguished in Subcarpathian Province with different population: 6 thousand residents (a), 47 thousand residents (b), 47 thousand residents (c), 67 thousand residents (d), 181 thousand residents (e), 40 thousand residents (f), 113 thousand residents (g) (the available data concern only distribution network), 18 thousand residents (h), 62 thousand residents (i).

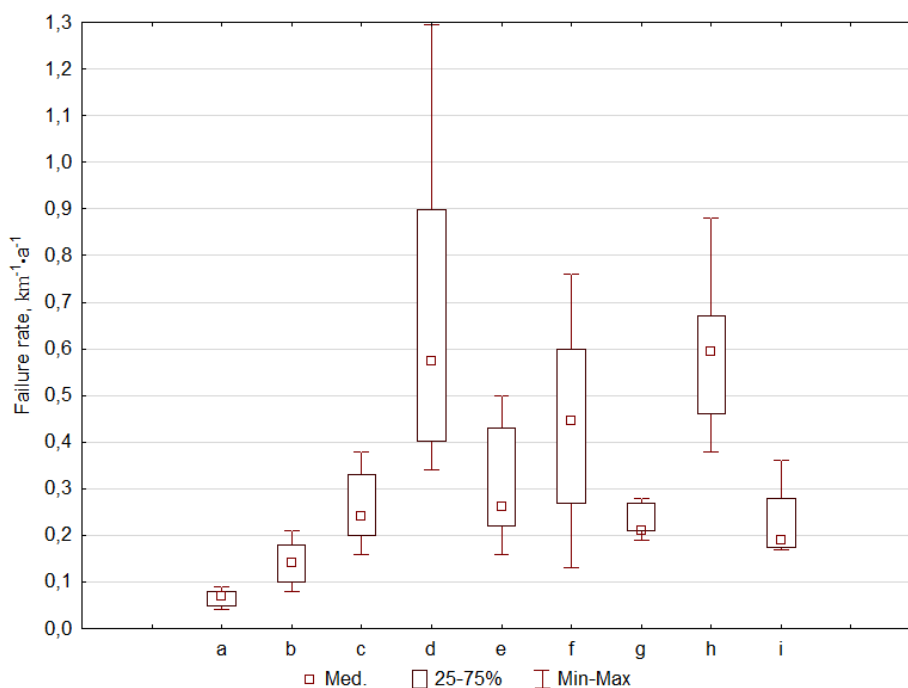


Fig. 3. The failure rate for the distribution network λ_R

Rys. 3. Zestawienie wskaźnika intensywności uszkodzeń dla przewodów rozdzielczych λ_R

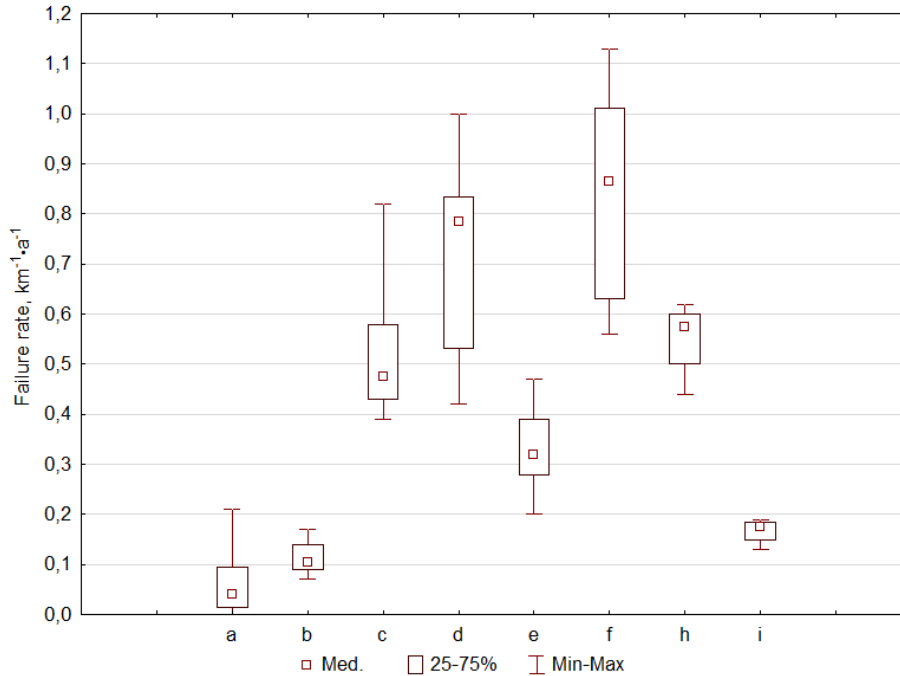


Fig. 4. The failure rate for the water connections λ_P

Rys. 4. Zestawienie wskaźnika intensywności uszkodzeń dla przyłączy wodociągowych λ_P

The values of failure rates for distributional pipes λ_R slightly differ from the criteria values proposed in the studies [12]. For water supply connections the failure rates are at a satisfactory level. The detailed analysis of failures showed that the failure rate for water supply connections show a downward trend. In the last year of analysis in selected cities the values of failure rates for the distribution network were as following: $0,16 \text{ km}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (e), $0,38 \text{ km}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (c), $0,375 \text{ km}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (d), $0,19 \text{ km}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (f), $0,18 \text{ km}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ (e) and remained at a satisfactory level.

6. Conclusion

The decrease in water consumption was mainly due to the rising price of water, as well as increasing environmental awareness of people, who, for several years, pay more attention to the ecology. Lower water consumption makes it difficult to conduct the forecasting of water supply. However, in order to reduce the consequences of changes in water quality in the network, due to extension of the time of water flow, the companies take various countermeasures, including, among others, the rinsing of water supply network. Larger water consumption for rinsing the water supply system contributes to the increase in production costs and charges for water services.

The rapid development of water supply infrastructure in the Subcarpathian region encourages investors to make new investments. The significant expansion of water supply infrastructure in the cities of the Subcarpathian province occurs due to the connecting the adjacent areas to the cities and the expansion of existing cities or building the new ones, so connecting the new buildings to the water supply network.

Literature

- [1] Bergel T., Kaczor G., Bugajski P., Stan techniczny sieci wodociągowej w małych wodociągach województwa podkarpackiego i małopolskiego, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3/IV/2013, s. 291-304.
- [2] Dohnalik P., *Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych*, Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, Bydgoszcz 2000.
- [3] Dymaczewski Z., Sozański M.M. *Wodociągi i kanalizacja w Polsce tradycja i współczesność*, Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, Poznań-Bydgoszcz 2002.
- [4] Dziembowski Z., *Poradnik wodociągi i kanalizacja. Ekonomika wodociągów i kanalizacji, Część IV*, Wyd. Arkady, Warszawa 1971.
- [5] Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona środowiska, Roczniki statystyczne za lata 1995-2014*.
- [6] Heidrich Z., Jędrzejkiewicz J.: *Analiza zużycia wody w miastach polskich w latach 1995-2005*. *Ochrona Środowiska 2007*, vol. 29, nr 4, s. 29-34.
- [7] Kłos-Trębakiewicz H., Osuch-Pajdzińska E., *Wybrane wskaźniki charakteryzujące wodociągi w dużych miastach polskich w latach 2005-2008*, *Gaz, Woda, Technika Sanitarna*, nr 3/2010, s. 7-15.
- [8] Kwietniewski M., Rak J., *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*, PAN, Warszawa 2010.
- [9] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczekiewicz H.: *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*. Arkady, Warszawa 1993.
- [10] Pietrucha-Urbanik K., Bernacka A.: *Analysis of Water Infrastructure Development - a Case Study of the Exemplary Water Supply System*. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, z. 63, nr 2/I/2016, s. 221-230. DOI: 10.7862/rb.2016.124.
- [11] Rak J., Pietrucha-Urbanik K. *New directions for the protection and evolution of water supply systems - smart water supply*. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture. JCEEA*, z. 62, nr 3/I/2015, pp. 365-373. DOI: 10.7862/rb.2015.121.
- [12] Rak J.: *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*. *Komitet Inżynierii Środowiska PAN*. t. 28, 2005.

STAN INFRASTRUKTURY WODOCIĄGOWEJ MIAST WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono charakterystykę wyposażenia miast województwa podkarpackiego w infrastrukturę wodociągową, sporządzoną na podstawie analizy danych zebranych z Urzędu Wojewódzkiego, Banku Danych Lokalnych Urzędu Statystycznego, sprawozdań składanych przez przedsiębiorstwa wodociągowe dotyczących funkcjonowania infrastruktury wodociągowej oraz danych literaturowych. Wyznaczono wskaźniki charakteryzujące infrastrukturę wodociągową dla lat 1995-2014. W pracy omówiono wskaźniki zwodociągowania województwa podkarpackiego. Dokonano również analizy zużycia wody oraz zmian długości sieci wodociągowej w miastach województwa podkarpackiego. Z przeprowadzonej analizy wynika, że zużycie wody na przestrzeni lat 1995-2014 spadło o niemal $6 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ na jednego mieszkańca. Na przyczynę takiej sytuacji miała rosnąca cena za wodę oraz świadomość ekologiczną mieszkańców województwa podkarpackiego. W ostatnim roku analizy z sieci wodociągowej na terenie miast województwa podkarpackiego korzystało ponad 95% mieszkańców w miastach, a dla porównania 77% procent na obszarach wiejskich. W pracy przedstawiono również analizę zmian cen za wodę na terenie województwa podkarpackiego na podstawie danych pochodzących z taryf opłat za wodę w poszczególnych przedsiębiorstwach wodociągowych. Ważnym elementem rozwoju miast jest uzbrojenie w infrastrukturę techniczną, co wpływa na obniżenie kosztów realizacji inwestycji. Wyznaczone wskaźniki zwodociągowania miast województwa podkarpackiego wykazują tendencję wzrostową w zakresie rozwoju infrastruktury technicznej.

Słowa kluczowe: zużycie wody, wodociągi, cena wody, rozwój infrastruktury wodociągowej

DOI:10.7862/rb.2016.287

Przesłano do redakcji: 1.10.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Patrycja PRAŻMO¹
Miłosz SZEWCZYK²
Sławomir GUŁKOWSKI³

POMIAR CHARAKTERYSTYKI PRĄDOWO-NAPIĘCIOWEJ OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO METODĄ POJEMNOŚCIOWĄ W WARUNKACH OŚWIETLENIA SZTUCZNEGO

Charakterystyka prądowo-napięciowa to podstawowa forma prezentacji parametrów elektrycznych ogniwa fotowoltaicznego. Wykres krzywej I-V modułu PV zmienia się w ciągu dnia w zależności od natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury modułu.

Artykuł przedstawia pomiary krzywych I-V w warunkach oświetlenia sztucznego wykonanych autorskim urządzeniem. W skład układu pomiarowego oprócz urządzenia wchodził również komputer sterujący wraz z oprogramowaniem Arduino w celu kontroli procesu pomiaru oraz zapisu odczytu danych do pliku. Spośród różnych dostępnych metod pomiarowych do realizacji urządzenia wybrano metodę pojemnościową wykorzystującą proces ładowania kondensatora do zmiany rezystancji układu od zera do nieskończoności. Taka metoda pomiaru nie umożliwia odtworzenia krzywej od punktu zwarcia i wymaga ekstrapolacji wyników, natomiast wykorzystuje ona stosunkowo łatwy w konstrukcji układ elektroniczny a także nie jest ona kosztowna. Urządzenie mierzy napięcie poprzez wbudowany konwerter ADC porównując badane napięcie z napięciem referencyjnym oraz natężenie prądu w obwodzie wykorzystując czujnik natężenia oparty o efekt Halla. W pracy porównano rezultaty pomiarów dla dwóch różnych typów ogniw fotowoltaicznych: polikrystalicznego i monokrystalicznego ogniwa krzemowego. Otrzymane wyniki zaprezentowano w formie wykresów. Porównano na nich wyniki dla kilku pomiarów oraz wartości uśrednionych. Porównano obliczone wartości współczynnika wypełnienia, który określa stosunek mocy maksymalnej ogniwa rzeczywistego do mocy maksymalnej ogniwa idealnego z danymi podanymi przez producenta.

Słowa kluczowe: krzywa I-V, moduł fotowoltaiczny, metoda kondensatorowa, warunki wewnętrzne

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Patrycja Prażmo, Politechnika Lubelska, Instytut Odnawialnych Źródeł Energii, ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin; tel. 793051585; pprazmo.lub@gmail.com

² Miłosz Szewczyk, Politechnika Lubelska, Instytut Odnawialnych Źródeł Energii, ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin; milosz.szewczyk@gmail.com

³ Sławomir Gułkowski, Politechnika Lubelska, Instytut Odnawialnych Źródeł Energii, ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin; tel 81 538 46 54, s.gulkowski@pollub.pl

1. Wprowadzenie

Jednym z największych wyzwań przemysłu energetyki słonecznej jest redukcja kosztu produkcji energii z generatorów PV. Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na całkowity koszt oraz żywotność instalacji jest sprawność modułów fotowoltaicznych a także czas degradacji ich mocy. Aby sprawdzić wydajność modułu oraz oszacować jej zmianę w czasie należy dokonać pomiaru charakterystyki prądowo napięciowej.

1.1. Charakterystyka prądowo-napięciowa

Sprawność modułu PV definiujemy jako moc generowaną przez ogniwo (P_m) podzieloną przez iloczyn natężenia oświetlenia oraz pola powierzchni czynnej modułu [1].

$$\eta = \frac{P_m}{I_{rr} \cdot S} * 100\% \quad (1)$$

gdzie: P_m - punkt mocy maksymalnej (MPP – ang. Maximum Power Point) [W],

I_{rr} – natężenie promieniowania [W/m^2],

S – pole powierzchni czynnej modułu [m^2].

Moc maksymalną ogniwa rzeczywistego (P_m) możemy obliczyć ze wzoru:

$$P_m = I_m U_m \quad (2)$$

gdzie : I_m , U_m , prąd oraz napięcie w punkcie mocy maksymalnej [1].

Natężenie maksymalne I_m oraz napięcie maksymalne U_m są wartościami dla których w danej chwili moc generowana przez ogniwo jest maksymalna. Wraz ze wzrostem temperatury parametry charakterystyki I-V ulegają zmianie. Rośnie prąd zwarcia i maleje napięcie obwodu otwartego, a więc maleje moc maksymalna. Wartość wytwarzanej mocy zależy proporcjonalnie od natężenia promieniowania co wykazuje wzór (1).

Wyznaczenie punktu mocy maksymalnej jest kluczowe dla wyznaczenia współczynnika wypełnienia FF (ang. Fill Factor) obliczany ze wzoru [2]:

$$FF = \frac{I_m U_m}{I_{sc} U_{oc}} \quad (3)$$

Określa on stosunek mocy maksymalnej ogniwa rzeczywistego do mocy maksymalnej ogniwa idealnego,

gdzie: I_{sc} – prąd zwarcia [A],

U_{oc} – napięcie obwodu otwartego [V] [2].

Na podstawie wzoru (1) i (3) możemy wyprowadzić zależność:

$$\eta = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot U_{oc}}{I_{rr} \cdot S} * 100\% \quad (4)$$

gdzie: FF – współczynnik wypełnienia,

I_{sc} – prąd zwarcia [A],

U_{oc} – napięcie obwodu otwartego [V],

I_{rr} – natężenie promieniowania padającego na ogniwo [W/m^2],

S – pole powierzchni czynnej modułu [m^2].

Powyższe parametry pracy modułu odczytywane są z wykresu charakterystyki prądowo-napięciowej. Dla ogniwa idealnego ma ona kształt prostokątny o bokach I_{sc} (prądu zwarcia) oraz U_{oc} (napięcia obwodu otwartego), natomiast dla ogniwa rzeczywistego przyjmuje kształt krzywej przechodzącej przez punkty I_{sc} , U_{oc} oraz MPP.

1.2. Metody pomiaru charakterystyk I-V

Najprostszą metodą wykreślenia krzywej prądowo-napięciowej jest metoda zmiennego oporu, w której punkty charakterystyki od obwodu otwartego do obwodu zwartego otrzymuje się poprzez stopniową zmianę wartości oporu od zera do nieskończoności [3]. Metoda ta sprawdza się tylko w przypadku modułów o niskiej mocy. Nie umożliwia ona osiągnięcia punktu zwarcia. Metoda ta jest niedokładna ze względu na zmieniające się warunki atmosferyczne oraz ze względu na fakt, iż wzrasta temperatura modułu.

Innymi znanymi metodami pomiaru są [4]:

- Metoda pojemnościowa;
- Metoda z użyciem zasilacza czterokwadrantowego;
- Metoda z użyciem konwertera DC-DC;
- Metoda tranzystorowa.

Metody te różnią się w zakresie wielu parametrów takich jak elastyczność metody, modularność, dokładność, szybkość oraz koszt urządzenia co porównano w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie metod pomiaru charakterystyki I-V

Table 1. Comparison of methods the I-V measurement

Metoda pomiaru	Elastyczność	Modułowość	Dokładność	Szybkość reakcji	Koszt
Metoda pojemnościowa	niska	średnia	średnia	niska	niski
Czterokwadrantowy zasilacz mocy	wysoka	wysoka	wysoka	wysoka	wysoki
Konwerter DC-DC	średnia	wysoka	wysoka	wysoka	niski
Metoda tranzystorowa	wysoka	niska	średnia	średnia	średni

Metoda pojemnościowa została wybrana przy konstrukcji urządzenia pomiarowego ze względu na niski koszt oraz stosunkowo prostą konstrukcję układu elektronicznego.

2. Opis procedury badawczej

Układ pomiarowy przedstawiony na rys 1. składał się ze źródła światła (lampy halogenowej o mocy 1000W), badanego modułu fotowoltaicznego (polikrystalicznego o mocy 10W oraz monokrystalicznego o mocy 13W), autorskiego urządzenia pomiarowego bazującego na metodzie pojemnościowej pomiaru charakterystyki I-V modułu, komputera oraz dodatkowego miernika napięcia.



Rys. 1. Układ pomiarowy do badania charakterystyki I-V modułu polikrystalicznego o mocy 10W

Fig. 1. The measuring circuit for testing the I-V characteristics of the 10W polycrystalline module

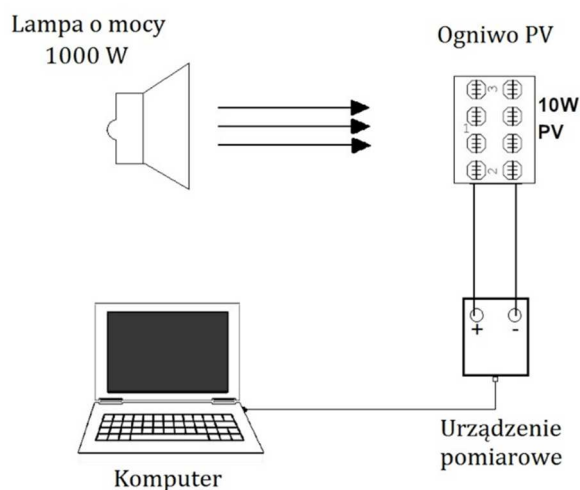
Rys. 2. Autorskie urządzenie pomiarowe do badania charakterystyki I-V

Fig. 2. Self-made measuring device for testing the I-V characteristics

W autorskim urządzeniu pomiarowym przedstawionym na rysunku 2 wykorzystano kondensatory elektrolityczne. Ponieważ kondensatorów tego typu nie można naładować ujemnie urządzenie nie generowało początkowego fragmentu krzywej I-V (punktów przy I_{sc}).

Rysunek 3 przedstawia schemat pracy układu pomiarowego. W trakcie pomiarów od obwodu zwartego do obwodu otwartego następuje ładowanie kondensatora. Gdy napięcie wzrasta a natężenie maleje aż do zera obwód osiąga punkt obwodu otwartego. Po dokonaniu pomiaru kondensator rozładowywany jest przez rezystory. Pomiar napięcia dokonywany jest poprzez wbudowany konwerter analogowo-cyfrowy, który porównuje badane napięcie z napięciem

referencyjnym a następnie podaje dyskretną wartość (zależną od rozdzielczości konwersji bitowej). Pomiar natężenia prądu realizowany jest poprzez zbadanie efektu Halla czujnikiem natężenia ASC712 tj. poprzez określenie napięcia Halla powstającego ze względu na działanie siły Lorentza.

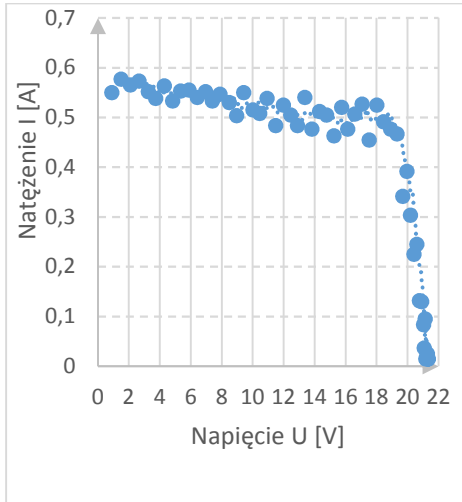


Rys. 3. Schemat układu pomiarowego

Fig. 3. Diagram of the measuring circuit

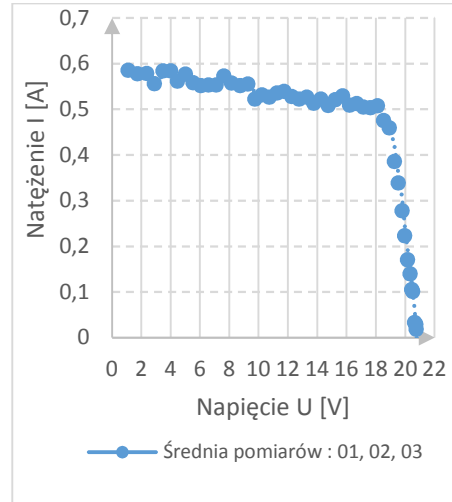
3. Wyniki badań i ich analiza

Rezultaty pomiarów dla krzemowego ogniwa polikrystalicznego o mocy 10W zostały przedstawione za pomocą wykresów na rys. 4 i rys. 5. Rysunek 4 przedstawia charakterystykę prądowo-napięciową utworzoną z kolejno uśrednionych dwóch sąsiednich, odczytanych przez urządzenie punktów oraz okresowo średnią linię trendu. Na rysunku 5 została zaprezentowana uśredniona charakterystyka wykonana z trzech różnych pomiarów. Na rysunku 6 i 7 zaprezentowano charakterystykę prądowo-napięciową ogniwa monokrystalicznego o mocy 13W. Na wykresie z rys. 7 nie zastosowano uśredniania kolejnych punktów pomiarowych. Rysunek 8 przedstawia, analogicznie jak rysunek 5, średnią trzech różnych pomiarów dla ogniwa monokrystalicznego. Otrzymane wykresy prezentują poprawny kształt krzywej I-V. Na wykresach widoczne są fluktuacje zwłaszcza z zakresie pomiaru natężenia. Wahania te zmniejszają się na wykresach uśrednionych charakterystyk dla różnych pomiarów (Rys.5, Rys.7).



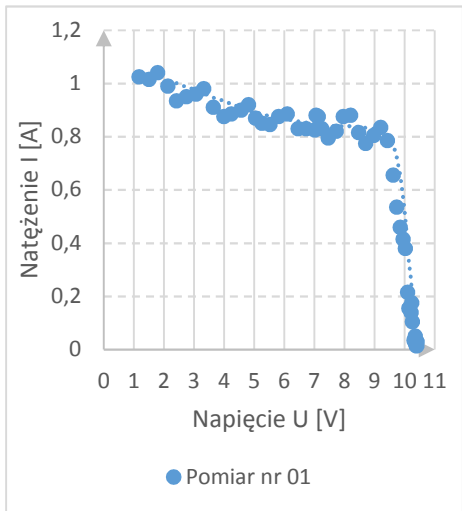
Rys. 4. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa polikrystalicznego o mocy 10W

Fig. 4. I-V characteristics of 10 W PV module



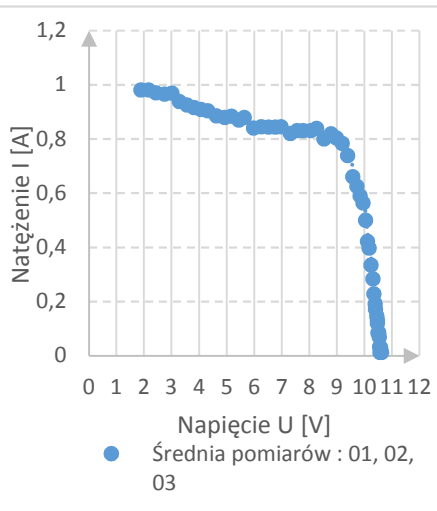
Rys. 5. Charakterystyka prądowo napięciowa po uśrednieniu trzech kolejnych pomiarów dla ogniwa polikrystalicznego o mocy 10W

Fig. 5. The average characteristics of the three measurements for 10W PV module



Rys. 6. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa monokrystalicznego o mocy 13W

Fig. 6. I-V characteristics of 13 W PV module



Rys. 7. Charakterystyka prądowo napięciowa po uśrednieniu trzech kolejnych pomiarów dla ogniwa monokrystalicznego o mocy 13W

Fig. 7. The average characteristics of the three measurements for 13W PV module

Na podstawie otrzymanych wyników obliczono współczynnik wypełnienia FF - wzór (2) dla obu ogniw co przedstawiono w tabeli (Tabela 2).

Tabela 2. Porównanie wyników pomiarów z danymi producenta

Table 2. Comparison of the results of measurement with data from the manufacturer

Wartość	Ogniwo polikrystaliczne – dane od producenta	Ogniwo polikrystaliczne – otrzymane wyniki	Ogniwo monokrystaliczne – dane od producenta	Ogniwo monokrystaliczne – otrzymane wyniki
P_m	10 W	9,35 W	13 W	8.41 W
I_{sc}	0.68 A	0.637 A	1.6 A	1.06 A
U_{oc}	21.0 V	21.07 V	10.8 V	11.03 V
I_m	0.6 A	0.512 A	1.44 A	0.86 A
U_m	16.8 V	18.27 V	9.0 V	9.78 V
FF	0.706	0.697	0.750	0,719

Uzyskane wyniki zostały porównane z danymi z tablic znamionowych producenta. Parametry I_m , U_m , I_{sc} , U_{oc} różnią się od danych katalogowych. Przedstawione w tabeli 2 obliczone współczynniki FF odbiegają od podanych przez producenta. Różnica ta jest większa dla ogniwa krzemowego monokrystalicznego. Jest to spowodowane przede wszystkim warunkami pomiarów które nie były prowadzone w warunkach standardowych (STC ang. Standard Testing Conditions). Natężenie oświetlenia otrzymane z lampy jest niższe niż 1000 W/m^2 . Urządzenie zmierzyło dużo niższe natężenia prądów (zwłaszcza w przypadku ogniwa monokrystalicznego) niż te które znajdowały się na tablicach znamionowych badanych modułów. Jednocześnie dla ogniwa monokrystalicznego różniły się one w większym stopniu niż dla ogniwa polikrystalicznego, przy czym pomiar dla ogniwa monokrystalicznego był stabilniejszy.

4. Wnioski

Zmierzono charakterystyki prądowo-napięciowe krzemowego polikrystalicznego i monokrystalicznego modułu fotowoltaicznego za pomocą autorskiego urządzenia pomiarowego. Odczytano wartości prądu zwarcia, napięcia obwodu otwartego oraz wartości natężenia i napięcia maksymalnego.

Obliczono wartość współczynników FF a rezultaty porównano z wartościami podanymi przez producenta. Wywnioskowano, iż wartości te różnią się, zwłaszcza w zakresie zmierzonego natężenia prądu, a wyniki są mniej dokładne zwłaszcza dla ogniwa monokrystalicznego.

Na tej podstawie można przypuszczać, że:

- Należy konfigurować oprogramowanie urządzenia dla różnych typów ogniw w zależności od wysokości generowanych przez nie prądów.
- Pomiarów charakterystyk ogniw niewielkiej mocy obciążone są relatywnie dużą niepewnością pomiarową. W celu pomiaru krzywych I-V modułów małej mo-

cy należałoby zmodyfikować urządzenie poprzez wymianę układu kondensatorów na jeden kondensator o większej pojemności, a także dobrać dzielniki napięcia oraz czujnik Halla w taki sposób, by wyniki maksymalnych pomiarów były zbliżone do napięcia referencyjnego czujników co pozwoliłoby na znacznie dokładniejszy odczyt danych.

- Urządzenie można stosować do pomiaru modułów o większej mocy z większą dokładnością pomiaru.

Literatura

- [1] Chwiedziuk D.: Energetyka słoneczna budynku. Arkady, Warszawa 2011.
- [2] Lorenzo E.: Solar Electricity. Engineering of Photovoltaic systems. Progensa, 1994.
- [3] Nelson J.: The Physics of Solar Cells. Imperial College Press, 2003.
- [4] Durán E.: Different methods to obtain the I-V curve of PV modules: a review. IEEE, 2008.
- [5] Krawczak E., Gułkowski S., Olchowik J.M.: Badanie efektywności pracy fotowoltaicznego systemu „off-grid” w warunkach zimowo-wiosennych dla Lubelszczyzny, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), 2014, s. 317-328, DOI:10.7862/rb.2014.98.

I-V CHARACTERISTIC MEASUREMENT OF PV MODULES USING THE CAPACITIVE LOAD METHOD IN INDOOR CONDITIONS

Summary

Current and voltage characteristics is the basic form of presentation of the electrical parameters of the photovoltaic cell. Chart I-V curve of the module varies throughout the day depends on the intensity of solar radiation and temperature of module.

The article presents measurements of I-V curves under artificial lighting made by self-designed device. The measurement system also included the control computer with Arduino software to control the process of measuring and recording the read data to the file. Among the various measuring methods was chosen a capacitive load method, which uses charging the capacitor to change the resistance from zero to infinity. This method of measurement cannot restore the curve from the short-circuit current point and requires extrapolation. The device measures the voltage via the integrated ADC when comparing measured voltage with a reference voltage and current in the circuit using the intensity sensor based on the Hall effect. The study compares the results of measurements for two different types of photovoltaic cells: polycrystalline and monocrystalline silicon cell. The results are presented in graphs and compared to the results of several measurements and average values.

Keywords: I-V curve, photovoltaic module, capacitive method, indoor conditions

DOI:10.7862/rb.2016.288

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Angelika RACZAK¹
Barbara MARKIEWICZ²
Magdalena BATKO³

KONTROWERSJE WOKÓŁ PIERZEI ULICY 3 MAJA W RZESZOWIE – ANALIZA WYBRANYCH KAMIENIC

Tematem artykułu była ocena wartości historycznej i artystycznej wybranych kamienic usytuowanych przy ulicy 3 Maja w Rzeszowie. Została przedstawiona historia ulicy i zmiana jej znaczenia na przestrzeni ponad 300 lat. Szczegółowo pod względem konstrukcji, kolejnych przebudów i pełnionych funkcji zostały opisane kamienice nr 3, 13 i 20, które zdaniem autorek przeszły największą metamorfozę. Zostały również przeprowadzone badania terenowe i wykonana dokumentacja fotograficzna. Obecny stan omówionych kamienic został poddany ocenie pod względem architektonicznym i kulturowym. Na ich przykładzie odniesiono się do ogólnych tendencji występujących w dzisiejszej polskiej architekturze, które według autorek budzą kontrowersje. Dodatkowo przeprowadzono ankietę na temat zainteresowania ochroną zabytków znajdujących się wzdłuż ulicy 3 Maja wśród studentów i doktorantów Politechniki Rzeszowskiej. Wyniki ankiety przedstawiono w postaci wykresów słupkowych i również omówiono.

Słowa kluczowe: ulica 3 Maja w Rzeszowie, architektura Rzeszowa, rzeszowskie kamienice

1. Cel i przyjęta metodyka

Celem niniejszej pracy była ocena wartości historycznej i artystycznej wybranych kamienic usytuowanych przy ulicy 3 Maja w Rzeszowie. Szczególną uwagę poświęcono analizie następujących kamienic: nr 3, 13, 20, gdyż według autorek właśnie te kamienice najbardziej zmieniały się pod względem wyglądu i pełnionych funkcji w przeciągu kilkudziesięciu ostatnich lat.

Metodyka badań obejmowała studia historyczne i kwerendy archiwalne miasta Rzeszowa. Przeprowadzono także badania terenowe oraz ankietę wśród stu-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Angelika Raczak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; angelikaraczak@prz.edu.pl

² Barbara Markiewicz, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; bmarkiewicz@stud.prz.edu.pl

³ Magdalena Batko, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; magdalenabatko89@gmail.com

dentów i doktorantów odnośnie oceny kamienic ulicy 3 Maja. Wykonano przegląd stanu dotychczasowej dokumentacji oraz inwentaryzację fotograficzną obiektów. Dokonano oceny walorów widokowych, kompozycyjnych i przestrzennych.

2. Tło historyczne

Ulica 3 Maja to jedna z najbardziej znanych i reprezentacyjnych ulic na terenie miasta Rzeszowa. Rozpoczyna się od Placu Farnego, gdzie krzyżuje się z ulicą Kościuszki, która prowadzi do Rynku. Dalej krzyżuje się z trzema innymi ulicami, tj. Dymnickiego, Fircowskiego i Alsa oraz jedną z głównych ulic czyli ulicą Jagiellońską. Kończy swój bieg na rozwidleniu ulicy Zamkowej i alei Lubomirskich. Łącznie ulica 3 Maja ma długość ok. 350m. Wzdłuż ulicy usytuowanych jest ok. 20 kamienic, kościół p.w. Świętego Krzyża, I Liceum Ogólnokształcące, a także oddział banku PKO S.A. Na ulicy znajdują się również dwa pomniki, tj. Stanisława Konarskiego oraz Tadeusza Nalepy. Swoją nazwę w przeciągu wieków zmieniała kilkakrotnie. Początki jej istnienia sięgają lat pięćdziesiątych XVII wieku, kiedy to była znana pod nazwą „Pijarska” (*Ku Pijarum Scholarum*). Kolejne nazwy to: „Popijarska” od 1786 roku, „Pańska” (*Herrengasse*), od 1828 roku oraz „Paniaga”. Obecną nazwę ulicy nadano w 1891 roku w czasie obchodów 100 rocznicy Konstytucji 3 Maja. W okresie II Wojny Światowej nazywana była „Szeroką” (*Breitestraße*) [3].

Sięgając czasów najdawniejszych, w miejscu obecnej ulicy przebiegała droga prowadząca na Węgry i do Strzyżowa, która wychodziła z Placu Farnego poza miasto.

W 1354 r. król Kazimierz Wielki nadał prawa miejskie osadzie znajdującej się na terenie dzisiejszego miasta Rzeszowa, jednak nie włączono w nie terenów ulicy 3 Maja. Małe drewniane domki umieszczone były tylko do połowy ulicy, a cała okolica była pokryta bagnami.

Na początku 1600 r. Mikołaj Spytka Ligęza wprowadził znaczące zmiany, między innymi rozpoczął budowę Zamku. Przyczyniło się to do wzrostu znaczenia drogi na południe, która łączyła centrum z nową siedzibą królów.

W połowie XVII w. Rzeszów został przekazany w ręce Lubomirskich i odtąd miasto zaczęło pełnić funkcję artystyczną i kulturową. Około 1654 r. Jerzy Sebastian Lubomirski założył kolegium Pijarów, wykorzystując do tego celu budynki powstałe w latach 1642-1646, w których miał znajdować się klasztor sióstr Bernardynek. Rzeszowska szkoła szybko zyskała renomę, a jej wychowankami byli zarówno młodzi szlachcice, jak i mieszczenie.

W XVII wieku wybudowano wieżę farną, zaprojektowaną przez Jana Chrzyciela Belotti'ego, która pełniła funkcję bramy do cmentarza. Do końca XVIII w. nie wprowadzono już żadnych znaczących zmian w zabudowie, gdzie przeważały małe parterowe domki (Rys. 1).



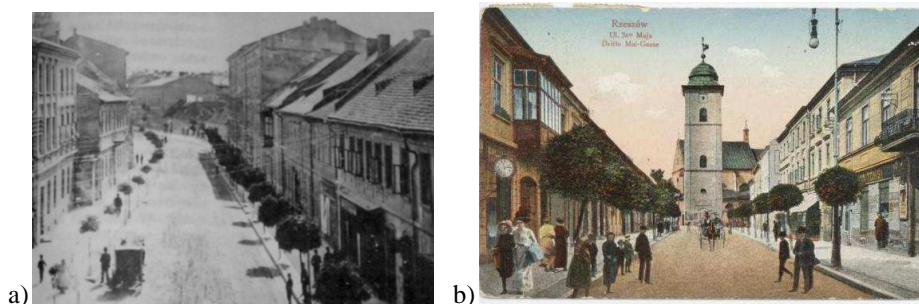
Rys. 1. Widok Rzeszowa z 1762 r. wg planu K. H. Wiedemanna [8]

Fig. 1. View of Rzeszów in 1762 by K.H. Wiedemann [8]

Po I rozbiórce Polski, po wprowadzeniu nowych przepisów przeciwpożarowych, parterowe domy drewniane zastąpiono dwukondygnacyjnymi murowanymi. Na zapleczach pojawiły się oficyny i budynki gospodarcze, które tworzyły podwórko z wejściem od strony ulicy.

Długo ulice Rzeszowa były oświetlane lampami naftowymi, dopiero w 1900 r. pojawiły się lampy gazowe, a 11 lat później - lampy elektryczne. W 1878 r. położono na ulicy nową nawierzchnię i chodniki oraz wybudowano instalację kanalizacyjną.

Okres I wojny światowej przyniósł wiele strat mienia publicznego: szkoły, nawierzchnie i elementy ulic. Z kościoła farnego zdarto nawet miedziany dach. Odbudowa trwała długo i związana była z dużymi kosztami. W okresie międzywojennym mieszkańcy skarżyli się na zanieczyszczenia obecne na głównej ulicy. Do roku 1922 obowiązywał w Rzeszowie ruch lewostronny (Rys. 2).



Rys. 2. Ulica 3 Maja na początku XX w. a) [3]; b) [9]

Fig. 2. 3rd May Street at the beginning of the 20th century a) [3]; b) [9]

W czasie II wojny światowej lokalne władze dążyły do ujednoczenia wyglądu miasta Rzeszowa, typowego dla niemieckich miast. Wydawane zarządzenia narzucały wygląd fasad, witryn sklepowych i wywieszek. Duże zniszczenia nastąpiły w czasie bitwy o Rzeszów (03.07. – 02.08.1944), kiedy to uszkodzono południową wieżę kościoła Św. Krzyża. Niemcy podpalili kamienicę starej poczty i fundacji Alsów oraz zdevastowali kamienicę naprzeciwko Banku Polskiego (Rys. 3).



Rys. 3. a) Kamienica starej poczty; b) Gruzy kamienicy po pożarze w 1944 r. [3]

Fig. 3. a) The old postoffice building; b) Debris from the building after the fire in 1944 [3]

Lata 50. i 60. przyniosły kolejne zmiany. Władze zdecydowały się unowocześnić wygląd kamienic i nadać im nowe funkcje. Całkowicie przebudowano budynek dawnej Komunalnej Kasy Oszczędnościowej i otwarto tam „Delikatesy” oraz kawiarnię „Kosmos” (Rys. 4a). W 1956 r. wybudowano najstarsze dziś kino w Rzeszowie – „Zorza” (Rys. 4b).



Rys. 4. a) Kawiarnia „Kosmos” [1, 11]; b) Kino „Zorza” [9]

Fig. 4. a) The „Kosmos” (Universe) café [1,11]; b) The „Zorza” (Dawn) cinema [9]

Lata 70. i 80. są okresem, do którego mieszkańcy Rzeszowa najchętniej wracali pamięcią na różnego rodzaju forach i stronach poświęconych dawnemu wyglądowi miasta. Najczęściej wspomniane były sklepy: „Telimena”, „Cepe-lia”, „Delikatesy”, WPHW- Wojewódzkie Przedsiębiorstwo Handlu Wewnętrz- nego (kamienica nr 10), restauracje: „Hanka”, Bar Mleczny „Centralny” (3 Maja 6 – 8), „Kosmos”, cukiernia „Wawel” oraz kino „Apollo”[1].

W 1997 r. na ulicy utworzono strefę pieszego ruchu (deptak), niestety po- mimo tej funkcji często pojawiały się tam samochody osobowe. Z powodu lo- kowania przy ulicy placówek banków i telefonii komórkowych (Rys.5) życie towarzyskie trochę ucichło. Budynki pokryły reklamy, często szpecące. Funkcja salonu miejskiego została przejęta przez rzeszowski Rynek, ze względu na usy- tuowane tam puby i bary.



Rys. 5. Reklamy na kamienicach a) Nr 2; b) Nr 9 [6]

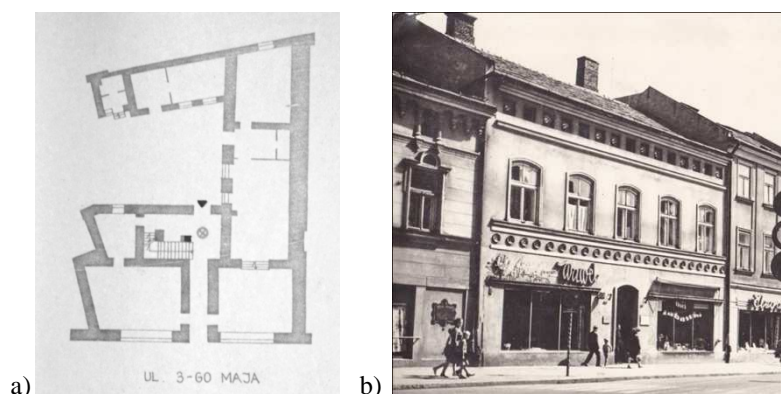
Fig. 5. Advertisements on the tenement houses a) No. 2; b) No. 9 [6]

W celu przywrócenia znaczenia ulicy wprowadzono w 2003 roku tzw. Święto Paniagi odbywające się regularnie w rocznicę uchwalenia Konstytucji 3 Maja. Pomysłodawcą tej uroczystości był dziennikarz i publicysta Jerzy Fąfara. Chciał on zatrzymać pędzących Rzeszowian choć na jeden dzień w roku i przypomnieć dawną funkcję ulicy.

3. Kamienica nr 3

3.1. Położenie i konstrukcja

Kamienica usytuowana jest w zabudowie zwartej wschodniej pierzei ulicy jako druga, idąc od północy. Jest jednopiętrowa. Na parterze znajduje się część usługowa, na piętrze mieszkalna. Rzut budynku kształtem przypomina odwró- coną literę C (Rys. 6a). Dwoma końcami styka się on z kamienicą nr 1, tworząc prostokątne podwórze. Jest on nieznacznie wyższy od kamienicy po lewej i nie- znacznie niższy od kamienicy po prawej stronie [5].



Rys.6. a) Plan [5] i b) elewacja kamienicy nr 3 po remoncie w 1960 r. [9]

Fig. 6. a) The tenement house No. 3 plan [5] and b) facade after renovation in 1960 [9]

Omawiany obiekt wybudowany został w technologii tradycyjnej z murywanymi masywnymi ścianami oraz ceglany kolebkowymi stropami. Dach wykonany był jako słuowo-płatwiowo-zastrzałowy pokryty blachodachówką, dwuspadowy w części poddasza użytkowego, a jednospadowy w części strychu. Elewacja natomiast jako dwutraktowa symetryczna, pięcioosiowa z witrynami na dole i pięcioma jednakowymi otworami okiennymi z nadprożem na piętrze. W ścianie kolankowej dostrzec można kasetonowe blendy i okienka strychowe. Przelotowa sień sklepiona kapą czeską prowadzi na podwórko. W drugim trakcie od północy mieści się drewniana klatka schodowa, której podesty są oparte na drewnianych słupach z dekoracyjną głowicą na piętrze. Na piętrze jest też wyjście na galerię z metalową balustradą [10].

3.2. Historia

Według dokumentacji [5] budynek powstał na początku XX w. Pierwotnie kamienica była dwupiętrowa, co można stwierdzić na podstawie starych widokówek. Najstarsze plany budynku pochodzą z 1931 r. i dotyczą adaptacji parteru na sklepy.

W 1960 r. przeprowadzono remont, podczas którego podzielono pomieszczenia mieszkalne na piętrze na mniejsze. Po owym remoncie zachowały się tylko niektóre elementy wnętrza: posadzki taflowe, drzwi płycinowe szklone oraz wspomniane słupy. Układ horyzontalny został podkreślony wtedy przez fryzy z cepeliowskich talerzy ceramicznych (Rys. 6b).

3.3. Obecnie

Swój obecny (Rys. 7b) wygląd kamienica zawdzięcza architektowi Grzegorzowi Słapińskiemu. Ostatni remont przeprowadzono w 2012 r. w związku ze zmianą sposobu użytkowania poddasza nieużytkowego na mieszkanie. Od stro-



Rys. 7. Kamienica nr 3 a) przed remontem [10]; b) po remoncie w 2012 r. [6]

Fig. 7. The tenement house No.3 a) before [10] and b) after renovation in 2012 [6]

ny konstrukcyjnej polegał na zaprojektowaniu dodatkowych podłogowych belek drewnianych oraz częściowej wymianie i wzmocnieniu istniejącej więźby dachowej w związku z dodaną warstwą izolacji i sufitem podwieszonym. Ze względu na rysy w ścianie frontowej i posadowienie na gruntach lessopodobnych, które po zawilgoceniu mogą tracić swoją pierwotną nośność, poprawiono szczelność kanalizacji deszczowej by zapobiec dalszemu nierównomiernemu osiadaniu. W celu stwierdzenia dalszego przebiegu procesu osiadania założono plomby szklane.

3.4. Wnioski

Ostatni remont kamienicy zdecydowanie poprawił jej stan. Ściany zewnętrzne docieplono, zmieniono kolorystykę na bardziej zdecydowaną, odnowiono zdobienia i skontratowano je z resztą elewacji. Parter jest teraz boniowany, a zamiast ceramicznych mis wprowadzono prostokątne płytciny, nawiązujące do pobliskich kamienic. Jedynie cokoły zaburzają symetryczny porządek, nawiązując do dwóch różnych budynków. Na dole z prawej strony znajduje się bar sushi, a z lewej ku uciechu mieszkańców nadal mieści się cukiernia. Brakuje jednak talerzy (Rys. 7a), pamiątek po sklepie „Cepelia”, które wyróżniały kamienicę spośród innych i wisiały tam już ponad 50 lat, mając dla mieszkańców wartość sentymentalną (na podst. wypowiedzi na forach internetowych [9]).

4. Kamienica nr 13

4.1. Lokalizacja i opis obiektu

Budynek położony jest we wschodniej części szeregu budynków ulicy w zabudowie zwartej, pomiędzy kamienicą nr 11 a I Liceum Ogólnokształcącym. Kamienica jest trzykondygnacyjna na rzucie kształtem przypominającym

literę „L” z oficyną w głębi działki [5]. Elewacja frontowa 8-osiowa jest w części II i III kondygnacji prawie w całości pokryta obramowanymi oknami, które na poziomie pierwszego piętra zwieńczone są trójkątnymi tympanonami, nawiązującymi kształtem do konwencji klasycyzacyjnej. Boczne części budynku występują z lica elewacji, ale nawiązują wyglądem do środkowej części. Na poziomie boniowanego parteru znajdują się otwory drzwiowe zwieńczone łukowo. Całość nawiązuje do pierwotnego wizerunku tego budynku.

4.2. Historyczne początki

Zamysł budowy kamienicy powstał już w 1849 roku, natomiast sama budowa została ukończona dopiero w 1892 roku [5]. Budynek miał stanowić siedzibę Komunalnej Kasy Oszczędności w Rzeszowie. W 1907 roku, po wybudowaniu przez kasę nowego gmachu (dzisiejszy bank PKO BP na 3 Maja 23), piętro kamienicy zajęło Towarzystwo Szkoły Ludowej, a parter – Kawiarnia Europejska, w której organizowano różnego rodzaju imprezy. W wyniku bankructwa kawiarni Towarzystwo Ludowe przejęło parter, gdzie utworzono bibliotekę z czytelnią [2].



Rys.8. Widok na kamienicę nr 13 (po prawej) z początku XX w. [3]

Fig. 8. View of the tenement house No. 13 (on the right), beginning of the 20th century [3]

Do dzisiaj zachowało się jedynie kilka pocztówek z dawnych czasów obrazujących wygląd ówczesnej kamienicy (Rys. 8). Zarys rzutu budynku pokrywa się z dzisiejszym, ilość kondygnacji również nie uległa zmianie. Ośmioosiowa elewacja frontowa (zryzalitowana w pierwszej i siódmej osi) zrealizowana była zgodnie ze stylem neobarokowym. W ściętym narożniku od południa znajdowała się wnęka z figurą Matki Boskiej [5]. Okna w nadprożu zwieńczone były na każdej kondygnacji w inny sposób: na parterze łukowo, na I-szym piętrze posiadały trójkątne tympanony klasycyzujące, a na II-gim – gzymsy na konsolach. Naroża budynku zdobiły dekoracyjne pilastry [5].

4.3. Kolejne przebudowy

Po II wojnie światowej budynek przejęły wojska i służby szpiegowskie, później kamienica stała się przejściowo siedzibą II Gimnazjum. Najbardziej znanym użytkownikiem były jednak słynne "Delikatesy" i kawiarnia Kosmos [2]. W 1961 r. przebudowano kamienicę zgodnie z projektem inż. Ptaka – krakowskiego architekta, na potrzeby WSS „Społem” [5]. Po remoncie elewacja frontowa straciła swój neobarokowy wystrój, pokryta była dużymi przeszklonymi pasami okien przebiegającymi na przemian z pasami podokiennymi (Rys. 9a). Zrezygnowano ze zwieńczeń trójkątnych i innych detali architektonicznych, nadając budynkowi pospolity wygląd. Tak drastyczne zmiany były pomysłem ówczesnych władz, które chciały przystosować kamienicę do nowych funkcji, nadając jej „nowoczesny” wygląd [1]. To przekształcenie wystroju budynku spowodowało dużą stratę dla wyglądu ulicy, jednak ze względów ekonomicznych przez długi okres nie poczyniono żadnych zmian.

Dopiero nowi właściciele w 2001 roku gruntownie przebudowali kamienicę, chcąc nawiązać do jej pierwotnego wyglądu [7]. Obecnie w kamienicy znanej pod nazwą Galeria Paniaga znajdują się restauracje, salon fryzjersko-kosmetyczny oraz placówki eurobanku i biura rachunkowego. Na budynku często widnieją tablice z napisem „lokale do wynajęcia” ze względu na wysokie ceny wynajmu (Rys. 9b).



Rys. 9. Widok na kamienicę nr 13 a) w latach 70 [7]; b) w 2014 r. [6]

Fig. 9. The tenement house No. 13 a) in 70's [7]; b) in 2014 [6]

4.4. Wnioski

Obecna elewacja w naszej opinii, mimo że nawiązuje do pierwotnego wyglądu, z powodu nagromadzenia zbyt wielu elementów daje wrażenie chaosu. Nowoczesne przeszklenie zwieńczone „klasycyzującymi” tympanonami zrobione zostało bez wyczucia i smaku. Można było stworzyć oryginalne rozwiązanie,

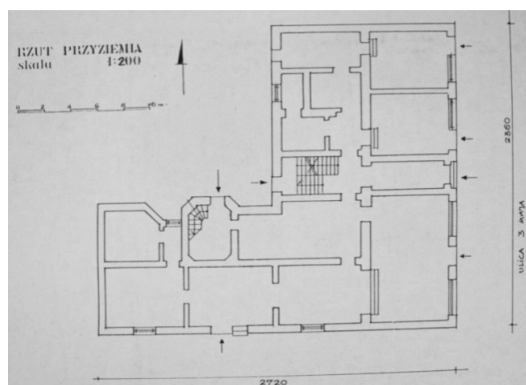
będące nową wizytówką miasta. Zamiast tego upodobniono ją do otoczenia i sprawiono, że jest niewidzialna. Pomimo, że założenia i chęci były jak najlepsze (unowocześnienie i odświeżenie budynku z uwzględnieniem historii) to granica pastiszu została przekroczona, a uzyskany efekt można określić udawanym zabytkiem. Budynek ten ma jednak nadal potencjał, ze względu na dużą powierzchnię przeszklenia. Niestety nie jesteśmy w stanie go wykorzystać, o czym świadczą puste pomieszczenia kamienicy.

5. Kamienica nr 20 zwana „Domem”

5.1. Położenie i konstrukcja

Kamienica ta znajduje się w miejscu zbiegu dwóch ulic: Fircowskiego i 3 Maja. Usytuowany jest naprzeciwko kościoła Pijarów. Z tyłu budynku mieści się niewielkie podwórze. Kamienica murowana z cegły ceramicznej posiada trzy kondygnacje i piwnicę, w której dolne części ścian wykonano z dużych, nieregularnych kamieni. Stropy nad parterem (od ul.3 Maja) i na strychu wykonano jako belkowe o konstrukcji drewnianej, natomiast strop od strony ul. Fircowskiego został wykonany jako stalowo-betonowy. Dachy budynku są dwuspadowe, drewniane, pokryte blachą [5]. Z założenia kamienica była przeznaczona na usługi i mieszkania, co ma zastosowanie do tej pory.

Rzut poziomy budynku składa się z dwóch części: prostokąta usytuowanego równoległe do ulicy 3 Maja oraz węższego, prostopadłego dobudowanego od strony ul. Fircowskiego. W obu częściach budynku występuje układ dwutraktowy, posiadający odrębne klatki schodowe (Rys.10).



Rys.10. Rzut poziomy kamienicy nr 20 [5]

Fig. 10. The tenement house No. 20 plan [5]

5.2. Historia obiektu

Dokładny okres powstania budynku nie jest znany. Dokumentuje się jego istnienie na widoku Rzeszowa z 1762 r., wykonanego przez K. H. Wiedemanna (Rys.2). Istniał wówczas jako duży, parterowy, dziewięciosiowy dom o konstrukcji muru pruskiego, pokryty czterospadowym dachem.

Mapa ewidencyjna z 1842 r. przedstawia istnienie kamienicy o wydłużonym rzucie, położonej kalenicowo do ul. 3 Maja z długą i wąską oficyną, usytuowaną oddzielnie. Plany ewidencyjne z 1849 i 1879 r. ponawiają ten sam układ budynku [5].

5.3. Przebudowa kamienicy

W 1913 r. architekt Piotr Emilewicz rozpoczął projektowanie i przebudowę kamienicy (Rys.11a), która obejmowała podwyższenie budynku o jedną kondygnację oraz dobudowę części budynku od strony ul. Fircowskiego [5]. Ujednolicono obie elewacje. Frontowa elewacja została wykonana jako symetryczna, dziewięciosiowa opierająca się na wysokim, gładkim cokole z lastriko, pozbawiona artykulacji pionowej. Na niej znajdowała się wnęka wejściowa. Do pomieszczeń użytkowych na parterze prowadziły osobne wejścia. Stolarka okienna i drzwiowa wykonana została z drewna dębowego. Parter oddzielony został od wyższych kondygnacji gzymsem kordonowym, pokrytym dachówką. Na wyższej kondygnacji znajdowało się osiem takich samych okien, które łączyły się opaską tynku. Pasy podokienny i nadokienny zostały wykrojone, przyjmując formę wklęsłowypukłą. Na środkowej osi znajdował się balkon z mурowaną balustradą z przeszwitami. Na najwyższej kondygnacji osie skrajne elewacji zostały zaakcentowane trzysiosowymi, półkolistymi wykuszami, pokrytymi sześciopłaciowymi daszkami. W najwyższej części elewacji frontowej znajdowała się ścianka kolankowa z pięcioma okienkami, zamknięta gzymsem wieńczącym. Elewacja boczna od strony ul. Fircowskiego wykonana jako czterosiowa nie posiadała wykuszy. Wygląd parteru i okien był jednakowy jak na elewacji frontowej. Przebudowa i nadbudowa została zakończona podczas I wojny światowej w 1915 r. (Rys.11b).



Rys. 11. Widok kamienicy: a) Przed przebudową w 1913 r.[5]; b) Po przebudowie w 1915 r. [9]

Fig. 11. The tenement house: a) before renovation in 1913 [5]; b) after renovation in 1915 [9]

Przed II wojną światową w budynku znajdowała się cukiernia „Ładosia”. W 1946 r. działka wraz z kamienicą została sprzedana parafii Fara w Rzeszowie. Następnie dom ten został ofiarowany Parafii Św. Krzyża dla bezdomnych, starych księży. Na elewacji frontowej umieszczono napis na tabliczce żeliwnej w kształcie serca: „Błogosławieni miłosierni, albowiem oni dostąpią miłosierdzia”.



Rys.12. Współczesny widok kamienicy nr 20 [6]

Fig. 12. Current view of the tenement house No. 20 [6]

W 2001 r. kamienica została odremontowana. Dokonano podziału pokoju na pierwszym piętrze na trzy lokale administracyjno–biurowe, poddasze zaś przeznaczono na mieszkania. Wstawiono okna połaciowe, dokonano wymiany stolarki drzwiowej i okiennej. Nad parterem i II piętrzem zostały wymienione stropy. Wprowadzono centralne ogrzewanie i ciepłą wodę.

Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych możemy stwierdzić, że zachowany stan budynku jest dobry. Zmieniono kolorystykę obiektu, zarówno w elewacji frontowej jak i bocznej. Widoczne dwa okna w elewacji bocznej zostały zasłonięte (Rys.12.).

5.4. Wnioski

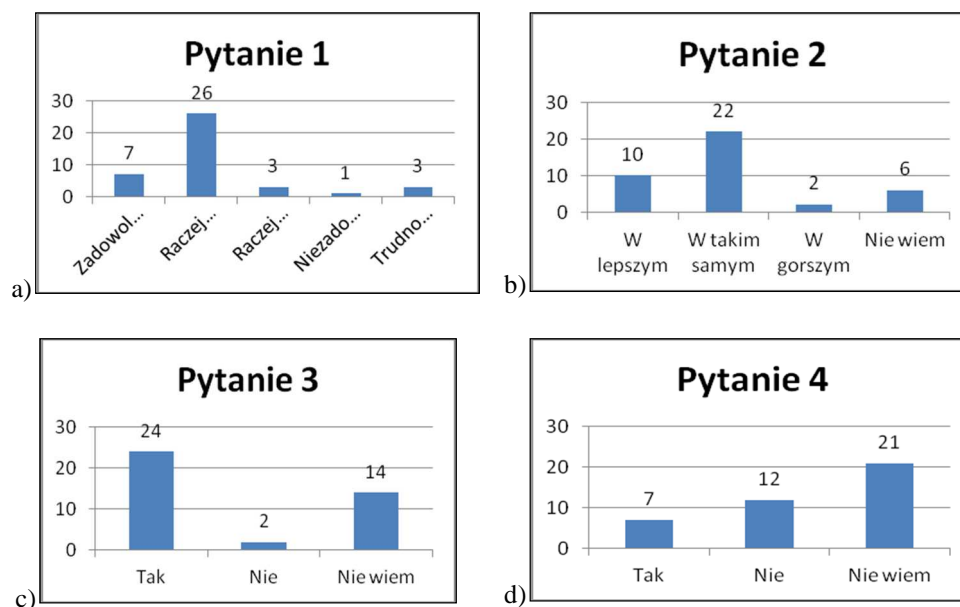
Obecnie obiekt w bardzo małym stopniu nawiązuje do stanu pierwotnego. W wyniku przebudowy jego wygląd uległ zmianie. Jednak z naszego punktu widzenia nie było to złe, gdyż architekci dążyli do nawiązania do wyglądu budynku stojącego obok, aby zachować ten sam styl. Naszą wątpliwość budzi jedynie elewacja boczna, gdzie zostały zasłonięte okna, co powoduje nieestetyczny wygląd i wzbudza kontrowersje.

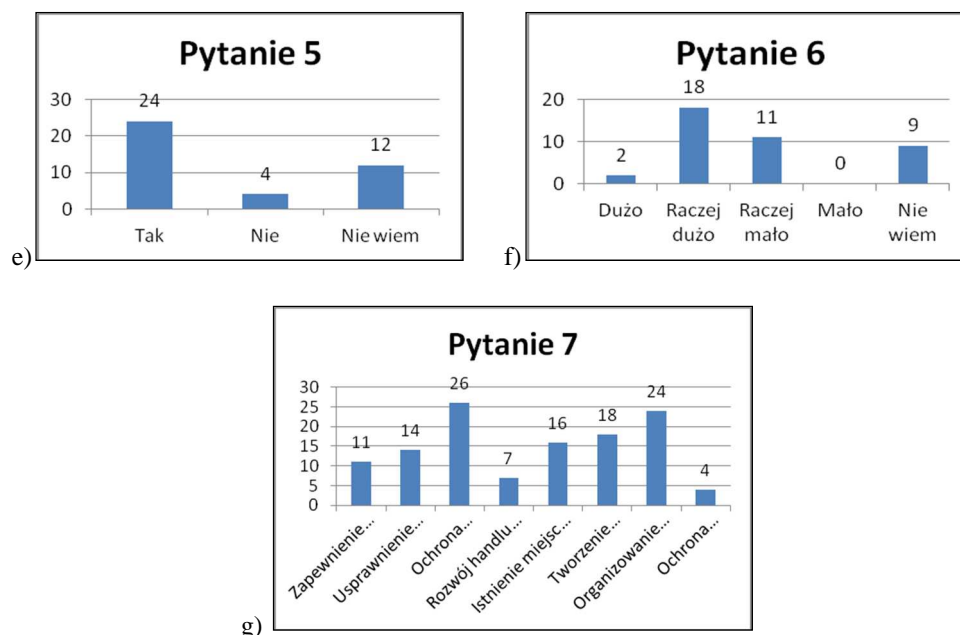
6. Zrealizowane badania

Przeprowadzono badania dotyczące zainteresowania ochroną zabytków znajdujących się wzdłuż ulicy 3 Maja w Rzeszowie (Rys.13). Przygotowano

kwestionariusz wywiadu oparty na pozycji źródłowej [11], który zawierał następujące pytania: 1) Czy jest Pan(i) zadowolony(-na) z ogólnego stanu budynków znajdujących się wzdłuż ulicy 3 Maja?, 2) Jak Pan(-i) sądzi, czy budynki na ulicy 3 Maja są lepszym stanie, takim samym, czy gorszym, w porównaniu z innymi częściami miasta? Jeśli są w lepszym lub gorszym stanie, jaka jest Pana(-ni) zdaniem, tego przyczyna?, 3) Jak Pan(-i) ocenia, czy wśród zabytkowych budowli, znajdujących się wzdłuż ulicy 3 Maja, są takie które utrzymano w dobrym stanie? Jeśli tak, które to obiekty?, 4) Jak Pan(-i) ocenia, czy wśród zabytkowych budowli, znajdujących się wzdłuż ulicy 3 Maja, są takie które uważa Pan (-ni) za będące w złym stanie? Jeśli tak, które to obiekty?, 5) Jak Pan(-ni) sądzi, czy istnieje na ulicy 3 Maja zabytek, który można by uznać za symbol tej ulicy? Jaki to zabytek?, 6) Jak Pan(-ni) uważa, czy robi się dużo, raczej dużo, raczej mało, czy też mało, aby chronić zabytkowe zabudowania wzdłuż ulicy 3 Maja?, 7) Poniżej przedstawiono najczęściej wskazywane potrzeby miasta. Które z nich uważa Pan(i) za najważniejsze w przypadku ulicy 3 Maja? Proszę wybrać 3 odpowiedzi i uszeregować je ważności, gdzie 1 oznacza potrzebę najważniejszą, 2 mniej ważną, 3 najmniej ważną (Rys. 13).

Badaniami objęto 50 osób, w których skład wchodziłi studenci i doktoranci różnych kierunków Politechniki Rzeszowskiej. Wiek ankietowanych ustalono na 20-30 lat. Badania wykazały, że respondenci są zainteresowani problematyką ochrony zabytków i że najwięcej spośród badanych jest „raczej zadowolonych” (65%) (Rys.13a) z wyglądu ulicy i ogólnego stanu budynków.





Rys. 13. Zestawienie wyników ankiety: a) pytanie 1; b) pytanie 2; c) pytanie 3; d) pytanie 4; e) pytanie 5; f) pytanie 6; g) pytanie 7

Fig. 13. Summary of the survey results: a) question 1; b) question 2; c) question 3; d) question 4; e) question 5; f) question 6; g) question 7

Znaczącym faktem jest, że badani ocenili stan budynków na utrzymanym w dobrym stanie (47%) (Rys. 13c), porównując do innych części miasta – w takim samym (44%) (Rys. 13b), a nawet lepszym. Pytani uważali, że główną przyczyną tego jest reprezentacyjna funkcja ulicy oraz usytuowanie jej w ścisłym centrum miasta. Najlepiej zachowanymi obiektami wg ankietowanych były: kościoły, banki oraz liceum. Na pytanie o budynki w złym stanie głosy ankietowanych były podzielone (Rys. 13d), ale najczęściej wskazywane obiekty to: budynek obok apteki na skrzyżowaniu z ul. Jagiellońską, kamienica Tekielskiego oraz dawne kino „Apollo”. Na pytanie, czy istnieje na ulicy zabytek, który można by uznać za symbol tej ulicy ankietowani w 48% odpowiedzi, że „tak” (Rys. 13e). Najczęściej uznawane były: kościół p.w. Św. Krzyża, kościół farny oraz I LO.

Ponadto badani mieli podzielone głosy na temat działań podejmowanych w celu ochrony zabytków. Uważali, że robi się „raczej dużo” (36%) lub „raczej mało” (22%), aby chronić zabytkowe zabudowania (Rys. 13f). Wśród największych potrzeb miasta w przypadku ul. 3 Maja za najważniejsze uznano: ochronę zabytków (52%) (Rys. 13g), organizowanie imprez kulturalnych (48%) (Rys. 13g) oraz tworzenie nowych miejsc pracy (36%) (Rys. 13g). Z odpowiedzi tych

wynika, że młodzi ludzie cenią sobie kulturę i dziedzictwo miasta, w którym mieszkają lub przebywają. Badani, pomimo młodego wieku, są za utrzymaniem należytego stanu zabytków, co świadczy o wysokim statusie społecznym.

Niestety wśród ankietowanych zdarzały się osoby niezorientowane w temacie, bowiem za najlepiej zachowany obiekt uważały Ratusz, który nie jest zlokalizowany przy omawianej ulicy.

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Na przełomie XIX i XX w. ulica 3 Maja była głównym miejscem spotkań oraz źródłem najnowszych wiadomości z miasta. Obecnie rolę tę przejął Rynek. Pomimo tego, że ulica stawała się atrakcyjniejsza architektonicznie w wyniku odświeżania wyglądu elewacji kolejnych kamienic to zmieniała swoją funkcję poprzez wynajem lokali w budynkach pod usługi. Miasto powinno bardziej zadbąć nie tylko o remonty kamienic, ale przede wszystkim o ograniczenie ruchu pojazdów samochodowych i zakaz wieszania niepotrzebnych reklam na budynkach. Najlepszym rozwiązaniem jest utworzenie parku kulturowego poprzez podjęcie stosownej uchwały przez radę miasta, zgodnie z ustawami: o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami oraz o samorządzie gminnym. Sprawdzony przykład to działający Park Kulturowy Stare Miasto w Krakowie, utworzony na podstawie uchwały nr CXV/1547/10 Rady Miasta Krakowa z 3. 11. 2010 r.

Po przeprowadzonych badaniach dostrzegamy postawę młodych ludzi, dla których ważne jest dbanie o wygląd ulicy i zachowanie zabytków. Na podstawie licznych stron i forów internetowych można zauważyć zainteresowanie mieszkańców wyglądem Rzeszowa oraz aktywny udział w dyskusjach na temat dalszego rozwoju miasta. Sentyment i przywiązanie do niektórych miejsc dotyczy nie tylko osób starszych, ale też tych, którzy znają dawny Rzeszów tylko z opowieści i fotografii. W rozmowach dominują niestety negatywne opinie na temat ulicy. Głównie ze względu na funkcje znajdujących się tu budynków, remontowanie kamienic na jeden styl oraz zbyt częstą, jak na funkcję deptaka obecność pojazdów. Zatem możemy wywnioskować, że należy dążyć do przywrócenia pierwotnego przeznaczenia ulicy.

Na podstawie analizy wybranych kamienic na 3 Maja można zauważyć skłonności do ujednolicania wyglądu budynków poprzez stosowanie ciepłych pastelów na elewacjach oraz boniowania na parterach. Coraz częściej obserwuje się zjawisko udawania zabytkowości, co skutkuje nijakością. Dzieje się tak nie tylko na wskazanej przez nas ulicy, ale również w innych częściach miasta Rzeszowa.

Bibliografia

[1] <http://www.fotogaleria.erzeszow.pl>

[2] borowik.blox.pl

- [3] F. Kotula, „Tamten Rzeszów”, Rzeszów 1997.
- [4] <http://rzeszow.naszemiasto.pl>
- [5] Dokumentacja z Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków na ul. Mickiewicza w Rzeszowie.
- [6] Dokumentacja fotograficzna własna.
- [7] <http://m.rzeszow.gazeta.pl/>
- [8] <http://mojepodkarpacie.pl/>
- [9] <http://www.skyscrapercity.com/>
- [10] Opis techniczny do projektu budowlanego „Zmiana sposobu użytkowania poddasza nieużytkowego na mieszkanie. Rzeszów, ul 3 Maja 3. dz nr 958, obr. 207”.
- [11] M. Gosztyła, „Przemiany idei i metod konserwatorskich w latach 1863-2003: na przykładzie zabytków architektury województwa podkarpackiego”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.

CONTROVERSY ABOUT THE FRONTAGE OF 3RD MAY STREET IN RZESZOW - OVERVIEW OF THE SELECTED TENEMENT HOUSES

Summary

The aim of the article was to assess the historical and artistic value of selected buildings along the 3rd May Street in Rzeszow. The history of the street was presented and change of its meaning for over 300 years was discussed. More precisely in terms of design, the subsequent reconstructions and their functions were described the tenement houses No. 3, 13 and 20, which according to authors of the article changed the most. The field research was conducted and photographic documentation was made. The current state of the discussed tenements have been assessed in terms of architecture and culture. These examples may refer to the general trends in today Polish architecture, which are controversial in authors' opinion.

Also a survey on the interest of the protection of monuments located along the 3rd May Street for students and doctoral students of Rzeszów University of Technology was conducted. Results have been presented in charts and discussed.

Keywords: 3rd May Street in Rzeszow, architecture of Rzeszow, tenement houses of Rzeszow

DOI:10.7862/rb.2016.289

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Marta RUSNAK¹

GDY OKNO ZABYTKU PRZEMYSŁU STAJE SIĘ OKNEM MUZEUM – STRESZCZENIE SYTUACJI PRAWNEJ

Projektowanie, prowadzenie prac budowlanych i organizacja muzeum w zabytkowych budynkach przemysłowych to proces wielowątkowy i skomplikowany. Wymaga też szerokiego kompromisu pomiędzy pragnieniem zachowania historycznej przestrzeni w możliwie niezmienionej formie a chęcią zapewnienia optymalnych warunków samej ekspozycji i ją oglądającym. Jeden z takich dylematów dotyczy problematyki związanej z oknami. Oprócz czynników estetycznych i technicznych ważny bardzo ważny jest aspekt prawny i to na nim skupi się ten artykuł. Przedstawione zostaną w nim najważniejsze akty prawne – nierzadko stojące do siebie w opozycji – wpływające na takie czy inne potraktowanie okien w przemysłowych budynkach muzealnych oraz przykłady rozwiązań stosowanych w polskich realizacjach z lat 2004-2015.

Słowa kluczowe: okno, zabytek przemysłu, adaptacja, muzeum, prawo

1. Wprowadzenie

Obecnie w Polsce przynajmniej dziewięćdziesiąt² obiektów poindustrialnych uległo adaptacji na cele ekspozycyjne, z czego niemal pięćdziesiąt widnieje na liście Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów. Taki stan rzeczy sprawia, że nie sposób mówić o polskiej perspektywie architektury muzealnej w oderwaniu od pojęcia adaptacji zabytku przemysłu. Ciekawą dyskusję na ten temat odnaleźć można w publikacji „Muzeum a zabytek? Konflikt czy harmonia?” [1]. Do rzadkości należą jednak badania konfrontujące teorię z praktyką, dotyczącą konkretnych zagadnień wykonawczych. Część opracowań nie może stanowić aktualnego komentarza chociażby ze względu na datę wydania i mnogość elementów, które od tamtej pory uległy zmianie [2]. Natomiast teksty prasowe, dotyczące polskich muzeów prezentują najczęściej kolejne adaptacje, ale wyraźnie brakuje w nich analiz porównawczych i opisu detali. Konieczne –

¹ Marta Rusnak, Katedra Historii Architektury Sztuki i Techniki, Politechnika Wroclawska, ul. Bolesława Prusa 53/55, 50-317 Wrocław, marta.rusnak@pwr.edu.pl

² Badania autorki dotyczą publicznych i prywatnych muzeów oraz galerii sztuki

a przynajmniej użyteczne – wydają się skrupulatnego omówienia poszczególnych aspektów towarzyszących praktyce adaptowania przestrzeni przemysłowych na cele muzealne i taki też cel przyświeca niniejszemu artykułowi, który koncentruje się na licznych zagadnieniach związanych z oknami.

Artykuł zredagowano w oparciu o polskie przykłady transformacji podjętych w latach 2004-2015. Problem ten, jako dość złożony, został podzielony na dwie części. Pierwszy, prezentowany tutaj fragment dotyczy prawnego kontekstu otworów okiennych w tych obiektach.

2. Podstawy prawne: jedno okno, trzy ustawy i perspektywy

Podstawą wszystkich działań architektoniczno-budowlanych jest Prawo Budowlane [3] [4] oraz uzupełniające je rozporządzenia, w tym Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [5]. Pod względem problemowym są to akty, których głównym celem jest zagwarantowanie bezpieczeństwa użytkowania. Do tej samej grupy przepisów należy włączyć ustawę dotyczącą ochrony przeciwpożarowej [6] oraz przepisy związane z bezpieczeństwem i higieną pracy [7], a także szereg norm i rozporządzeń pomagających w interpretacji tych przepisów.³

Drugą wymagającą omówienie perspektywą jest prawna ochrona transformowanego dziedzictwa architektonicznego oparta o ustawę o ochronie zabytków i opiece nad nimi [8]. Twórcy tej ustawy w jasny sposób komunikują, że zachowanie zabytku jest punktem wyjścia dla jej opracowania. Budynek jako zabytek nieruchomy powinien być chroniony w całości, a każdy zachowany historyczny detal ma wspierać podtrzymanie jego autentyczności.

Trzecią prawną perspektywą, która może mieć wpływ na losy zabytkowego okna w muzeum jest ustawa o muzeach [9]. Główną misją muzeów jest tworzenie jak najlepszych warunków dla zachowania, badań i popularyzacji kolekcji, stąd treść zapisów prawnych została zdeterminowana przez dominującą rolę eksponatu. W celu doprecyzowania zasad ochrony kolekcji wprowadzono rozporządzenie w sprawie zabezpieczania zbiorów muzeum przed pożarem, kradzieżą i innym niebezpieczeństwem grożącym ich zniszczeniem lub utratą [10].

3. Konflikty wynikające z kolizji wymagań prawnych

Osobne omawianie wymienionych powyżej ustaw nie wzbudza szczególnie wielkich emocji; do dylematów dochodzi w momencie, gdy rzeczywistość wymaga od projektanta lub przyszłych użytkowników pogodzenia często sprzecznych potrzeb. Dla części zagadnień prawnych droga uzyskiwania odstępstw od reguł projektowych narzuconych przez Prawo Budowlane i towarzyszące mu rozporządzenia jest teoretycznie określona. Jednak prawnie jasna procedura nie

³ Ze względu na objętość artykułu nie cytuję tych aktów. Odniesienia do nich można odnaleźć w podanych ustawach

stanowi odpowiedzi na realne konflikty powstające na styku racji opartych o inne kryteria. Poniżej podane zostaną wybrane przykłady starć odmiennych racji i podjęte działania dotyczące zachowania, modyfikacji lub usunięcia zabytkowych okien w obiektach poprzemysłowych przystosowanych dla potrzeb ekspozycyjnych.

3.1. Zabytek a kryteria architektoniczno-budowlane

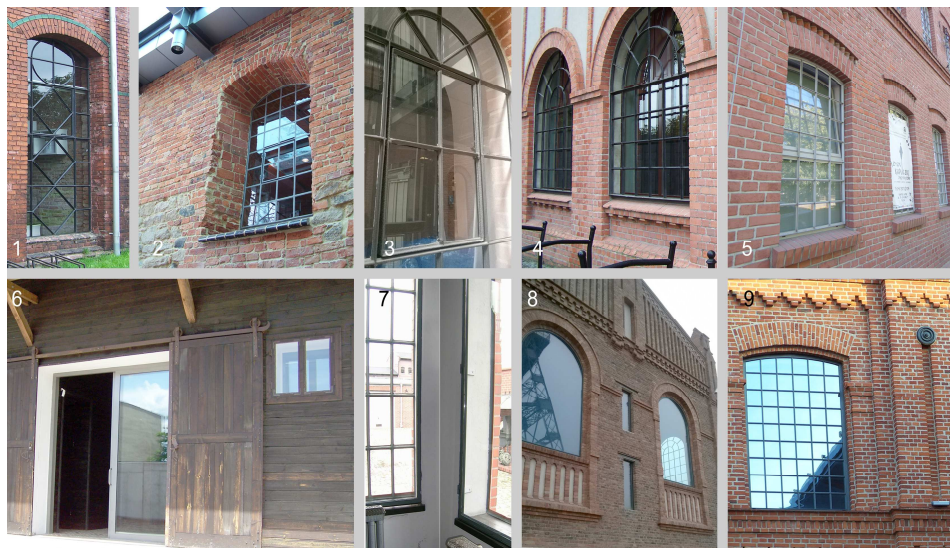
Okna zabytku są jego integralną częścią, którą z perspektywy konserwatorskiej warto zachować. Najczęściej jednak okna fabryk i budynków inżynierskich nie spełniają większości warunków technicznych stawianych współczesnym przegrodom budowlanym. Często są to niepielęgnowane przez lata wielko powierzchniowe ustroje o wielu kwaterach wykonanych zazwyczaj z jednej warstwy szklanej. Rozporządzenia powiązane z Prawem Budowlanym określają wysokość parapetu, normy oświetlenia pomieszczeń pracy stałej, powierzchnię otwieranych skrzydeł, czy parametry przeciwpożarowych pasów między kondygnacyjnych gwarantujących ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia. Okna dawnych fabryk współcześnie są pod wieloma aspektami rozwiązaniami substandardowymi. Pomimo iż w budynkach zabytkowych istnieje procedura uzyskiwania odstępstw od przepisów, to rzadko udaje się uzyskać taki pakiet odstępstw, który umożliwiłby całkowity brak modyfikacji okien. Stąd ponad 90%⁴ zabytków o poprzemysłowej tożsamości adaptowanych dla funkcji muzealnych i ekspozycyjnych w latach 2004-2015 ma zmodyfikowane okna. W około 60%⁵ przypadkach była to zmiana polegająca na usunięciu starych elementów i wykonania nowych.

3.2. Zabytek ruchomy i nieruchomy w muzeum

Obie ustawy – o ochronie zabytków i o muzeach – dotyczą zachowania kulturowego dziedzictwa. Pomimo tego ideowego podobieństwa inne cechy zabytków ruchomych i nieruchomych przyczyniają się do powstania niejednego konfliktu. Z tego względu intrygującym fragmentem ustawy o muzeach, który odwołuje się niejako do ustawy o ochronie zabytków, jest ustęp mówiący o zabezpieczeniu przez muzea nieruchomych obiektów kultury materialnej. W ten zbiór niewątpliwie można włączyć zabytkowe siedziby muzeów. Zgodność celów jest jednak pozorna. Wątpliwość budzi sformułowanie o zabezpieczeniu ich przez muzea „w miarę możliwości” (art.2 pkt.4), które stawia zabytek nieruchomy w pozycji gorszej względem muzealiów, które zgodnie z ustawą należy chronić w sposób „trwały”. Ślad tego zróżnicowanego podejścia odnajdziemy w wielu opisywanych w artykule przykładach, w których budynki swobodnie pozbawia się ich oryginalnych detali, aby chronić inne artefakty.

⁴ Obliczenia autorki

⁵ Obliczenia autorki



Rys. 1. Okna w umuzealnionych obiektach przemysłowych. Zachowana ślusarka (1- 3), ustroje dwuwarstwowe (4-8), nowe okno (9). (Nazwy obiektów i ich lokalizacje: 1.SPOT. w Poznaniu, 2.Tyskie Browarium, 3. Art Inkubator w Łodzi, 4. Muzeum Powstania Warszawskiego, 5. Muzeum Wisły w Tczewie, 6. Stacja Radogoszcz w Łodzi, 7. Muzeum Gazownictwa w Paczkowie, 8. Nowe Muzeum Śląskie, 9. MS2 w Łodzi)

Fig. 1. Windows in postindustrial monuments transformed into museums. Saved windows (1-3), Double windows (4-8), new window (9) (Institutions and towns - as above)

3.3. Termoizolacyjność i mikroklimat wnętrza

Pośród zagadnień poruszanych przez ustawę o muzeach znajduje się też kwestia zagwarantowania stabilnego mikroklimatu wnętrza: temperatury oraz wilgotności powietrza. Wynika to wprost z (art.2 pkt.3). Dotyczy to zarówno okresu zimowego, gdy zabytkowe okno utrudnia ogrzanie pomieszczeń, jak i okresu lata, gdy intensywne nasłonecznienie wymusza ochładzanie powietrza. Zabytkowe okno znacząco utrudnia kontrolę nad mikroklimatem. Niestety jest to „sytuacja wymagająca odpowiedzialnego wyważenia przeciwstawnych racji” [11]. W efekcie prowadzi to najczęściej do całkowitej wymiany licznych elementów okna, nawet w przypadku gdy nie znajduje się ono w stanie technicznego rozpadu. Warto jednak wspomnieć o tych muzeach, w których podjęto odmiennie działania mające na celu choćby częściowe zachowanie oryginału.

3.3.1. Zachowanie oryginalnego okna

W niewielu muzeach zdecydowano się na pozostawienie oryginalnych przeszkleń. Przykładem jest Muzeum Techniki i Włókiennictwa w Bielsku-Białej, gdzie przechowywane maszyny tkackie nie należą do grupy szczególnie wrażliwych eksponatów. Stąd pojawiająca się na oknach w zimie para wodna, a w przypadku dużych mrozów nawet przemrożenia nie mają dużego znaczenia. W tym wypadku również pojawiające się pojedyncze nieszczelności nie stanowią dużego zagrożenia przed zanieczyszczeniami chemicznymi mogącymi niszczyć inne grupy eksponatów [11]. Do grupy muzeów z autentycznymi oknami należą też m.in. Walcownia Cynku w Szopienicach i Muzeum Kolejnictwa w Jaworzynie Śląskiej. Są to miejsca, w których muzeum jest kontynuacją tradycji, nie wymusza drastycznych zmian w urbanistyce, bryle czy historycznym detalu.

Miejscami, w których często nie wymienia się, a w miarę możliwości remontuje poprzemysłowe okienna są nierzadko prywatne galerie i centra sztuki. W tej grupie znajdują się: Instytut Sztuki Wyspa w Gdańsku, SPOT w Poznaniu czy Galeria Szyb Wilson w Katowicach. Odmienny sposób do zachowania pierwotnych drzwi i okien pokazano w obrębie Starego Browaru w Poznaniu i mieszczącej się tam siedzibie Art Foundation Grażyny Kulczyk. Pojedyncze stare skrzydła stały się „eksponatami” umieszczonymi w przestrzeni urbanistycznej lub zawieszane we wnętrzach.

3.3.2. Współistnienie zabytkowego i nowego okna

Innym spotykanym rozwiązaniem dotyczącym omawianego tematu okna muzealnego w obiekcie poprzemysłowym, jest zdwojenie układu szklenia, w którym na zewnątrz pozostawia się całe oryginalne okno lub jego część, a w niewielkim dystansie dodaje się przegrodę spełniającą współczesne wymagania. Wewnętrzne okno, jako element tła, nie musi już kopiować podziałów oryginalnego okna. Przykład takiego kompromisu można oglądać w bydgoskim Explozeum, gdzie zachowano nawet pęknięte pierwotnie zbrojone szyby, w łódzkiej Stacji Radogoszcz, a także w Muzeum Gazownictwa w Paczkowie. Te rozwiązania pod wieloma względami mogą zadowolić i konserwatorów, i przyszłych użytkowników, choć wymagają dodatkowych niestandardowych detali projektowych oraz sprawdzenia fizycznych właściwości całego ustroju w celu uniknięcia niepotrzebnych mostków termicznych, a tym samym stref powierzchniowej kondensacji pary wodnej. Opisany w poprzednich zdaniach zdwojony okienny kompromis konserwatorski zaobserwujemy w Muzeum Powstania Warszawskiego czy Muzeum Wisły w Tczewie. W Warszawie pozbawioną szyb ramę wymontowano przesuwając ją w stronę lica muru, z tyłu zaś zamontowano okna o nowych podziałach. W Tczewie stalowe zabytkowe ramki połączono z ościeżnicą nowego otwieranego okna.

W adaptowanym budynku maszynowni, gdzie mieści się Nowe Muzeum Śląskie nowe okno wstawiono w miejscu starego, a pozbawione szyb metalowe ramiaki po oczyszczeniu i pomalowaniu zamontowano od środka. We wnętrzu wygląda to korzystnie, tym bardziej, że koresponduje z zachowaną suwnicą i ceramicznymi okładzinami ścian. Od zewnątrz wrażenie jest jednak negatywne. Zły efekt wywołuje niemal lustrzana szyba, która nawet w pochmurny dzień uniemożliwia odczytanie pierwotnych rytmów elewacji. To tylko jeden z przykładów, które obrazują trudności związane z określeniem, która część budynku powinna stanowić konserwatorski priorytet.

3.4 Ochrona przed promieniowaniem UV

Kolejnym skutkiem wysokiej ekspozycji solarnej – obok ewentualnego przegrzania – mogą być zniszczenia wywołane promieniami UV, przyspieszającymi przykładowo rozpad włókien celulozy, blaknięcie barwników lub tworzenie się naprężeń w tworzywach sztucznych.

Natężenie promieni ultrafioletowego mogą zmniejszyć odpowiednio dobre szyby bądź folie używane do zmiany właściwości istniejącego przeszklenia. Decydując się na takie rozwiązanie trzeba jednak pamiętać, że powłoki poważnie wpływają na wygląd elewacji. Przy zastosowaniu wysokich współczynników odbicia można uzyskać wrażenie lustrzanej powierzchni, mogące kłócić się ze stylistyką XIX wiecznego zabytku. Przykładów takich elewacji jest wiele. Do najbardziej wyrazistych należą oddział Muzeum im. Leona Wyczółkowskiego „Czerwony Spichrz” w Bydgoszczy, Muzeum Piernika w Toruniu czy MS2 w Łodzi.

Najprostszym rozwiązaniem, stosowanym w obiektach zabytkowych służącym ochronie eksponatów przed nadmierną insolacją i efektem lustra na elewacji, jest zamontowanie rolet wewnętrznych wykonanych z tkanin o podwyższonej chłonności promieni słonecznych. Przykład takiego rozwiązania zobaczyć można w Muzeum Dawnych Rzemiosł w Żarkach. W innych jednostkach Muzeum Wisły w Tczewie, Centralnym Muzeum Włókiennictwa w Łodzi, Fabryce Schindlera w Krakowie również zastosowano rolety. Niestety ostatecznie nie przełożyło się to na wyeliminowanie, obcej estetyce zabytku, refleksyjności szklenia. Zdaniem autorki równie nienaturalnie wyglądają okna pofabryczne wyposażone w firany i kotary, co zaobserwować można w niektórych salach Muzeum Historii Przemysłu w Opatówku.

Innym rozwiązaniem pozwalającym na uzyskanie nie tylko lepszego mikroklimatu, ale i ochrony przed promieniowaniem UV jest zastosowanie logiki „box in box”, w której elewacja – a więc i zabytkowe okna – stanowi zewnętrzny konserwatorsko zachowany płaszcz dla bardziej zaawansowanego technologicznie wnętrza. W Polsce nie spotkamy jednak tej logiki adaptacji muzealnej. Zagranicznym przykładem jest dawna elektrownia, a obecnie Muzeum Sztuki Współczesnej w Cottbus.

W zabytku raczej dyskusyjną formą ochrony byłoby zastosowanie ochrony w postaci elementów zewnętrznych: zaciemniaczy, banerów czy rolet. Konserwator, pozwalając na inne zewnętrzne transformacje bryłowe, może jednak przyczynić się do zachowania autentyzmu detalu. Miało to miejsce zarówno w łódzkim Art Center, jak i w muzealnej przestrzeni w Browarze w Tychach⁶. W obu przypadkach dobudowane pomiędzy budynkami łączniki sprawiły, że okno z zewnętrznego stało się wewnętrznym i tym samym nie wymagało dodatkowych modyfikacji.

Niezwykle odważną transformacją, z pewnością nie nastawioną w swoim pierwotnym zamyśle na ochronę przed szkodliwym oddziaływaniem słońca, jest realizacja Muzeum im. Tadeusza Kantora w Krakowie, gdzie nową zawieszoną nad zabytkiem kubaturą niejako „zadaszono” cały stary budynek. Z pewnością ograniczyło to nasłonecznienie wnętrza, choć niestety nie poskutkowało zmniejszeniem refleksyjności szyb.

3.4.1. Muzeum w zabytku przemysłu bez okien

Rozporządzenie w sprawie warunków, jakie powinny spełniać budynki i ich usytuowanie dopuszcza oświetlenie pomieszczenia przeznaczonego na pobyt ludzi wyłącznie światłem sztucznym jeżeli oświetlenie naturalne nie jest konieczne lub wskazane ze względów technologicznych. Priorytetem technologii stosowanych w magazynach i salach muzealnych jest zagwarantowanie jak najlepszych warunków dla zachowania eksponatów, przez co korzystne jest wyeliminowanie światła dziennego. Do grupy budynków poprzemysłowych nie posiadających okien lub tylko niewielką ich liczbę należałoby zaliczyć miejsca, w których procedura produkcji narzucała ograniczenie liczby otworów okiennych lub nie wymagała obecności ludzi⁷. Polskimi przykładami są Młyn Wiedzy w Toruniu, Muzeum w Browarze Żywiec oraz wrocławskie Hydropolis. W przypadku tych adaptacji trudno jednak mówić o prawnym kontekście ochrony eksponatów, gdyż ekspozycja w tych atrakcjach turystycznych podąża raczej multimedialnym tropem centrów nauki i rozrywki.

3.5. Zabezpieczenie przed kradzieżą

Muzealne okno powinno również zabezpieczać przed kradzieżą. Istnieje kilka sposobów uzyskania tego efektu. Pierwszy można osiągnąć poprzez wymianę szklenia na takie, które cechuje odpowiednio wysoka odporność na włamanie [9]. Pod względem technicznym jest to często niemożliwe, a jeżeli nawet takie szklenie dałoby się wprowadzić, to jest ono bezpodstawne ze względu na wmontowanie jej w zabytkowy ustrój, który nie posiadając żadnych cech prze-

⁶ Tyskie Browarium i Muzeum Regionalne w Tychach dzielą ze sobą jeden hol

⁷ Silosy, zbiorniki gazu, wody, podziemne magazyny, leżakownie czy lodownie

ciwłamanioowych. Stąd alternatywę stanowi wprowadzenie dodatkowego okna przy zachowaniu okna zabytkowego.

Kolejnym rozwiązaniem jest użycie krat. W wielu wypadkach przemysłowe okno ma formę stalowej ramy podzielonej na liczne niewielkich rozmiarów kwatery. W omawianym rozporządzeniu nie podano parametrów, jakie powinna spełniać taka przegroda i jak wygląda wyznaczenie jej geometrii, aby uznać ją za przeciwwłamaniową. Wydaje się, że powinno być to uzależnione od charakteru i wielkości zgromadzonych eksponatów.

Jeżeli jednak zagęszczenie szczelin zostaje uznane za niewystarczające⁸, nowa krata powinna jak najmniej wizualnie konkurować z pierwotnymi podziałami na elewacji, stąd zarówno ustawa o ochronie zabytków [8], jak i rozporządzenie w sprawie ochrony zbiorów [10], nakazują konsultację z Wojewódzkim Konserwatorem Zabytków. Za przykład wyważonego kompromisu w tej sprawie można uznać rozwiązanie zastosowane we wspomnianej jednostce w Bielsku Białej, gdzie okratowanie wykonano z cienkiej ramki i delikatnej drucianej siatki. Mniej subtelnie wygląda to w Muzeum w Bydgoszczy, choć krata niewątpliwie wygląda solidniej.

4. Podsumowanie

Szereg wymienionych powyżej trudności czyni przechowywanie zabytków w zabytku wyborem kontrowersyjnym. Jednak dla wielu obiektów jest to rzadka szansa na przetrwanie, a dla muzealników okazja do powiększenia powierzchni ekspozycyjnych i magazynowych. Dla projektantów i konserwatorów adaptacja zabytku przemysłowego na muzeum także jest wielowątkowym wyzwaniem prawnym, w którym zarówno oni jak i inne strony dialogu powinny wykazywać się szeroką znajomością alternatywnych rozwiązań. Ta wiedza powinna ułatwiać podejmowanie większej liczby w pełni świadomych i wyważonych kompromisów. Aby adaptacja muzealna nie była źródłem kolejnych frustracji i nieodmówień, dokumenty dotyczące podejmowania kompromisów powinny być upubliczniane, stanowiąc jawne odzwierciedlenie procesu waloryzacji i negocjacji. Cenne byłoby także wdrożenie w program studiów architektonicznych jak największej liczby zajęć pozwalających na interdyscyplinarne spojrzenie na współczesny detal konserwatorski.

Literatura

- [1] Gołubiew Z. (red.), *Muzeum a zabytek? Konflikt czy harmonia?*, Kraków 2013.
- [2] Litwin J., *Muzea techniki w Polsce*, w: red. Januszewska D.F., *Muzea Polskie*, Olszanica 2012.
- [3] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 Prawo Budowlane.

⁸ Profile zabytkowych okien, szczególnie drewniane (choć te stanowią mniejszość w omawianych zabytkach techniki) nie zawsze pozwalają na uznanie ich za antiwłamanioowe)

- [4] Kiciński A., *Światło w muzeum*, w: *Architekt* nr 3/2003.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [6] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991r. o ochronie przeciw pożarowej.
- [7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.
- [8] Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami.
- [9] Ustawa z dnia 21 listopada 1996 r. o muzeach.
- [10] Rozporządzenie Ministra Kultury z dnia 2 września 2014 r. w sprawie zabezpieczenia zbiorów muzeum przed pożarem, kradzieżą i innym niebezpieczeństwem grożącym ich zniszczeniem lub utratą.
- [11] Łukomski M. (red.), *Zarządzanie klimatem w muzeach: ochrona zbiorów i energooszczędność*, *Ochrona Zbiorów*, zeszyt 02, Kraków 2014.

WHEN A WINDOW OF A POSTINDUSTRIAL BUILDING BECOMES A WINDOW OF A MUSEUM – TRANSFORMATION FROM A LEGISLATIVE PERSPECTIVE

Summary

The design, construction and arrangement of a museum in historical postindustrial buildings is a complex, multifaceted process. It often requires a serious compromise between the desire to keep the original building intact and the need to provide both the exhibition and the visitors with the most convenient and suitable conditions. One of such dilemmas is related to the problem of windows. Apart from aesthetic and technical issues, the legal aspect of this transformation is also of great importance and will therefore be the focus point of this paper. This work will present the most important legislative acts – quite often almost contradictory to one another – that govern the treatment of windows in museums and art galleries organized in postindustrial buildings. It will also give examples of different solutions that were applied in Polish investments in the years 2004-2015.

Keywords: window, adaptation, museum, postindustrial buildings, law

DOI:10.7862/rb.2016.290

Przesłano do redakcji: 22.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Elżbieta RYBAK-WILUSZ¹
Klaudia HOPP²

ANALIZA ENERGETYCZNO-EKONOMICZNA WYKORZYSTANIA ENERGII SŁONECZNEJ

Celem analizy energetyczno-ekonomicznej jest ocena efektywności wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania ciepłej wody w instalacji z kolektorami cieczowymi. Polega ona, między innymi, na wyznaczeniu energii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni kolektora o określonej lokalizacji i nachyleniu oraz zapotrzebowania na ciepło. W dłuższych okresach czasu (miesiąc, rok) potrzeby cieplne do ogrzewania ciepłej wody użytkowej są stałe, w odróżnieniu od zmiennego promieniowania słonecznego. Powoduje to pewną trudność w oszacowaniu efektów działania instalacji słonecznej, z uwagi na szereg parametrów określających pozycję Słońca pozwalających na wyznaczenie składowych promieniowania słonecznego. W artykule wykonano ocenę energetyczną działania instalacji ciepłej wody w budynku mieszkalnym z wykorzystaniem metody f-chart. Metoda ta pozwala na ocenę efektów działania instalacji na podstawie ogólnej charakterystyki kolektorów słonecznych i uśrednionych danych meteorologicznych. Wykonano analizę porównawczą dwóch instalacji, z kolektorami cieczowymi płaskimi i próżniowymi. Wyznaczono dla okresów miesięcznych, na podstawie oszacowanego udziału energii słonecznej w pokryciu potrzeb cieplnych podgrzania wody, średnią sprawności instalacji. W tym celu wykorzystano korelacje pomiędzy dwoma bezwymiarowymi zmiennymi X i Y .

Analiza ekonomiczna instalacji słonecznej, po uwzględnieniu kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, daje pełny obraz oszczędności z tytułu wykorzystania promieniowania słonecznego. Wnioski z analizy wskazują czynniki, które mogą być brane pod uwagę przy wyborze rodzaju kolektorów słonecznych oraz w praktycznych rozwiązaniach instalacji słonecznych charakteryzujących się wysoką sprawnością cieplną.

Słowa kluczowe: metoda f-chart, kolektor płaski cieczowy, kolektor próżniowy instalacja ciepłej wody, efektywność energetyczna, wskaźniki finansowe

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Elżbieta Rybak-Wilusz, Politechnika Rzeszowska, Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji, ul. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651445; e-mail: elrywi@prz.edu.pl

² Klaudia Hopp, Politechnika Rzeszowska ; tel. 886722476; e-mail: klaudia_h@interia.eu

1. Wprowadzenie

Popularność wykorzystania energii słonecznej do przygotowania ciepłej wody w gospodarstwach domowych, w przeciwieństwie od innych odnawialnych źródeł energii, takich jak na przykład biomasa stała, spowodowana jest potrzebą jej magazynowania tylko w krótkim okresie czasu. Wytworzone ciepło może być przetrzymywane w zbiornikach ciepłej wody przez 2 lub 3 doby, w zależności od konstrukcji zasobnika. W obiektach o dużym zużyciu ciepła niskotemperaturowego, którymi są instalacje ciepłej wody użytkowej istnieją możliwości zastosowania zintegrowanych systemów zaopatrzenia w energię [1]. Umożliwiają one wykorzystanie odnawialnych nośników ciepła takich jak promieniowanie słoneczne, ciepło gruntu i dają sposobność skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej. Sprzyjają w ten sposób rozwojowi energetyki rozproszonej ograniczając inwestycje sieciowe [1]. Innym argumentem, który przemawia za wykorzystaniem energii słonecznej jest brak emitowania jakichkolwiek zanieczyszczeń do atmosfery oraz ciągła zdolność do odbudowy zasobu energetycznego, w stosunkowo krótkim okresie czasu, zależnie od występujących na danym obszarze warunków klimatycznych.

Obecnie stosowanych jest kilka rodzajów instalacji słonecznych, wykorzystujących różne urządzenia do konwersji promieniowania słonecznego w ciepło. Szereg kombinacji i wariantów instalacji niesie za sobą szeroki zakres możliwości ich wykorzystania. Nie można jednoznacznie wskazać jednego, najlepszego rozwiązania. Zasadność stosowania danego rodzaju instalacji zależy w szczególności od specyfiki zapotrzebowania na ciepłą wodę oraz warunków klimatycznych panujących na danym terenie.

Celem badań jest rozpoznanie zagadnienia efektywności energetycznej wykorzystania energii słonecznej w ogrzewaniu ciepłej wody na podstawie analizy energetyczno-ekonomicznej instalacji słonecznej wyposażonej w kolektory cieczowe płaskie i próżniowe. W wyznaczeniu wskaźników technicznych wykorzystano metodę f-chart, natomiast w analizie opłacalności inwestycji zastosowano statyczne i dynamiczne wskaźniki finansowe.

2. Założenia do obliczeń

Ocena działania instalacji solarnej, w tym obliczenia procentowych udziałów energii słonecznej i energii pochodzącej ze źródła konwencjonalnego wykorzystanej do podgrzewania wody użytkowej, dokonana została za pomocą metody f-chart, przeznaczonej głównie dla kolektorów cieczowych. Metoda ta jest prezentowana w wielu publikacjach z tego zakresu [2],[3],[4]. Umożliwia określenie w jakim stopniu energia słoneczna będzie wspomagać instalacje ciepłej wody, pozwala wyznaczyć sprawności instalacji kolektorowej oraz oszczędności z tytułu wykorzystania energii słonecznej.

Obliczenia w metodzie f-chart można podzielić na obliczenia pomocnicze oraz obliczenia główne. Podstawową cechą metody jest wykorzystanie korelacji pomiędzy dwoma bezwymiarowymi zmiennymi X (wzór 1) i Y (wzór 2) wynikającymi z parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych instalacji. Na ich podstawie określa się funkcje korelacyjną f (wzór 3), która wyznacza udział energii promieniowania słonecznego w całkowitym zapotrzebowaniu na c.w.u. dla budynku [5]:

$$X = \psi_x \frac{86400 \cdot A_a \cdot FrUl \cdot (11,6 + 1,18T_c + 3,86T_z - 2,23T_o)}{q_{\text{śrd}} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (T_c - T_z)} \quad [-] \quad (1)$$

$$Y = \frac{A_a \cdot Fr(\tau\alpha) \cdot I_{c\beta}}{q_{\text{śrd}} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (T_c - T_z) \cdot N} \quad [-] \quad (2)$$

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad [-] \quad (3)$$

gdzie: ψ_x - współczynnik uwzględniający pojemność zbiornika magazynującego, przyjęto $V_s = 400 \text{ dm}^3$, A_a - powierzchnia czynna kolektorów słonecznych, $[\text{m}^2]$, $FrUl$ - iloczyn współczynnika odprowadzenia ciepła z kolektora i zastępczego współczynnika strat ciepła, $[\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$, $Fr(\tau\alpha)$ - średnia miesięczna wartość iloczynu współczynnika odprowadzenia ciepła z kolektora i współczynnika transmisyjno-absorbpcyjnego ($\tau\alpha$), $[-]$. Przyjęto dla kolektora płaskiego $FrUl = 4,71 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $Fr(\tau\alpha) = 0,8$ [6], [7], a dla kolektora próżniowego $FrUl = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $Fr(\tau\alpha) = 0,617$, $I_{c\beta}$ - nasłonecznienie całkowite na powierzchnię pochyloną pod kątem β dla analizowanego okresu czasu i lokalizacji, $[\text{kJ}/(\text{m}^2)]$, T_c , T_z - temperatura ciepłej i zimnej wody, $[\text{°C}]$, T_o - temperatura otoczenia, $[\text{°C}]$, $q_{\text{śrd}}$ - średnie dobowe zużycie c.w., $[\text{dm}^3/\text{doba}]$, ρ - gęstość wody, $[\text{kg}/\text{dm}^3]$, c_w - ciepło właściwe wody, $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$, N - liczba dób w miesiącu, $[\text{d}/\text{mies.}]$.

Przyjęto do analizy instalację w budynku jednorodzinny usytuowanym w Rzeszowie (szerokość geograficzna $\varnothing = 50^\circ$) zamieszkałym przez 4 osobową rodzinę. Dobowe zużycie ciepłej wody na osobę przyjęto $q_j = 80 \text{ dm}^3/(\text{os.} \cdot \text{d})$. Temperatura zimnej wody wynosi $T_z = 10^\circ\text{C}$ zimą i 15°C latem, zaś ciepłej wody $T_c = 50^\circ\text{C}$.

Dokonano porównania dwóch instalacji pod względem efektywności cieplnej. Instalacja słoneczna wyposażona będzie w wariant pierwszym w 3 płaskie kolektory cieczowe firmy ENSOL typu ES1V/2 o łącznej powierzchni $5,6 \text{ m}^2$ i sprawności optycznej $\eta_0 = 80\%$ oraz w wariantie drugim 3 kolektory próżniowe firmy HARTMANN typu HS-CS22 o łącznej powierzchni $5,4 \text{ m}^2$ i sprawności optycznej $\eta_0 = 61,7\%$. Kolektory zostały połączone szeregowo, położone pod kątem $\beta = 45^\circ$ względem horyzontu i skierowane na południe. Czynnikiem roboczym w instalacji będzie płyn solarny stanowiący wodny roztwór glikolu propylenowego.

3. Obliczenia efektywności instalacji słonecznej z wykorzystaniem metody f-chart

Gęstość strumienia energii słonecznej docierającą na powierzchnię poziomą I_c obliczamy ze wzoru:

$$I_c = I_b \cdot R_b + I_r \cdot R_r, \quad [\text{W/m}^2] \quad (4)$$

gdzie: I_b , I_r - gęstość strumienia promieniowania bezpośredniego/dyfuzyjnego, $[\text{W/m}^2]$, R_b , R_r - współczynnik korelacyjny promieniowania bezpośredniego i dyfuzyjnego. Promieniowanie całkowite wyznaczono uwzględniając pochylenie powierzchni kolektora pod kątem β do horyzontu [5].

Pełny tok obliczeń przytoczony w literaturze [2],[3],[4] polega na wyznaczeniu wartości kąta godzinowego ω_{wsch} dla znanej szerokości geograficznej \varnothing $[\text{°}]$ i deklinacji δ $[\text{°}]$. Obliczono (tab. 1) gęstość strumienia promieniowania słonecznego I_z dla wybranego dnia w roku N_d docierającego do Ziemi (na orbicie ziemskiej atmosfery), dla stałej słonecznej wynoszącej $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$; oraz całkowite nasłonecznienie na zewnątrz atmosfery dla określonego miejsca w n -tym dniu roku H_o (tab. 2).

Ilość energii do wytwarzania c.w. w miesiącu, wykorzystanej z promieniowania słonecznego $Q_{słońca}$ oraz z konwencjonalnego źródła energii Q_{konw} , obliczamy ze wzoru:

$$Q_{słońca} = f \cdot N \cdot q_{srd} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (T_c - T_z) \quad [\text{MJ/mies.}] \quad (5)$$

$$Q_{konw} = (1-f) \cdot N \cdot q_{srd} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (T_c - T_z) \quad [\text{MJ/mies.}] \quad (6)$$

Średnia miesięczna sprawność instalacji słonecznej η :

$$\eta = \frac{f \cdot N \cdot q_{srd} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (T_c - T_z)}{A_a \cdot I_{c\beta}} \quad [-] \quad (7)$$

4. Wyniki i analiza obliczeń

Wyniki obliczeń dla instalacji wyposażonej w kolektory płaskie i próżniowe przedstawiono w tab. 1, 2 i 3.

Analizując wyniki obliczeń (tab.3, rys.1) można stwierdzić, że sprawność instalacji z kolektorami próżniowymi wykazuje mniejszą zmienność w ciągu roku niż sprawność instalacji z kolektorami płaskimi. Kolektory płaskie przyjęte do analizy cechuje wyższa sprawność optyczna w porównaniu z kolektorami próżniowymi, dlatego w okresie lata (IV-IX) instalacje z tymi kolektorami mają wyższe sprawności latem niż instalacje z kolektorami próżniowymi. Średnia sprawność analizowanej instalacji z kolektorami płaskimi w okresie letnim wy-

niosła 45%, a z kolektorami próżniowymi 43%. Sytuacja jest odwrotna w miesiącach o niższym nasłonecznieniu (I-III, X-XII), wówczas to średnia sprawność instalacji z kolektorami próżniowymi wyniosła 39% i jest o 5% wyższa od sprawności instalacji z kolektorami płaskimi. Ma to związek między innymi z tym, że kolektory próżniowe rurowe lepiej absorbują promieniowanie rozproszone, którego zimą jest więcej niż latem oraz cechują je niższe straty ciepła do otoczenia [5].

Tabela 1. Wyniki obliczeń danych meteorologicznych metodą f-chart

Table 1. Results calculations of meteorological data using the f-chart method

Miesiąc	I_c [12]	I_c	T_o [13]	N_d	δ	I_z
	[kWh/m ² -mies.]	[kJ/m ² -d]	[°C]	[doba]	[°]	[W/m ²]
I	31,07	3 608	-2,3	17,00	-20,60	1410,19
II	41,85	5 381	-1,3	47,00	-12,53	1398,13
III	74,46	8 647	2,8	75,00	-2,05	1379,46
IV	109,83	13 180	8,5	105,00	9,74	1356,42
V	150,23	17 446	14,0	133,15	135,00	1336,15
VI	163,37	19 604	16,8	159,78	162,00	1324,67
VII	149,87	17 404	18,8	195,29	198,00	1323,49
VIII	134,34	15 601	18,1	224,88	228,00	1335,03
IX	84,78	10 174	13,5	254,47	258,00	1354,92
X	55,84	6 485	8,6	284,05	288,00	1377,96
XI	30,19	3 623	3,4	313,64	318,00	1398,13
XII	25,50	2 961	-1,0	339,29	344,00	1409,20

Tabela 2. Wyniki obliczeń metodą f-chart danych pomocniczych

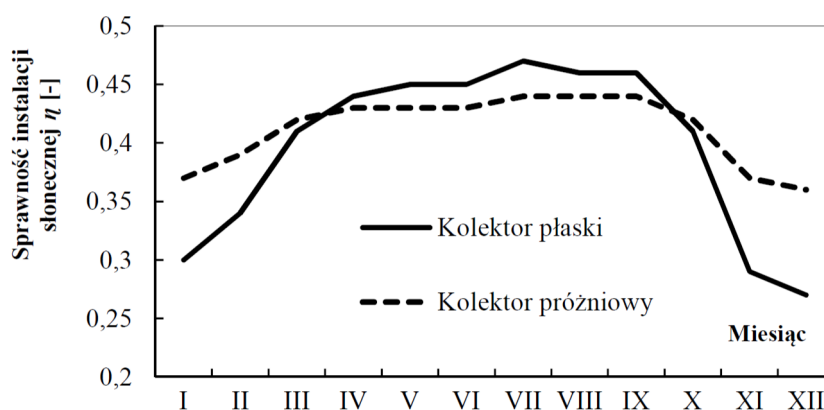
Table 2. Results calculations of auxiliary data using the f-chart method

Miesiąc	ω_{wsch}	H_0	I_r	I_b	R_b	$I_{c\beta}$
	[°]	[kJ/m ²]	[kJ/m ² -d]	[kJ/m ² -d]	[-]	[kJ/m ² -d]
I	63,38	9306,7	2075	1536	3,334	6 894
II	74,65	14955,3	3256	2128	2,349	7 780
III	87,56	22774,1	5050	3604	1,650	10 260
IV	101,80	31731,8	7183	5986	1,198	13 305
V	114,25	38659,3	8828	8608	0,980	15 974
VI	120,47	41556,2	9469	10146	0,905	17 268
VII	117,28	39905,9	9085	8314	0,941	15 582
VIII	107,14	34527,2	7879	7728	1,091	15 159
IX	93,99	26596,1	5901	4285	1,408	11 073
X	79,77	17764,0	3891	2593	2,031	8 589
XI	66,68	10742,3	2286	1334	2,995	5 948
XII	59,84	7810,2	1732	1228	3,764	6 101

Tabela 3. Wyniki obliczeń metodą f-chart efektywności instalacji z kolektorami płaskimi i próżniowymi

Table 3. Results calculations using the f-chart method of the system efficiency with flat-plate and evacuated tube collectors

Miesiąc	X	Y	f	η	X	Y	f	η
	Kolektory płaskie				Kolektory próżniowe			
I	5,687	0,614	0,233	0,303	2,398	0,457	0,275	0,371
II	5,584	0,693	0,296	0,342	2,355	0,516	0,325	0,389
III	5,165	0,914	0,465	0,407	2,178	0,680	0,460	0,417
IV	4,582	1,185	0,651	0,439	1,932	0,882	0,613	0,429
V	4,019	1,423	0,798	0,449	1,695	1,059	0,735	0,428
VI	3,733	1,539	0,864	0,449	1,574	1,144	0,791	0,427
VII	3,528	1,388	0,807	0,465	1,488	1,033	0,732	0,437
VIII	3,600	1,351	0,785	0,465	1,518	1,005	0,714	0,439
IX	4,071	0,987	0,563	0,457	1,717	0,734	0,525	0,441
X	4,572	0,765	0,394	0,412	1,928	0,569	0,392	0,425
XI	5,104	0,530	0,195	0,294	2,152	0,394	0,237	0,371
XII	5,554	0,544	0,185	0,272	2,342	0,404	0,235	0,359



Rys. 1. Średnia miesięczna sprawność instalacji

Fig. 1. Monthly mean installation efficiency

W styczniu, lutym oraz listopadzie i grudniu kolektory próżniowe dostarczą łącznie o około 70 kWh energii więcej niż kolektory płaskie. W marcu i październiku oba kolektory wykazują zbliżone wydajności, natomiast w miesiącach letnich (od kwietnia do września) kolektory płaskie dostarczą łącznie o około 150 kWh energii więcej niż kolektory próżniowe. Im więcej energii instalacja pozyska ze Słońca tym mniej energii dostarczy źródło konwencjonalne, spowoduje to obniżenie kosztów wytwarzania c.w.u. w budynku.

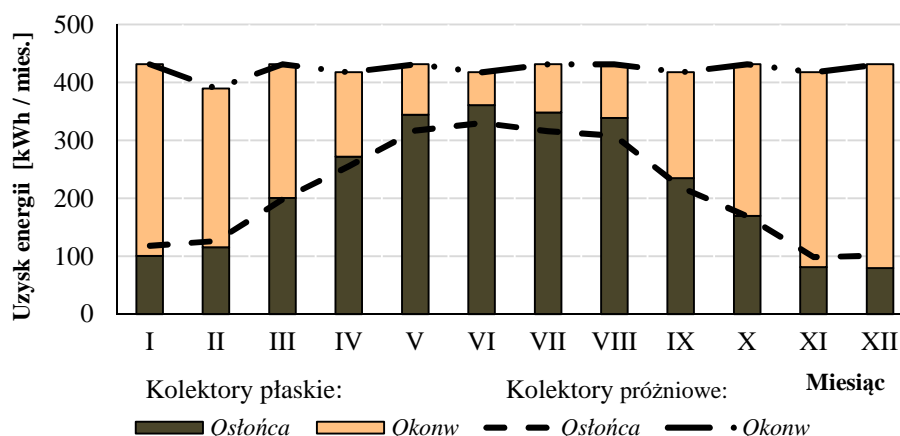
Tabela. 4. Procentowe pokrycie zapotrzebowania na ciepło przez kolektory płaskie i próżniowe

Table 4. Percentage of heat demand provided by flat-plate and evacuated tube collectors

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Płaski [%]	23,3	29,6	46,5	65,1	79,8	86,4	80,7	78,5	56,3	39,4	19,5	18,5
Próżniowy [%]	27,5	32,5	46,0	61,3	73,5	79,1	73,2	71,4	52,5	39,2	23,7	23,5

Instalacje w obu przypadkach są w stanie, w ciągu roku, pokryć ok. 50% zapotrzebowania na ciepło do ogrzania wody. W okresie zimowym instalacja z kolektorami płaskimi pokrywa średnio 29,5% zapotrzebowania na ciepło do ogrzania wody, a z kolektorami próżniowymi 32%, natomiast w okresie letnim wynosi ono: kolektory płaskie 74,5%, a kolektory próżniowe 68,5% (tab. 4).

Analizując ilość energii słonecznej do podgrzewania wody uzyskaną w kolejnych miesiącach w ciągu roku (rys. 2) widać, że dla obu instalacji słonecznych największą ilość uzyskamy w czerwcu, natomiast najmniej w grudniu.



Rys. 2. Miesięczny uzysk energii z kolektorów płaskich/próżniowych oraz ze źródła konwencjonalnego

Fig. 2. Monthly energy yield by solar flat-plate/evacuated tube collectors and conventional source

Lepszy profil energii, pozyskanej w ciągu roku ze źródła konwencjonalnego, uzyskamy z kolektorów próżniowych. W grudniu ilość energii nie przekroczy 330 kWh. Dla kolektorów płaskich, wartość ta zostanie przekroczone w trzech miesiącach (listopad, grudzień i styczeń).

W okresie letnim ilość energii słonecznej pozyskana za pomocą kolektorów próżniowych w poszczególnych miesiącach nie przekroczy 330 kWh, natomiast w przypadku kolektorów płaskich zostanie przekroczone w maju, czerwcu, lipcu i sierpniu. Wskutek tego, roczna ilość energii słonecznej pozyskana z kolektorów płaskich jest o 3,4% większa niż z kolektorów próżniowych (w sezonie letnim oraz zimowym o ok. 8,8%).

5. Analiza finansowa

Odtwarzalność promieniowania słonecznego powoduje, że po okresie zwrotu kosztów inwestycyjnych w instalację słoneczną, można uzyskać energię do wytwarzania ciepłej wody ponosząc jedynie niewielkie koszty eksploatacyjne. W trakcie eksploatacji użytkownik ponosi tylko koszty za energię pobraną przez sterownik i pompę obiegową czynnika roboczego oraz wymianę czynnika. Czynnik roboczy zaleca się wymieniać raz na 5 lat. Żywotność instalacji słonecznej jest oceniana na około 20 lat i dotyczy okresu, w którym kolektory słoneczne są w stanie efektywnie produkować ciepło. Jednak w praktyce okres ten jest o wiele dłuższy. Decyzja o wymianie paneli słonecznych jest często podyktowana tym, że na rynku z czasem pojawiają się nowe modele paneli słonecznych (o wyższej sprawności), niż fakt obniżenia sprawności absorbera.

Tabela 5. Oszczędności w wyniku wykorzystania energii słonecznej Z

Table 5. Savings a result of using solar energy Z

Podstawowy nośnik energii w budynku	Koszt jedn. energii [zł/kWh]	Zaoszczędzona energia przy eksplo. rocznej [kWh/rok]		Zaoszczędzona energia przy eksplo. sezonowej (IV-IX) [kWh/sezon]		Zysk Z			
		kol. płaskie	kol. próżniowe	kol. płaskie	kol. próżniowe	Rok [zł/rok]		Sezon (IV-IX) [zł/sezon]	
						kol. płaskie	kol. próżniowe	kol. płaskie	kol. próżniowe
Gaz ziemny	0,12	2648	2561	1900	1748	318	307	228	210
En. elektryczna	0,59					1562	1511	1121	1031

Czas zwrotu kosztów inwestycji metodą statyczną T_{zu} oblicza się jako iloraz kosztów całej inwestycji K_i (koszty zakupu poszczególnych elementów instalacji wraz z kosztami montażu) oraz różnicy kwoty jaką zaoszczędziliśmy wykorzystując alternatywne źródło energii Z oraz kosztów poniesionych na eksploatację systemu w ciągu jednego roku K_{eks} [8].

Pompa obiegowa (63 W) będzie pracować ok. 9 godzin dziennie w okresie letnim oraz 4 godziny dziennie w okresie zimowym, w przypadku, kiedy instalacja będzie użytkowana cały rok. Poniesione koszty energii elektrycznej wynoszą: $K_{el(rok)} = 88,3$ zł/rok, w tym $K_{el(lato)} = 61,2$ zł/sezon.

Jednostkowy koszt ciepła wytworzonego z prądu jest wyższy od kosztu ponoszonego przy wykorzystaniu gazu ziemnego. Roczny zysk zastąpienia energii elektrycznej, jako podstawowego źródła, energią pozyskaną z kolektorów słonecznych jest ok. 5 razy wyższy w porównaniu z gazem ziemnym (tab. 5).

W ramach dofinansowania z programu PROSUMENT w 2016 r. istnieje możliwość 20% dotacji do instalacji kolektorowej, a po 2016 r. 15% dotacji. Możliwość skorzystania z dofinansowania jest możliwa jedynie wraz z wzięciem kredytu preferencyjnego [9].

Opłacalność wykorzystania energii słonecznej wystąpi przy zastąpieniu źródła ciepłej wody zasilanego energią elektryczną. Wówczas czas zwrotu kosztów bez dotacji dla kolektorów płaskich wynosi 7,5 lat, a kolektorów próżniowych jest nieco wyższy i wynosi 9,5 lat (tab. 6).

Tabela 6. Okres zwrotu kosztów instalacji słonecznej

Table 6. Payback period of the solar system

Podstawowy nośnik energii w budynku	Okres zwrotu kosztów inwestycji bez korzystania z dotacji, [lat]		Okres zwrotu kosztów inwestycji z 20% dotacją, [lat]	
	kol. płaskie	kol. próżniowe	kol. płaskie	kol. próżniowe
Gaz ziemny	34,5	44,5	30,5	39,0
En. elektryczna	7,5	9,5	6,5	8,5

W przypadku wykorzystania innych rodzajów energii konwencjonalnej okres zwrotu kosztów instalacji solarnej zdecydowanie przekracza okres przyjmowanej żywotności instalacji. Biorąc pod uwagę aspekty ekologiczne instalacja słoneczna bez wątpienia przewyższa inne konwencjonalne źródła energii dostarczające do środowiska szkodliwe zanieczyszczenia, które narastając z biegiem czasu będą miały negatywny wpływ na otoczenie, w którym żyjemy.

Korzystając z dotacji w przypadku analizowanych inwestycji można zaoszczędzić 11,4% całkowitych kosztów inwestycji, zarówno w przypadku instalacji z kolektorami płaskimi jak i próżniowymi. Czas zwrotu kosztów inwestycji po skorzystaniu z dofinansowania skróci się w przypadku energii elektrycznej o rok, a gazu o ok. 5 lat (tab. 6).

Analiza opłacalności inwestycji z zastosowaniem metody dynamicznej z wykorzystaniem wskaźnika *NPV* pozwoliła na wyznaczenie wartości bieżącej netto [10]. Wyznaczono przepływy pieniężne, w każdym roku użytkowania inwestycji, zakładając 20 letni okres użytkowania instalacji. Uwzględniono współczynnik dyskontujący przy założeniu stałej stopy dyskontowej, która w roku 2016 wynosi $r = 2,83\%$ [11]. Obliczenie przepływów pieniężnych wymagało uwzględnienia, w poszczególnych latach eksploatacji, nakład inwestycyjny INV_t [zł] oraz oszczędności wynikających z użytkowania instalacji Z [zł].

W interpretacji wyników obliczeń wskaźnika *NPV* skorzystano z założenia, że jeśli $NPV > 0$, to inwestycja jest opłacalna; jeżeli $NPV = 0$, to zyski wynikające z użytkowania instalacji równoważą się z nakładami inwestycyjnymi na tę instalację, natomiast w przypadku $NPV < 0$ inwestycja jest nieopłacalna [10].

Wartość nakładów inwestycyjnych INV dla pierwszego roku inwestycji jest równa całkowitej wartości instalacji słonecznej. Dla instalacji z kolektorami płaskimi wynosi $INV = 12612$ zł, natomiast dla instalacji z kolektorami próżniowymi $INV = 15804$ zł. W kolejnych latach użytkowania instalacji INV przyjmują wartość kosztów jakie użytkownik ponosi w wyniku jej eksploatacji tj. wymiana

czynnika roboczego oraz zużycie energii elektrycznej na pracę pompy obiegowej. Wartość INV w następnych lat eksploatacji jest stała, zarówno dla instalacji z kolektorami płaskimi jak i próżniowymi, i wynosi $INV = 137$ zł.

Zakładając, że podstawowym źródłem wytwarzania ciepłej wody jest energia elektryczna obliczona wartość NPV , stanowiąca sumę zdyskontowanej wartości oszczędności wynikającej z użytkowania instalacji słonecznej dla 20 lat eksploatacji, wyniosła: dla kolektorów płaskich $NPV = 9676,66 > 0$, a dla kolektorów próżniowych $NPV = 5687,37 > 0$. Wyniki obliczeń pokazują, że inwestycja jest opłacalna.

Gdy podstawowym źródłem wytwarzania ciepłej wody jest gaz ziemny wartość NPV wyniosła: dla kolektorów płaskich $NPV = -9665,05 < 0$, a dla kolektorów próżniowych $NPV = -13020,24 < 0$. Świadczy to o nieopłacalności inwestycji.

6. Podsumowanie

Rozwiązywanie zagadnienia efektywności energetycznej wykorzystania energii słonecznej w ogrzewaniu ciepłej wody przeprowadza się na podstawie analizy energetyczno-ekonomicznej opisaną przez wskaźniki techniczne i finansowe. W metodzie f-chart wyznaczone wskaźniki techniczne X i Y i funkcja korelacyjna f pozwalają na obliczanie energii pozyskanej ze Słońca oraz źródła konwencjonalnego w kolejnych miesiącach roku, w określonych przedziałach czasu (sezon) oraz w ciągu całego roku.

Analiza instalacji wykazała, że w sezonie letnim (IV-IX) możliwe jest większe o 8,7% pozyskanie energii słonecznej przez kolektory cieczowe płaskie w porównaniu z kolektorami próżniowymi (rocznie o 3,4%). Natomiast kolektory próżniowe charakteryzuje korzystniejszy w okresie zimy profil energii pozyskanej ze źródła konwencjonalnego, z uwagi na wyższą o 5% sprawność instalacji z kolektorami próżniowymi, w porównaniu z kolektorami płaskimi.

Z przeprowadzonej na podstawie wskaźników finansowych analizy wynika, że najbardziej opłacalna jest rozwiązanie, kiedy w celu ogrzewania wody energia słoneczna będzie zastępowała źródło ciepła wykorzystujące energię elektryczną. W analizowanych instalacjach czas zwrotu kosztów inwestycyjnych wynosi 7,5 lat dla instalacji z kolektorami płaskimi i 9,5 lat dla instalacji z kolektorami próżniowymi. W przypadku wspomagania instalacji źródłem opartym o gaz ziemny czas zwrotu kosztów inwestycyjnych instalacji słonecznej wielokrotnie przewyższa zakładany czas eksploatacji kolektorów słonecznych, i w związku z tym to rozwiązanie jest nieopłacalne.

Metoda f-chart zastosowana w obliczeniach pozwala na ocenę efektów działania instalacji słonecznej na podstawie podstawowej charakterystyki kolektorów i uśrednionych miesięcznych danych meteorologicznych. Skutkiem tego jest bardzo użyteczna w wykonywaniu badań i opracowań z zakresu ocen energetycznych, które służą poszukiwaniu optymalnych rozwiązań instalacji słonecznych.

Literatura

- [1] E. Rybak-Wilusz, V. Pisarev, P. Sawicka "Urządzenia zintegrowanych systemów zaopatrzenia w energię budynku zamieszkania zbiorowego". Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture JCEEA, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), lipiec-wrzesień 2014, s. 459-468, DOI:10.7862/rb.2014.112.
- [2] I. F. Okafor and G. Akubue "F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems", International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 3, Issue 9, September - 2012.
- [3] Wolańczyk F. „Jak wykorzystać дарowaną energię” KaBe, Krosno 2011.
- [4] K. Sujith "Design Of Active Solar Water Heating System Using F-Chart Method", International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 2 Issue 7, July - 2013.
- [5] Pluta Z. „Słoneczne instalacje energetyczne” Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
- [6] „Sprawozdanie z przeprowadzonych badań i wykonania charakterystyk cieplnych kolektora promieniowania słonecznego HELIOSTAR 202 firmy THERMO - SOLAR POLSKA”, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 2011.
- [7] Solar water heating project analysis - RETScreen International Clean Energy Project Analysis Course, Minister of Natural Sources Canada 2001-2014.
- [8] Dąbrowski J. „Kolektory słoneczne do podgrzewania wody użytkowej. Efektywność i opłacalność instalacji” Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2009.
- [9] www.nfosigw.gov.pl - strona internetowa Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, (dostęp 4.04.2016).
- [10] J. Górzyński "Audyting energetyczny obiektów przemysłowych" Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa 1995.
- [11] www.uokik.gov.pl - strona internetowa Urzędu Ochrony Konsumentów i Konkurencji, (dostęp 28.04.2016).
- [12] <http://mib.gov.pl/2> Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.html - dane meteorologiczne do obliczeń energetycznych budynków Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa, (dostęp 4.03.2016).
- [13] www.pogodynka.pl/polska/daneklimatyczne/ - serwis pogodowy IMGW - średnie temperatury powietrza dla poszczególnych miesięcy w Polsce, (dostęp 3.01.2016).

ENERGY AND ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR ENERGY UTILIZATION

Summary

The purpose of this analysis is to evaluation of the efficiency of utilization solar energy to heat hot water in the solar thermal collectors installation. It involves, among other things, determining the energy volume of solar irradiation reaching to the solar collector surface

and identify heat demand. In the longer periods of time (month, year) the heat consumption for heating hot water is constants, in contrary to changes of solar irradiance. This causes some difficulty in estimating the effects of the solar installation. The position of the Sun determines the number of parameters used to calculate the components solar radiation. In the study was made an energy evaluation of the solar installation in residential building using the method f-chart. It is based on a general characteristics of solar collectors and an averaged meteorological data. Comparative analysis of two installations with flat-plate solar collectors and evacuated tube collector has been made. Economic analysis of the solar system provides a complete picture of savings from utilization solar energy and indicates a solution, taking into account investment and operating costs. Conclusions of this analysis indicate the factors which may be taken into account when choosing the type of solar collectors and practical design solutions, solar installations with high thermal efficiency.

Keywords: f-chart method, liquid flat-plate solar collector, evacuated tube collector, hot water installation, energy efficiency, economic indicators

DOI:10.7862/rb.2016.291

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Adam RYBKA¹

ARCHITEKTURA I DOSTĘPNOŚĆ OBIEKTÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ DLA OSÓB Z DYSFUNKCJĄ WZROKU

Istnieje potrzeba wygenerowania wspólnych i spójnych zasad, które pozwoliłyby zrozumieć niepełnosprawność jako zjawisko systemowe. Istnieje wiele różnych definicji niepełnosprawności. Skutki, jakie pociąga za sobą dysfunkcja wzroku zależą od kilku czynników. Przestrzeń wielosensoryczną łączy w sobie elementy architektury, sztuki i komunikacji medialnej. Istotą projektu architektonicznego obiektów użyteczności publicznej jest funkcjonalność, prostota i intuicyjność w użytkowaniu. Duży nacisk jest przykładany do projektowania przestrzeni i przedmiotów w taki sposób, aby ich funkcja była zrozumiała dla każdego użytkownika, bez względu na jego doświadczenie czy zaawansowany stopień dysfunkcji.

Słowa kluczowe: architektura, projektowanie, obiekty rehabilitacji, osoby z dysfunkcją wzroku

1. Jakość życia osób z niepełnosprawnością wzroku

Jakość życia osób z niepełnosprawnością wzroku, w ostatnich latach, stała się przedmiotem badań w wielu dziedzinach. Szczegółowo analizowane są zjawiska niepełnosprawności i rodzaje barier budowlanych, które utrudniają nieskrępowaną kontrolę nad funkcjami osób dysfunkcyjnych. Istnieje potrzeba stworzenia wspólnych i spójnych zasad, które pozwolą zrozumieć niepełnosprawność jako zjawisko systemowe. Zwolennicy podejścia systemowego twierdzą, że niepełnosprawność wzroku jest relatywna i jest wynikiem ludzkiej podatności na choroby i cechy środowiska, które powodują zaostrenie ujawniania się ograniczonych zdolności sensorycznych i poznawczych.

Istnieje kilka różnych definicji niepełnosprawności wzroku. Środowisko medyczne w zakresie postrzegania problemów tej niepełnosprawności odnosi się do osób dotkniętych chorobą. Osoba z niepełnosprawnością wzrokową jest zdiagnozowana jako osoba chora. Popularyzacja zjawiska stygmatyzacji środowiska niepełnosprawnych prowadzi do przyjęcia, że ograniczona wydajność jest następ-

¹ Adam Rybka, Politechnika Rzeszowska, Zakład Urbanistyki i Architektury, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; tel. 178651624; akbyr@prz.edu.pl

stwem wad, braków i błędów. Obecnie redefiniuje się rolę osoby niepełnosprawnej. Taka osoba ma równe prawo do korzystania ze środowiska zbudowanego. Akcenty są zmieniane w celu uwzględnienia stanu badań ludzkich cech poznawczych.

Światowa Organizacja Zdrowia przyjęła w 2001 roku nowy system modelu niepełnosprawności. Niepełnosprawność jest rozumiana jako wynik złożonych relacji między stanem zdrowia jednostki i określonej grupy ludzi oraz czynnikami zewnętrznymi, które reprezentują warunki, w których poszczególne osoby funkcjonują. Poszerzona definicja traktuje każdą osobę z niepełnosprawnością i sytuację w jakiej się ona znajduje jako indywidualną i jedyną w swoim rodzaju.

2. Dysfunkcja wizualna

Zaburzenia wzrokowe zależą od wielu czynników. Ważny jest wiek, w którym dochodzi do ograniczenia lub utraty wzroku. Istnieje jakościowa różnica między osobami niewidomymi od urodzenia lub wczesnego dzieciństwa a niewidomymi, którzy utracili wzrok powyżej wieku 5 lat. Tych ostatnich bardziej doświadcza ich niepełnosprawność i jest to uzależnione od charakteru utraty wzroku, zakresu utraty wzroku (całkowita utrata widzenia, zdolność do pocucia światła i z różnym stopniem widzenia); osobowości, styl życia, zainteresowań.

W przypadku dysfunkcji wzroku występującej od urodzenia lub powstałego we wczesnym dzieciństwie, niepełnosprawność może polegać na opóźnieniu rozwoju procesów funkcji poznawczych dziecka, opóźnieniu rozwoju mowy, zdolności percepcji otoczenia, socjalizacji oraz orientacji w przestrzeni. Osoby cierpiące z powodu utraty wzroku mają problemy z rozwojem pełnej osobowości (suma cech psychologicznych, takich jak przekonania, postawy, temperament, zdolności, charakter - specyficznych dla jednostki i określających konkretne zachowania i reakcje na te same zjawiska i sytuacje). Zwłaszcza osoby z nagłą utratą wzroku cierpią na depresję. Utrata wzroku powoduje "dezorganizowaną" osobowość, wynikającą z utraty pełnej wartości fizycznej człowieka. W wyniku gwałtownej lub postępującej dysfunkcji wzroku pojawia się utrata mobilności, która powoduje przywiązanie osoby do jednego miejsca, w wyniku strachu i poczucie zależności od innych osób. Utratę możliwości korzystania z narzędzi codziennego życia określają progresywne zaburzenia osobowości, brak akceptacji zaistniałej sytuacji i poczucie bezradności podczas wykonywania podstawowych czynności.

Upośledzenie niedowidzących związane jest z problemami w uzyskiwaniu informacji i utratą łatwości komunikacji poprzez pismo i wykorzystanie informacji graficznych. Ponadto, niezdolność do odbierania gestów, mimiki, języka ciała, sprawia, że trudno odczytać emocje i informacje generowane przez inne osoby.

Utrata wzroku na stałe lub czasowo, ogranicza lub uniemożliwia życie codzienne, pełnienie roli społecznych i normalne funkcjonowanie w środowisku społecznym.

3. Dostępność budynków dla osób z ograniczeniami wzroku

Dostępność budynków dla osób niepełnosprawnych wzrokowo oraz przystosowanie ich do potrzeb tej grupy użytkowników wiąże się z koniecznością likwidacji barier budowlanych, technologicznych i mentalnych. Na udogodnienia i dostosowania, które ułatwiają korzystanie z budynków i ich sąsiedztwa składają się różne elementy. Mogą one służyć również osobom posiadającym różne czasowe niesprawności, rodzicom z małymi dziećmi oraz osobom starszym. Ze względu na powyższe wymagania konieczne jest oprócz stosowania zasad projektowania bez barier, zastosowanie również zasad projektowania uniwersalnego dotyczącego obiektów użyteczności publicznej. Obiekty użyteczności publicznej definiuje Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 roku, nr 75, poz. 690, z p. zm.) . Jest to „budynek przeznaczony na potrzeby administracji publicznej, wymiaru sprawiedliwości, kultury, kultu religijnego, oświaty, szkolnictwa wyższego, nauki, wychowania, opieki zdrowotnej, społecznej lub socjalnej, obsługi bankowej, handlu, gastronomii usług, w tym usług pocztowych lub telekomunikacyjnych, turystyki, sportu, obsługi pasażerów w transporcie kolejowym, drogowym, lotniczym, morskim lub wodnym śródlądowym oraz inny budynek przeznaczony do wykonywania podobnych funkcji; za budynek użyteczności publicznej uznaje się także budynek biurowy i socjalny” [1]. Jak więc widzimy grupa tych obiektów jest bardzo szeroka i niesie za sobą szerokie spektrum funkcji i zagadnień.

Kwestię dostosowania budowlanych obiektów reguluje ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku - Prawo Budowlane (Dz. U. z 2006 roku, Nr 156, poz. 1118, z p. zm., t. j. Dz. U. z dnia 23 grudnia 2010 r. Nr 243, poz. 1623. Stan prawny na dzień 29.03.2011). Prawo budowlane określa, że „obiekt budowlany należy projektować i budować w sposób zapewniający (...) m.in. niezbędne warunki do korzystania z obiektów użyteczności publicznej i mieszkaniowego budownictwa wielorodzinnego przez osoby niepełnosprawne, w szczególności poruszające się na wózkach inwalidzkich” [2]. Zapis ten ma za zadanie umożliwić lub w znacznym stopniu ułatwić osobie niepełnosprawnej wykonywanie podstawowych, codziennych czynności lub kontaktów z otoczeniem. Obie definicje są elementami przyjętego i stosowanego od lat systemu projektowanie bez barier.

Bariery budowlane dotyczą utrudnień występujących w budynkach lub ich bliskim otoczeniu, które w związku z rozwiązaniami technicznymi lub warunkami użytkowania znacznie utrudniają swobodę poruszania się osobom niepełnosprawnym również z ograniczeniami wzroku. Bariery techniczne stanowią przeszkody wynikające ze złego zastosowania lub niedostosowania odpowiednich urządzeń do różnego rodzaju niepełnosprawności. Poważne zagadnienie stanowią udogodnienia dla osób niewidomych i niedowidzących. Bariery te utrudniają lub uniemożliwiają osobie swobodne poruszanie się. Likwidacją tego typu bariery jest montaż urządzeń rekompensujących zaburzone funkcje wzroku.

Dostępność oznacza, że osoby z zaburzeniami funkcji wzroku muszą mieć zapewniony dostęp na równych prawach z innymi, do transportu wewnętrznego, środowiska fizycznego budynków oraz systemów informacyjnych. Jest to główny warunek do umożliwienia uczestniczenia w każdej sferze życia społecznego i gospodarczego dla osób z zaburzeniem funkcji wzroku. Przestrzeń zbudowana powinna być projektowana z myślą o potrzebach osób w różnym wieku z różnymi możliwościami motorycznymi i poznawczymi, posiadającymi różne doświadczenie i uwarunkowania kulturowe. Tak pojmowane projektowanie powinno mieć charakter uniwersalny. Takie projektowanie powinno ograniczać wykluczenie społeczne i powinno przynosić rozwiązania projektowe, które umożliwiają dostęp wszystkim bez konieczności wprowadzania modyfikacji specjalnie dla osób niepełnosprawnych w tym osób z zaburzeniem funkcji wzroku. Stworzenie budynków i ich otoczenia bez barier wymaga przemyślanych działań i stosowania filozofii projektowania uniwersalnego w przestrzeni zbudowanej.

4. Diagnozowanie barier funkcjonalnych i budowlanych – dla osób z ograniczeniami wzroku

Z uwagi na różne rozumienie i postrzeganie definicji dostępności, badane zagadnienie wymaga dalszych analiz. Dostępność budynków nie może być oderwana od dostępności jego otoczenia. „Europejska Strategia w sprawie niepełnosprawności 2010-2020”: prezentuje wytyczne budowania „Europy bez barier”, w których jako pierwszy i podstawowy obszar działania wszystkich zaangażowanych podmiotów wskazano dostępność.

„Dostępność” oznacza, że osoby niepełnosprawne muszą mieć zapewniony dostęp do środowiska fizycznego obiektu na równych prawach z innymi.

Istniejące budynki użyteczności publicznej oferują ograniczone możliwości korzystania z nich, powodem jest na przykład umiejscowienie różnych części tej samej instytucji na piętrach i np. braku wind, co utrudnia osobom z dysfunkcjami narządu ruchu i wzroku dostanie się do danej placówki. Niektóre z dostosowań np.: pochylnie lub drzwi wejściowe mają niewłaściwe wyposażenie lub wymiary. Wnętrza budynków wymagają dostosowania i wykonania wielu dodatkowych prac modernizacyjnych, tak by mogły z nich korzystać osoby z ograniczeniami ruchowymi i w widzeniu.

Kluczowym problemem, od którego należy rozpocząć działania zmierzające do usprawnienia dostępności przestrzeni publicznej w budynkach użyteczności publicznej jest zmiana świadomości osób decyzyjnych oraz innych uczestników życia społecznego poprzez zapoznanie ich z ideą i zasadami projektowania uniwersalnego.

W grudniu 2006 roku na posiedzeniu plenarnym ONZ przyjęła konwencję o prawach osób niepełnosprawnych. Weszła ona w życie 3 maja 2008 roku. Polska podpisała tę konwencję w marcu 2007 roku. Konwencja nakazuje tworzenie warunków do korzystania z praw przez osoby niepełnosprawne na równi z innymi osobami i zakazuje dyskryminacji niepełnosprawnych. Państwa sygnatariusze konwencji zobowiązały się między innymi do opracowania i wdrożenia minimal-

nych standardów w zakresie dostępności urządzeń i usług ogólnie dostępnych, a także oznakowania w budynkach ogólnodostępnych w alfabecie Braille'a oraz w innych formach łatwych do czytania i zrozumienia.

Według definicji opracowanej przez Center of Universal Design Uniwersytetu Północnej Karoliny w Stanach Zjednoczonych; Projektowanie uniwersalne dla wszystkich, to projektowanie środowiska i innych produktów, które mogą być używane przez wszystkich ludzi, bez potrzeby adaptacji lub specjalistycznego projektowania. Projektowanie to powinno być oparte o odpowiednie zasady. Obiekt powinien być elastyczny i wygodny w użytkowaniu. Powinien posiadać intuicyjne i proste rozwiązania oraz prostą i czytelną informację. Powinien charakteryzować się tolerancją na potencjalne błędy użytkownika. Powinien być użyteczny dla osób o zróżnicowanej sprawności za sprawą odpowiednio dobranych parametrów wielkości i przestrzeni dla prawidłowego dostępu i użytkowania.

Otoczenie zabudowane człowieka powinno być projektowane z myślą o osobach w różnym wieku, mających różny stopień sprawności motorycznej i poznawczej, zróżnicowane doświadczenia i żyjących w odmiennych obszarach kulturowych. Projektowanie uniwersalne dla wszystkich, koncentruje się na szeroko rozumianej różnorodności ludzi i w tym sensie ma uniwersalny charakter wpływający na to, że nikt nie podlega wykluczeniu, a korzyść odnosi każdy użytkownik przestrzeni publicznej. Identyfikacja potrzeb tak zwanych ekstremalnych użytkowników – na przykład osób cierpiących na choroby złożone – którzy nie byli uwzględniani w modelach analitycznych projektowania, pozwoliła poprawić jakość obiektów użyteczności publicznej oferowanych całemu społeczeństwu [3]. Projektowanie uniwersalne zmniejsza stopień stygmatyzacji osób niepełnosprawnych, oferując obiekty niewymagające dodatkowej modyfikacji czy specjalnych rozwiązań funkcjonalnych.

5. Wnioski

W przeszłości, w świetle założeń modeli analitycznych, niepełnosprawnych traktowano jako ludzi odbiegających od normy. Przeznaczone dla nich projekty były specjalnymi modyfikacjami rozwiązań pierwotnie opracowanych dla osób sprawnych.

Kolejnym etapem rozwoju metod projektowania w dziedzinie dostępności obiektów użyteczności publicznej dla niepełnosprawnych było tzw. projektowanie bez barier, które znalazło odzwierciedlenie w przepisach polskiego prawa budowlanego i w warunkach technicznych dotyczących obiektów użyteczności publicznej. Obecnie po przyjęciu konwencji ONZ dotyczącej osób niepełnosprawnych zmianie ulega również podejście do zasad projektowania, które powinny spełniać wymogi tzw. projektowania uniwersalnego lub inaczej projektowania dla wszystkich.

Istotą projektowania uniwersalnego jest stworzenie odpowiednich warunków dostępności, przestrzeni publicznej dla osób, które w różny sposób się przemieszczają, z różną precyzją postrzegają otoczenie i w różnym tempie realizują codzienne działania [3].

Występowanie różnych schorzeń, rodzajów niepełnosprawności, różnorodnych możliwości motorycznych i ograniczeń psychofizycznych, dzieli osoby niepełnosprawne na grupy sprawności. Wynika z tego, że nie ma jednego, uniwersalnego dla wszystkich sposobu dostosowania budynku do potrzeby osób niepełnosprawnych. Istnieją wytyczne, których zadaniem jest uśrednienie potrzeb osób niepełnosprawnych i umożliwienie, jak największej liczbie takich osób, swobodnego korzystania z budynków. Wytyczne te znajdują się w ustawie z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo Budowlane. Konieczne są dalsza praca nad rozszerzeniem katalogu tych wymagań obejmującym nie tylko zakres budowlany ale również zagadnienia z zakresu projektowania wyposażenia wnętrz w budynkach.

W związku z powyższym konieczne jest wprowadzenie zmian w polskim prawie budowlanym. W ostatnim czasie mieliśmy do czynienia z szeregiem dość istotnych zmian w prawie budowlanym przy czym w szczególności odnoszą się one do regulacji w zakresie formalnym, a rzadziej w zakresie merytorycznym. Celem takich zmian powinno być rozszerzenie pojęcia niepełnosprawności ograniczające się obecnie do osób poruszających się na wózkach inwalidzkich na inne grupy ograniczenia. Prace nad takimi zmianami wymagają wykonania odpowiednich badań i ekspertyz. Mogą one być przedmiotem odpowiednich badań naukowych.

Literatura

- [1] § 3, pkt. 6 rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [2] Art. 5, ust 1, pkt. 4 ustawy z dnia 7 lipca 1994 roku - Prawo Budowlane (Dz. U. z 2006 roku, Nr 156, poz. 1118, z p. zm., t. j. Dz. U. z dnia 23 grudnia 2010 r. Nr 243, poz. 1623. Stan prawny na dzień 29.03.2011).
- [3] Błaszak M., Przybylski Ł.: Rzeczy są dla ludzi. Niepełnosprawność i idea uniwersalnego projektowania, wyd. Scholer, Warszawa 2010. (http://scholar.com.pl/upload/product_files/2113/21_AZOzOS_tom10_.pdf).

ARCHITECTURE AND THE AVAILABILITY OF PUBLIC FACILITIES FOR THE VISUALLY IMPAIRED

Summary

There is a need to create common and consistent rules that would allow understanding disability as a phenomenon of the system. There are many different definitions of disability. The effects it entails visual dysfunction depends on several factors. Multisensory space combines elements of architecture, art and media. The essence of architectural design and rehabilitation facilities are functional, simple and intuitive to use, with an emphasis on open spaces and objects in such a way that their function was understandable for every user, regardless of experience or an advanced degree of dysfunction.

Keywords: Architecture, design, rehabilitation facilities, people with visual impairments

DOI:10.7862/rb.2016.292

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Adam RYBKA¹
Michał KRUPA²

WSPÓŁCZESNA ARCHITEKTURA HISTORYCZNEGO CENTRUM SKAWINY NA TLE DZIEDZICTWA MIASTA – WYBRANE PRZYKŁADY

W przedmiotowym artykule przedstawiono wybrane problemy ochrony krajobrazu kulturowego centrum Skawiny w kontekście współczesnych realizacji architektonicznych, które powstały na tym terenie w ciągu ostatnich 15 lat.

Skawina ma bogate dziedzictwo kulturowe, a geneza jego powstania wiąże się z polityką króla Kazimierza Wielkiego, który na terenach nadgranicznych w wieku XIV zakładał miasta i zamki warowne. W drugiej połowie XX wieku w mieście zrealizowano inwestycje związane z przemysłem ciężkim, co miało zdecydowanie negatywny wpływ na środowisko naturalne, ale także na dziedzictwo kulturowe miasta, które pogrążyło się w stagnacji. W oczach wielu mieszkańców, a także przyjezdnych Skawina stała się jedynie ośrodkiem przemysłowym, zaś jej średniowieczne korzenie i historia uległa niemal całkowitemu zapomnieniu. W ciągu ostatnich 20 lat miasto zaczęło się prężnie rozwijać. Dzięki funduszom europejskim zmodernizowano infrastrukturę komunikacyjną i odnowiono rynek, co sprawiło, że mieszkańcy miasta oraz zewnętrzni inwestorzy zaczęli modernizować istniejącą zabudowę, a na niezabudowanych jeszcze posesjach budować nowe obiekty, przeznaczone w większości pod funkcję handlową i usługową. Inwestycje te prowadzone są niejednokrotnie w zabytkowym centrum Skawiny. Niniejszy artykuł ma na celu analizę kierunków współczesnej architektury miasta w kontekście jego historii. Autorzy próbują odpowiedzieć na pytanie jak nowe obiekty i zabudowy wpływają na krajobraz kulturowy miasta.

Słowa kluczowe: Skawina, architektura współczesna, środowisko zabytkowe

1. Wprowadzenie

Skawina jest podkrakowskim ośrodkiem miejskim o średniowiecznym rodowodzie. Obecnie zamieszkuje go około 30 000 mieszkańców. Miasto powstało na mocy aktu lokacyjnego wystawionego w 1364 roku przez króla Kazimierza

¹ Adam Rybka, Politechnika Rzeszowska, Zakład Urbanistyki i Architektury, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; tel. 17 865 1658; akbyr@prz.edu.pl

² Autor do korespondencji / corresponding author: Michał Krupa, Politechnika Rzeszowska, Zakład Urbanistyki i Architektury, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; tel. 17 8651691; mkrupa@prz.edu.pl

Wielkiego, który w XIV wieku tworzył system umocnień obronnych państwa polskiego fundując nowe miasta warowne, modernizując istniejące oraz budując zamki wzdłuż najbardziej zagrożonych granic kraju [1]. W kolejnych wiekach miasto wielokrotnie nękane było najazdami obcych wojsk, licznymi pożarami oraz zarazami. W wyniku tych kataklizmów, praktycznie od okresu średniowiecza, przestało się systematycznie rozwijać. Dopiero druga połowa XIX wieku i początek XX - okres związany z budową w mieście kolei oraz pierwszych zakładów przemysłowych takich jak: browar, rafineria nafty, Fabryka Wyrobów Kamionkowych i Szamotowych oraz Fabryka Kawy Zbożowej i Cykorii Henryka Franka dał szansę Skawinie na podniesienie się z marazmu [2].

Okres ostatnich 15 lat to czas wzmożonego naporu inwestycyjnego nie tylko w tzw. strefie ekonomicznej miasta, ale także w jego centrum, które do dzisiaj posiada wysokie wartości kulturowe. Właśnie te wartości zobowiązują inwestorów i projektantów to tego, aby nowa architektura oraz modernizacje obiektów istniejących wykonywać z dbałością oraz w poszanowaniu historycznych korzeni miasta. Nie oznacza to negacji nowej formy architektonicznej, ale jej dogłębną analizę w kontekście historycznego otoczenia. Zabytkowa struktura urbanistyczna miasta oraz architektura jego centrum, pochodząca w większości z XIX wieku, w wielu przypadkach nie jest wystarczająco dobrze chroniona w zapisach Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego (dalej: MPZP), przez co może zostać bezpowrotnie zniszczona na skutek niekontrolowanego naporu inwestycyjnego.

Poniżej krótko scharakteryzowano krajobraz kulturowy miasta, a na jego tle zaprezentowano kilka przykładów współczesnych interwencji projektowych w centrum Skawiny. Część z nich dobrze koresponduje z zabytkowym otoczeniem. Są jednak przykłady zdecydowanie negatywne, które burzą ład przestrzenny i niszczą krajobraz kulturowy tego zabytkowego ośrodka.



Ryc. 1. Widok na rynek w Skawinie w pierwszej połowie XX wieku. Fot. [w:] Archiwum Autora

Fig. 1. View of the market square in Skawina in the 1st half of the 20th century. Photo: [in:] Archive of Author



Ryc. 2. Widok na rynek w Skawinie w latach 60-tych XX wieku. Fot. [w:] Archiwum Autora

Fig. 2. View of the market square in Skawina in the 1960s. Photo: [in:] Archive of Author

2. Krajobraz kulturowy i historyczne dziedzictwo Skawiny

Jak wspomniano we wstępie niniejszej pracy Skawina ma rodowód średniowieczny. Z okresu lokacji do naszych czasów zachował się niemal niezmienny układ urbanistyczny rynku i otaczających go bloków zabudowy oraz kościół parafialny pw. śś. Szymona i Judy. Inne, ważniejsze obiekty zabytkowe na terenie miasta to: XVII-wieczny kościół pw. NMP (pełniący w przeszłości funkcję kościoła szpitalnego); dawna XVIII-wieczna karczma, budynek Sokoła wzniesiony na pocz. XX w. w miejscu nieistniejącego obecnie zamku fundacji Kazimierza Wielkiego oraz ratusz z przełomu XIX i XX wieku projektu W. Ekielskiego [3]. Krajobraz kulturowy miasta tworzą obecnie także relikty obiektów przemysłowych, które powstały w Skawinie pod koniec XIX wieku. Do czasów obecnych zachowały się częściowo zabudowania dawnego browaru oraz Fabryki Kawy Zbożowej i Cykorii Henryka Franka [4]. Wymienione zabytki to tylko część dziedzictwa kulturowego miasta, który należy chronić i rewaloryzować. Nowe inwestycje architektoniczne lub przebudowy obiektów istniejących nie powinny naruszać ładu przestrzennego miasta, ale nową formą i estetyką winny go uatrakcyjnić.



Ryc. 3. Kościół pw. śś. Szymona i Judy w Skawinie. Stan istniejący. Fot. M. Krupa, 2015 r.

Fig. 3. Church of St. Simon and Jude in Skawina. Present state. Photo: M. Krupa, 2015



Ryc. 4. Kościół pw. NMP w Skawinie. Stan istniejący. Fot. M. Krupa, 2015 r.

Fig. 4. Church of Our Lady in Skawina. Present state. Photo: M. Krupa, 2015



Ryc. 5. Fragment skawińskiego Sokoła. Stan istniejący. Fot. M. Krupa, 2015 r.

Fig. 5. Fragment of the Sokół in Skawina. Present state. Photo: M. Krupa, 2015



Ryc. 6. Widok na ratusz w Skawinie. Fot. M. Krupa, 2015 r.

Fig. 6. View of the town hall in Skawina. Photo: M. Krupa, 2015

3. Współczesna zabudowa centrum Skawiny - wybrane przykłady

Niewątpliwie jedną z najważniejszych inwestycji miasta w ciągu ostatnich lat jest modernizacja płyty skawińskiego rynku. Główny plac miejski Skawiny został rozmierzony w średniowieczu, w okresie lokacji miasta przez Kazimierza Wielkiego i ma on wymiary 90 x 112,5 m, gdzie wymiar dłuższy określa odległość między pierzeją północną i południową. Rynek został otoczony pojedynczym rzędem bloków zabudowy. Wyprowadzono z niego łącznie osiem ulic, po dwie z każdego narożnika. Dzisiaj układ ten różni się od pierwotnego. Z narożnika północno – zachodniego wychodzą dwie ulice (ul. Mickiewicza i ul. Batorego), z narożnika północno – wschodniego wychodzi jedna ulica (w kierunku wschodnim ul. Pokoju), z narożnika południowo-wschodniego jedna (w kierunku południowym ul. Konopnickiej), z narożnika południowo-zachodniego także jedna ulica (w kierunku południowym ul. Żwirki i Wigury), z rynku wychodzi także ul. Słowackiego ze środka pierzei wschodniej po jej wtórnym przebiegu w okresie nowożytnym. Na skawińskim rynku od czasu powstania miasta odbywał się handel. Miasto otrzymywało od kolejnych władców przywileje handlowe, co powodowało, że rynek skawiński tętnił życiem. Wokół rynku mieściły się domy mieszkalne, pierwotnie drewniane, które z czasem zastąpiła zabudowa murowana. Na rynku w przeszłości stał ratusz. Niestety o tym z okresu średniowiecza i kolejnych, które istniały przed ratuszem „Ekielskiego” niewiele wiadomo [5].

Analiza historii miasta oraz skawińskiego rynku pozwala na stwierdzenie, był on zawsze był odbiciem kondycji miasta. Lata upadku i zastoju w wieku XVIII i na pocz. XIX spowodowały, że rynek oraz otaczająca go zabudowa były zaniedbane. Dopiero w drugiej połowie XIX wieku i na początku XX, kiedy miasto zaczęło podnosić się z upadku dokonano uporządkowania placu. Wówczas w jego pierzei zachodniej wzniesiono nowy ratusz proj. W. Ekielskiego [6].

Okres drugiej połowy XX wieku to czas, kiedy rynek zaczął ponownie podupadać. Negatywnym zjawiskiem było tutaj (podobnie jak w wielu miastach) stopniowe obsadzanie przestrzeni rynkowej drzewami i krzewami. Na skawińskim rynku wydzielono także kwatery z klombami. Historyczna przestrzeń, zamknięta się w prostokątnym rzucie płyty rynku została przecięta lokalną drogą przelotową łączącą ul. Mickiewicza z ul. Słowackiego. Zabieg ten zakłócił właściwy odbiór tej przestrzeni jako rynku miejskiego o średniowiecznym rodowdzie.

Długo oczekiwana rewitalizacja tego najważniejszego skawińskiego placu została zakończona w 2013 roku. Dzięki funduszom unijnym przestrzeń została uporządkowana, a część drzewostanu, który zakłócał odbiór tego urbanistycznego wnętrza, usunięta. Realizowany projekt architektoniczny autorstwa Pracowni LandArch, choć trudno go uznać za szczególnie przemyślany w kontekście Skawiny, należy ocenić pozytywnie. Z całą pewnością poprawił on jakość zaniedbanej i chaotycznej przestrzeni architektonicznej centrum miasta.



Ryc. 7. Widok na rynek w Skawinie od południowego-wschodu. Stan istniejący. Fot. M. Krupa, 03.2016 r.

Fig. 7. View of the market square in Skawina from the south-east. Present state. Photo: M. Krupa, 03.2016



Ryc. 8. Widok na rynek w Skawinie od północnego-zachodu. Stan istniejący. Fot. M. Krupa 03.2016 r.

Fig. 8. View of the market square in Skawina from the north-west. Present state. Photo: M. Krupa 03.2016

Mniej udaną współczesną realizacją w centrum Skawiny jest przebudowa narożnej kamienicy w rynku oznaczonej numerem Rynek 13 i ul. Słowackiego 2. Budynek został wzniesiony na początku XX wieku na rzucie odwróconej litery „L”. Pierwotnie był parterowy, dwutraktowy i ośmioosiowy [7]. W roku 1996 został on bardzo rozbudowany o kolejne dwie kondygnacje. Wówczas zmieniono

także podziały na elewacji. Tym samym, dom przy Rynku 13 nie przedstawia już wartości zabytkowych. Nie jest także atrakcyjny w swojej współczesnej „odsłonie”. Negatywne wrażenie tej nieudanej realizacji potęgują duże, chaotycznie zawieszane szyldy i reklamy oraz kolor elewacji.

Kolejną współczesną realizacją wartą odnotowania jest przebudowa kamienicy Rynek 24, która powstała w 1862 roku, na działce narożnej przy Rynku i ul. Batorego. Opisywany dom był pierwotnie obiektem parterowym, częściowo podpiwniczonym, wzniesionym na rzucie prostokąta. Do około połowy wieku XX budynek posiadał ciekawą dekorację w formie pilastrów i innych detali architektonicznych zaznaczonych w grubości tynku, nawiązujących do stylu klasycystycznego [8]. Dekoracja ta została zatarta podczas kolejnych remontów. Przełomowym czasem dla obiektu był 2011 rok, kiedy dokonano jego przebudowy. Dobudowano doń dwie kolejne kondygnacje (piętro oraz poddasze użytkowe). Zachowano pierwotne podziały elewacji (pięcioosiowość), w których początkowo oś środkową stanowiła przelotowa sień, a obecnie jest to wejście do budynku. Zasygnalizowano również (w formie uproszczonej) dawny detal. Podsumowując, należy stwierdzić, że zasadniczo realizacja ta należy do względnie udanych, aczkolwiek niedosyt stanowi lokalizacja lukarn w kondygnacji poddasza, która burzy porządek elewacji frontowej.



Ryc. 9. Widok na budynek Rynek 13 i ul. Słowackiego 2. Stan istniejący. Fot. M. Krupa 03.2016 r.

Fig. 9. View of the building at 13 Market Square and 2 Słowackiego Str. Present state. Photo: M. Krupa 03.2016



Ryc. 10. Widok na budynek Rynek 24. Stan istniejący. Fot. M. Krupa 03.2016 r.

Fig. 10. View of the building at 24 Market Square. Present state. Photo: M. Krupa 03.2016

Pisząc o nowych realizacjach w centrum Skawiny trzeba także skomentować przebudowę domu zlokalizowanego przy Rynku 21. Powstał on w drugiej poł. XIX wieku jako obiekt murowany z cegły, parterowy, dwutraktowy, trzyosiowy z sienią przelotową. Został wzniesiony na rzucie kwadratu. Elewacja frontowa posiadała wysoki cokół, była asymetryczna i czteroosiowa. Przed modernizacją obiekt posiadał dekorację w formie lizen pokrytych pseudorustyką wykonaną w tynku. Dom był przekryty dachem dwuspadowym z kalenicą równoległą

do ulicy i pierzei rynku [9]. W roku 2011 przystąpiono do przebudowy tego zabytkowego obiektu, dobudowując doń piętro z poddaszem użytkowym, co spowodowało zmianę kompozycji jego elewacji frontowej. Należy jednak stwierdzić, że efekt końcowy jest zadawalający. Budynek został dobrze wpasowany w istniejącą pierzeję rynku, na co ma także wpływ jego stonowana kolorystyka.

Ostatnim prezentowanym w tym artykule przykładem nowej formy w zabytkowej tkance urbanistycznej Skawiny jest budynek usługowy wzniesiony w bezpośrednim sąsiedztwie XVII-wiecznego kościoła pw. NMP. Przykład ten odbiega zasadniczo od prezentowanych wcześniej ponieważ dotyczy nowego budynku. Powstał on w 2011 roku na działce przy ul. Korabnickiej 1, która prowadzi z rynku na obrzeża miasta. Posesja wcześniej zabudowana była parterowym domem o typowo małomiasteczkowej architekturze. Forma nowego obiektu jest ciekawa, prosta, stonowana i zdawać by się mogło, że została właściwie wpasowana w istniejący krajobraz kulturowy. Niestety w widoku zarówno od centrum miasta jak i od wschodu zdominowała ona całkowicie bryłę zabytkowego kościoła, który jest ważnym elementem krajobrazu historycznej Skawiny. Zatem dopuszczenie w MPZP takiej formy należy uznać za poważny błąd.



Ryc. 11. Widok na budynek Rynek 21. Stan istniejący. Fot. M. Krupa 03.2016 r.

Fig. 11. View of the building at 21 Market Square. Present state. Photo: M. Krupa 03.2016

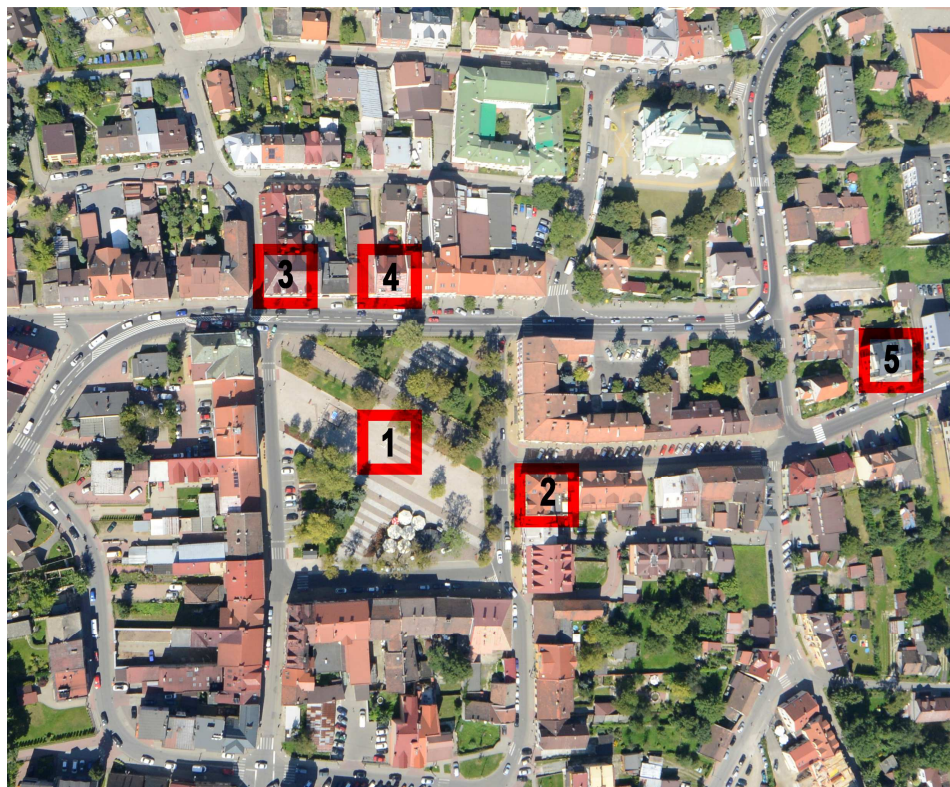


Ryc. 12. Widok na nowy budynek przy ul. Korabnickiej 1. Stan istniejący. Fot. M. Krupa 03.2016 r.

Fig. 12. View of the new building at 1 Korabnicka Str. Present state. Photo: M. Krupa 03.2016

4. Podsumowanie

Podsumowując niniejszy artykuł należy stwierdzić, że kierunek, w jakim zmierza współczesna architektura Skawiny, która powstaje w granicach historycznego układu urbanistycznego i jego otulinie, jest dość przypadkowy i nie skoordynowany przez władze miasta. Współczesne realizacje powstają jedynie według zasad wyznaczonych przez MPZP, który jak widać na części zaprezentowanych przykładów nie zawsze dość dobrze chroni krajobraz kulturowy miasta. Problem niezrozumienia m.in. przez niektórych architektów potrzeby ochro-



Ryc. 13. Ortofotomapa centrum Skawiny z oznaczeniem rynku oraz analizowanych realizacji architektonicznych: 1 - rynek, 2 - budynek Rynek 13 i ul. Słowackiego 2, 3 - budynek Rynek 24, 4 - budynek Rynek 21, 5 - budynek ul. Korabnicka 1. Na podstawie fot. W. Gorgolewskiego, opracował M. Krupa

Fig. 13. Orthophotomap of Skawina's centrum with marking of analysed architectural objects: 1 - market square, 2 - buildings at 13 Market Square and 2 Słowackiego St. 2, 3 - building at 24 Market Square, 4 - building at 21 Market Square, 5 - building at 1 Korabnicka St. Prep. M. Krupa based on photo by W. Gorgolewski

ny dziedzictwa miasta jest dobrze widoczny za przykładzie Skawiny. Projektowanie w środowisku zabytkowym jest dużym wyzwaniem i odpowiedzialnością, gdyż można bezpowrotnie zniszczyć największe wartości ośrodka, wartości, które winne być zachowane dla kolejnych pokoleń, ale także, paradoksalnie mogą być szansą na jego rozwój np. poprzez turystykę kulturową. Postuluje się zatem, aby władze Skawiny zachowywały większą kontrolę nad prowadzonymi w centrum miasta inwestycjami budowlanymi, gdyż mogą one zniszczyć bezpowrotnie to co w mieście najcenniejsze - krajobraz kulturowy.

Literatura

- [1] Kuśnierz-Krupa D., Skawina w średniowieczu. Zagadnienia urbanistyczno-architektoniczne, Wyd. PK, Kraków 2012, *passim*.
- [2] Krupa M., Rozwój przestrzenny i architektura Skawiny w XIX i w 1 połowie XX wieku, praca doktorska obroniona na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej, pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. arch. J. Gyurkovicha, mpis, Kraków 2011, *passim*.
- [3] Krupa M., Przemiany architektoniczne Skawiny na przełomie XIX i XX wieku. Część II – obiekty użyteczności publicznej / Architectonic transformations of Skawina at the turn of the 19th and 20th century. Part II – public utility buildings, “Wiadomości Konserwatorskie - Journal of Heritage Conservation” nr 42/2015, Wyd. ZG SKZ, Warszawa-Wrocław 2015, ss. 44-53.
- [4] Krupa M., Przemiany architektoniczne Skawiny w 2 połowie XIX i na początku XX wieku. Część I – zakłady przemysłowe / Architectonic transformations of Skawina during the 2nd part of the 19th and the beginning of the 20th century. Part I – industrial plants, “Wiadomości Konserwatorskie - Journal of Heritage Conservation” nr 35/2013, Wyd. ZG SKZ, Warszawa-Wrocław 2013, ss. 41-46.
- [5] Skawina. Studium historyczno-urbanistyczne, T. I, II, III, opr. S. Rusińska, PP PKZ O. Kraków, PDN-H, mpis., Kraków 1978-79, *passim*.
- [6] Chrzanowski T., Kornecki M., Sztuka Ziemi Krakowskiej, Wyd. Literackie, Kraków 1982, s. 521.
- [7] Krupa M., Rozwój przestrzenny..., *op.cit.*, s. 186.
- [8] Skawina. Studium historyczno-urbanistyczne, T. I, *op.cit.*, ss. 96-99.
- [9] *Ibidem*, ss. 89-92.

CONTEMPORARY ARCHITECTURE OF SKAWINA ON THE BACKGROUND OF HISTORIC HERITAGE OF THE TOWN

Summary

This article presents the problem of contemporary architectonic realisations in the centre of a historic town, such as Skawina near Krakow. The centre boasts rich cultural heritage, and its origins are connected with the politics of King Kazimierz Wielki who, in the borderlands in the 14th century, founded towns and fortified castles. In the 2nd half of the 20th century, investments related to heavy industry were realised in the town, which had a definitely negative impact on the natural environment, as well as the cultural heritage of the town that fell into stagnation. In the eyes of many inhabitants, as well as visitors, Skawina became merely an industrial centre, while its historic roots and past fell into almost total oblivion. During the last 20 years, the town began to develop rapidly. Thanks to e.g. European funds, communications infrastructure was modernised and the market square was renovated, which encouraged town inhabitants and external investors to modernise the existing buildings, and fill some still empty sites with newly-built objects mostly intended for services and commercial use. Those investments have frequently been carried out in the historic centre of Skawina. The purpose of this article is analysing tendencies in the contemporary town architecture in the context of its history. The authors are trying to answer the question how new objects and alterations influence the cultural landscape of the town.

Keywords: Skawina, contemporary architecture, historic environment

DOI:10.7862/rb.2016.293

Przesłano do redakcji: 15.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Tomasz STEIDL¹

Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ²

Bożena ORLIK-KOŹDOŃ³

Paweł KRAUSE⁴

ZAWILGOCENIE ŚCIAN BUDYNKU MIESZKALNEGO PO DOCIEPLENIU

Autorzy przedstawili wyniki wybranych pomiarów i analizę stanu wilgotnościowego fragmentu docieplonej ściany budynku wielorodzinnego wykonanego w technologii tradycyjnej wykazując, iż uproszczone analizy ciepłno-wilgotnościowe wykonane w fazie projektowej, nieuwzględniające początkowego zawilgocenia przegrody powoduje znaczące zawilgocenia i zagrzybienia ściany od strony wewnętrznej. Uszkodzenia takie są bardzo uciążliwe dla mieszkańców budynków poddanych termomodernizacji.

Słowa kluczowe: docieplanie budynków, zawartość wilgoci, system ETICS

1. Wprowadzenie

Docieplanie budynków mieszkalnych od kilku lat traktuje się jako typowy zabieg termomodernizacyjny, zarówno w zakresie projektowania jak i wykonawstwa. Wady lub uszkodzenia powstające w budynkach ocieplonych kojarzy się na ogół z wadliwym wykonawstwem, zamianą materiałów na inne niż projektowane lub rzadziej z typowymi błędami projektowymi. Szczegółowe wytyczne dotyczące projektowania, wykonawstwa i odbioru robót budowlanych w zakresie stosowania metody lekkiej mokrej, obecnie znanej jako ETICS, znajdują się w instrukcji ITB 447/2009. Wytyczne te wydają się być wystarczające do poprawnego projektowania i wykonania oraz odbioru robót dla budynków mieszkalnych. Występujące coraz częściej przypadki wzrostu wilgotności ścian

¹ Tomasz Steidl, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Tomasz.Steidl@polsl.pl

² Agnieszka Szymanowska-Gwiźdź, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Agnieszka.Szymanowska-Gwizdz@polsl.pl

³ Bożena Orlik-Koźdoń, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Bozena.Orlik@polsl.pl

⁴ Paweł Krause, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Pawel.Krause@polsl.pl

zewnątrznych budynków, a w konsekwencji zagrzybienia, w krótkim okresie po wykonaniu docieplenia nasuwają pytanie czy i jakie badania lub obliczenia należałoby wykonać aby uniknąć pojawiania się takich zjawisk, zwłaszcza w budynkach mieszkalnych (rys. 1).



Rys. 1. Zawilgocenie i zagrzybienie budynku po dociepleniu

Fig. 1. Moisture and fungus portion of the building after warming

2. Analizowany obiekt i występujące w nim uszkodzenia

Przedmiotowy budynek jest całkowicie podpiwniczony, posiada 4 kondygnacje nadziemne. Budynek został wykonany w technologii tradycyjnej z elementów drobnowymiarowych (cegły pełnej). Stolarka okienna w części mieszkalnej w znacznej części wymieniona na nową PVC. Budynek docieplony w październiku 2014 r. W ramach prac dociepleniowych wykonano następujące prace które polegały na dociepleniu ściany 30 cm poniżej gruntu do górnej linii cokołu styropianem EPS 100 gr. 14,0 cm oraz dociepleniu ściany piwnicy na elewacji północnej do fundamentów styropianem EPS 100 gr. 14,0 cm [5]. Pierwsze widoczne zawilgocenia wystąpiły w mieszkaniach parteru w krótkim okresie po termomodernizacji (grudzień 2014 r.). Zawilgocenia występowały w mieszkaniach położonych na parterze w tym głównie w części narożnej budynku - rys. 2.



Rys. 2. Zawilgocenia ścian parteru po dociepleniu, z miejscem pobrania próbek

Fig. 2. Moisture on the walls of the ground floor warming

3. Badania i analizy przyczyn zawilgocenia

Celem ustalenia przyczyn powstałych zawilgoceń ustalono plan pomiarów w zakres, których przyjęto. następujące działania:

- pomiary wilgotności ścian metodą bezinwazyjną,
- pomiary wilgotności próbek pobranych w miejscach widocznych zawilgoceń,
- pomiary wybranych parametrów mikroklimatu pomieszczeń.

3.1. Pomiary wilgotności metodą bezinwazyjną

Pomiary wykonano za pomocą przyrządu pomiarowego Testo 635-2 z sondą do pomiaru wilgotności materiałowej. Jest to przyrząd do pomiaru temperatury wilgotności powietrza, równowagi wilgotności materiału. Dokładność pomiarowa +/- 1 %. Badania przeprowadzano w grudniu 2014 r. Wykonane pomiary wykazały, iż na powierzchni wewnętrznej w miejscach pobranych próbek (miejsca wilgotnych plam) wilgotność tynku przekraczała 20%.

3.2. Pomiary wilgotności pobranych próbek

W celu określenia stopnia zawilgocenia ścian parteru w najbardziej zawilgoconym mieszkaniu od strony pomieszczeń pobrano cztery próbki ze ściany zewnętrznej (zlokalizowanej od strony zachodniej) (rys. 3 i 4). próbki pobrano kolejno z wysokości: 0,20 m, 0,70 m, 1,20 m, 1,70 m od podłogi. Pobrane próbki zbadano laboratoryjnie metodą wagowo-suszarkową. Dokładność pomiarowa +/- 0,01%.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów wilgotności masowej próbek, w której m_w [g] – masa próbki w stanie nasyconym wodą; m_s [g] – masa próbki w stanie suchym; w [%] – wilgotność masowa próbki.



Rys. 3, 4. Próbkę nr 1 i 2 pobrana ze ściany zewnętrznej od wewnątrz w rejonie naroża

Fig. 3, 4. Sample No. 1 and 2, taken from the outer wall on the inside in the region of the corner

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów

Table 1. Summary of the results of the measurements

Próbka	Ceramika			Tynk		
	m _w [g]	m _s [g]	w [%]	m _w [g]	m _s [g]	w [%]
1	110,00	106,20	3,58	49,00	44,20	10,86
2	41,00	35,30	16,15	17,00	15,10	12,58
3	60,00	55,75	7,62	28,00	27,50	1,82
4	56,00	50,85	10,13	81,00	75,45	7,36

3.3. Monitoring wilgotności i temperatury

Monitoring temperatury i wilgotności względnej powietrza w przedmiotowym mieszkaniu przeprowadzono za pomocą przenośnego rejestratora temperatury i wilgotności. Datalogger ST-171 (rys. 5) rejestruje temperaturę w zakresie od -40 do 70°C z rozdzielczością 0.1°C i dokładnością podstawową $\pm 1\%$ oraz wilgotność względną powietrza w zakresie od 0 do 100% z rozdzielczością 0,1% dzięki wbudowanym czujnikom temperatury i wilgotności. Podczas prowadzenia pomiarów nie ma możliwości odczytu bieżących wyników przez użytkownika mieszkania, co zabezpiecza przed niepożądanymi zachowaniami w zakresie eksploatacji pomieszczeń mieszkalnych, odbiegającymi od typowych.

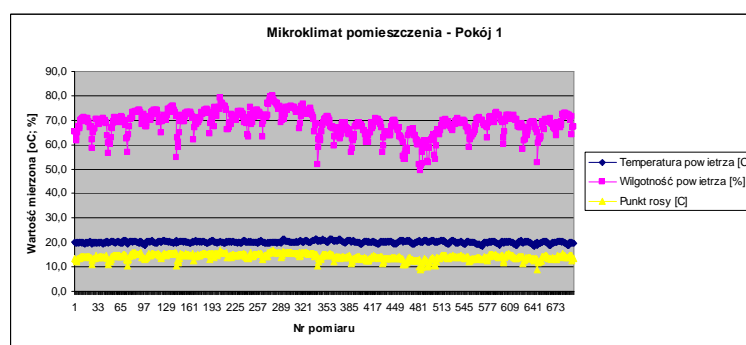


Rys. 5. Datalogger typu ST-171

Fig. 5. Data Logger ST-171

W mieszkaniu zamontowano cztery rejestratory na wysokości 1 m powyżej poziomu posadzki, we wszystkich czterech pomieszczeniach mieszkalnych. Próbki prowadzono co godzinę. Przykładowy rejestrator przedstawiono na powyższym zdjęciu. Dane z odczytów przedstawione są w formie wykresów i tabeli z wartościami maksymalnymi (max), minimalnymi (min) i wartością średnią (średnia). Po zakończeniu planowanego cyklu pomiarów wyniki przesyła się z rejestratora bezpośrednio do komputera. Poniżej zaprezentowano przykładowe zestawienie wyników dla jednego z wybranych pomieszczeń mieszkalnych (pokój sypialny). Całkowity czas trwania pomiarów od: 11.12.2014 do: 09.01.2015. Początek pomiaru: 11.12.2014 godz. 10:20:42. Koniec pomiaru:

09.01.2015 godz. 09:20:42. Łącznie ilość pomiarów wybranych jako reprezentatywne: 696 godzin = 29 dni pomiarowe. Wyniki zebrano w formie graficznej na rys. 6, całość w tab. 2.



Rys. 6. Zestawienie wyników pomiarów temperatury i wilgotności

Fig. 6. Summary of the results of measurements of temperature and humidity

Tabela 2. Zestawienie wartości max., min. i średniej dla mierzonych parametrów

Table 2. Statement of the value of the max, min and average the measured parameters

	Temperatura powietrza [°C]	Wilgotność powietrza [%]	Temperatura punktu rosy [°C]
Min.	18,6	49,2	9,0
Max.	21,5	80,1	16,7
Średnia	20,2	68,6	14,1

Analizując uzyskane wyniki postawiono hipotezę, iż przyczyną tak dużego wzrostu wilgotności ściany są prawdopodobnie dwa czynniki, których wzajemne działanie dało końcowy efekt:

- 1) niewłaściwa eksploatacja pomieszczeń,
- 2) początkowe duże zawilgocenie ściany zewnętrznej i ściany piwnicy, zarówno części, która jest zagłębiona w gruncie jak fragmentu wystającego ponad otaczający teren (przed wykonaniem robót ociepleniowych).

4. Obliczenia i symulacje przepływu ciepła i wilgoci

Celem potwierdzenia lub zaprzeczenia postawionej tezie wykonano uproszczone obliczenia ciepłno-wilgotnościowe oraz symulacje przepływu ciepła i wilgoci przez fragment przegrody zewnętrznej.

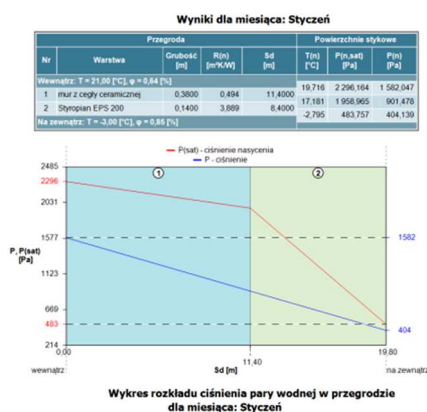
4.1. Obliczenia uproszczone

Jako obliczenia uproszczone wykonano model jednowymiarowy zgodnie z PN -EN -13877 [1]. Na potrzeby obliczeń przyjęto parametry klimatu ze-wnętrznego najbliższe dla lokalizacji stanowiska badawczego – stacja meteo Katowice. Wpływ klimatu wewnętrznego uwzględniono jako pomieszczenie klasy 3 - mieszkanie średnio zagęszczone o stałej temperaturze eksploatacji $t_i=21$ °C. Wilgotność wewnętrzną przyjęto jako średni wynik z pomiarów tj. $\phi_i = 64,5$ %.

Dane materiałowe na podstawie bazy danych programu tj. pochodzących z PN-EN-ISO 6946 : 1999 r. [2]. Przeprowadzone obliczenia wykazały:

- brak kondensacji między warstwową w ciągu całego roku;
- brak kondensacji powierzchniowej;
- współczynnik przenikania ciepła $U_c=0,217$ W/(m²K) < $U_{\max}=0,25$ W/(m²K).

Wyniki obliczeń dla najzimniejszego miesiąca (styczeń) przedstawiono w postaci graficznej - wykres prężności pary wodnej pokazano na rys. 7.

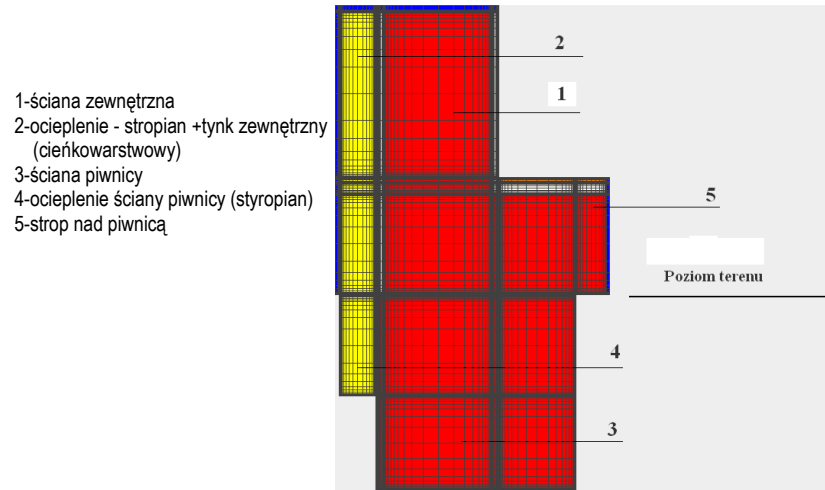


Rys. 7. Graficzna prezentacja wyników obliczeń zgodnie z PN-EN-13877 [1], brak kondensacji w przekroju przegrody

Fig. 7. Graphical presentation of the results of calculation in accordance with PN-EN-13877 [1], no condensation in the cross section of the partition

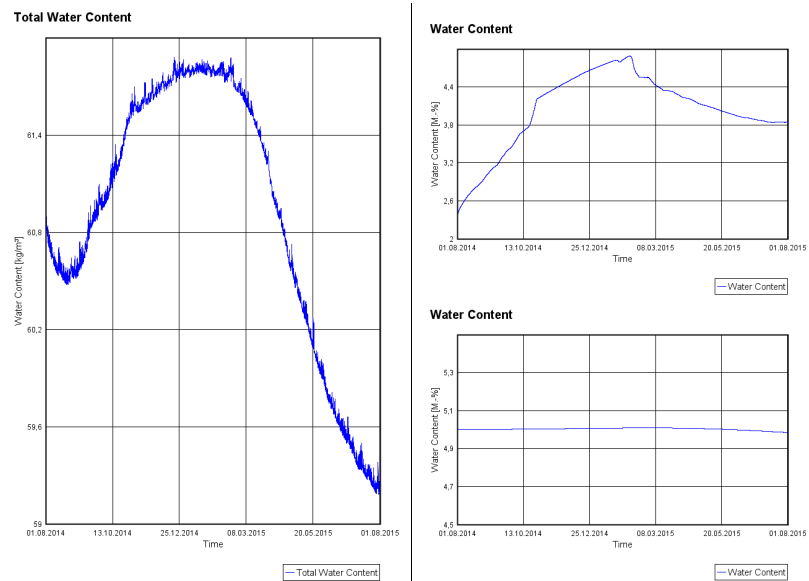
4.2. Symulacja przepływu ciepła i wilgoci

Symulację przepływu ciepła i masy wykonano dla detalu budowlanego, w którym uwzględniono: fragment ściany zewnętrznej, fragment ściany nadziemnej, fragment stropu nad piwnicą uwzględnieniem. Obliczenia wykonano w programie WUFI[®] 2D [3], przy następujących założeniach: klimat zewnętrzny - Katowice; klimat wewnętrzny sinusoidalny, zbliżony do pomierzonego, czas symulacji od końca docieplenia (od 10.2014, do momentu badania 12.2014), wilgotność początkowa ściany ceglanej 4%. Model obliczeniowy wraz z siatką MES pokazano na rys. 8. Wyniki zaprezentowano w formie graficznej rys. 9.



Rys. 8. Model MES analizowanego fragmentu połączenia ściany ze stropem i ściana piwnicy

Fig. 8. FEM -model of the analyzed portion of the connection wall to the ceiling and cuts the basement



Rys. 9. Zmiany w czasie całkowitej zawartości wody w badanym fragmencie

Fig. 9. The variation in time of the total water content in the analyzed fragment

5. Podsumowanie i wnioski

Powstałe w przedmiotowym budynku zawilgocenia ścian związane są z niewłaściwą eksploatacją mieszkań, a także z brakiem uwzględnienia przez projektanta faktu, iż ściany przed dociepleniem mogą być znacznie zawilgocone. Wydaje się być zatem koniecznym aby projektant określił w projekcie ocieplenia maksymalną dopuszczalną wilgotność ściany zewnętrznej przed jej dociepleniem. Badanie takie jest stosunkowo proste i mogłoby być wykonane przed rozpoczęciem robót ociepleniowych np. przez kierownika budowy lub inspektora nadzoru inwestorskiego. Istniejące wytyczne zawarte w Instrukcji 447/2009, dotyczące systemów izolacji cieplnej typu ETICS, należałoby uzupełnić o określanie dopuszczalnej wilgotności zewnętrznej przegrody budowlanej poddawanej ociepleniu. Dodatkowym wnioskiem wypływającym z przedstawionego przypadku jest fakt, iż uproszczone metody określania kondensacji międzywarstwowej są w sposób znaczący niewystarczające i odbiegające od rzeczywistości, a wielu przypadkach prowadzą do uzyskania błędnych wyników.

Literatura

- [1] PN-EN ISO 13788:2003: Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
- [2] PN-EN ISO 6946:1999: Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania. Załącznik krajowy NC: wartości obliczeniowe właściwości fizycznych niektórych materiałów, wyrobów i komponentów budowlanych.
- [3] Krause P., Steidl T. "Opinia techniczna dotycząca występującego zawilgocenia i warunków eksploatacji mieszkania zlokalizowanego w budynku wielorodzinnym w Chorzowie". STEKRA sp. z.o.o. Mikołów 2014.

ANALYSIS OF THE STATE OF MOISTURE FOR BRICK WALLS WITH INTERNAL INSULATION

Summary

The authors present the analysis of moisture wallsportion of the building after warming showing that a simplified analysis of heat and moisture in the design phase and no consideration of the initial moisture septum causes significant moisture and mildew on the inside wall. Such injuries are very painful for the people of insulated buildings.

Keywords: internal insulation, hygrothermal processes, water content, brick wall

DOI:10.7862/rb.2016.294

Przesłano do redakcji: 29.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Agata STOLARSKA¹
Jarosław STRZAŁKOWSKI²

ANALIZA ROZWIĄZAŃ POŁĄCZENIA ŚCIANA- PODŁOGA NA GRUNCIE Z WARIANTOWYM USYTUOWANIEM IZOLACJI KRAWĘDZIOWEJ

W niniejszej pracy poddano ocenie wyniki obliczeń wariantowego rozwiązania połączenia ściana-podłoga na gruncie z różnie dobranym układem warstwy izolacji krawędziowej. Przewidziano pięć typów rozwiązań: wariant bez izolacji obwodowej, wariant z izolacją pionową, poziomą, ukośną oraz wariant z izolacją krawędziową ukośną bezpośrednio połączoną z izolacją podłogi w formie szalunku traconego pod płytę podłogi. Obliczenia wykonano przy użyciu programu CFD. Połączenia zamodelowano jako trójwymiarowe, ale o szerokości równej jeden metr. Poszczególne rozwiązania testowano przy temperaturze w pomieszczeniu równej 20°C oraz obliczeniowej temperaturze zewnętrznej dla strefy I mapy klimatycznej Polski. Przyjęto stacjonarny przepływ ciepła. Dla wszystkich wariantów obliczono wartości skumulowanych strumieni ciepła oraz liniowych współczynników przenikania ciepła. W każdym przypadku wyznaczono także rozkłady izoterm 0, jak również rozkłady temperatury przy podłodze i w osi ściany zewnętrznej. Dodatkowo wykonano obliczenia wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} oraz dopuszczalnej wilgotności, powyżej której doszłoby do wykroplenia pary wodnej w narożniku przegrody z uwagi na temperaturę punktu rosy. Otrzymane wyniki poddano analizie.

Z punktu widzenia otrzymanych najniższych wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka termicznego, jak również zabezpieczenia przeciw kondensacji pary wodnej, najlepszym rozwiązaniem okazał się wariant z szalunkiem traconym. Natomiast z uwagi na pola temperatury pod podłogą i możliwość przemarzania gruntu najlepszym wariantem było rozwiązanie z izolacją ukośną.

Słowa kluczowe: mostki termiczne, straty ciepła, analiza termiczna, modelowanie komputerowe, izoterma zerowa, czynnik temperaturowy, kondensacja

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Agata Stolarska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 43 41; siwinska@zut.edu.pl

² Jarosław Strzałkowski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 43 41; jstrzalkowski@zut.edu.pl

1. Wprowadzenie

Dostępne katalogi mostków termicznych pozwalają na szacunkowe określenie ich udziału w stratach ciepła z budynku. Często przyjmowanie detali katalogowych niesie za sobą pewien stopień niedokładności. Jest tak np. w przypadku korzystania z katalogu mostków cieplnych wg normy PN-EN ISO 14683:2008 [6]. Zamieszczono w niej bowiem wartości orientacyjne, obliczone dla parametrów reprezentujących sytuację najgorszego przypadku. Wartości te można stosować przy braku lepiej doprecyzowanych danych dotyczących mostków cieplnych.

Rozszerzeniem w stosunku do normy [6] w kwestii doboru detali mostków termicznych może być katalog Instytutu Techniki Budowlanej [8]. Opracowanie przygotowane przez J. A. Pogorzelskiego i J. Awksientjuka stanowi katalog najczęściej stosowanych detali projektowych występujących w krajowej praktyce. Obliczenia w katalogu zostały wykonane przy pomocy belgijskiego pakietu programów PHYSIBEL v. 2.0 oraz EUROKOBRA.

W krajach Unii Europejskiej obliczenia związane ze złączami przegród przeprowadza się również wykorzystując odpowiednie katalogi mostków cieplnych [2], jednak coraz częściej sięga się po narzędzia wspierające te obliczenia. Projekt ASIEPI [2] wspiera wykorzystanie kodów symulacyjnych zamiast stosowania domyślnych wartości uzyskanych z uproszczonych metod. W dokumencie tym oceniono między innymi wykorzystywane narzędzia programowe i atlasy mostków termicznych w 17 państwach członkowskich UE i Norwegii.

Zagadnienia związane z modelowaniem mostków termicznych przy użyciu programów komputerowych zaprezentowano między innymi w pracy [1]. Obliczenia wykonywano przy wykorzystaniu programu ANSYS. Z kolei autorzy [3] przeprowadzili symulacje w programie TRNSYS. W artykule [9] przedstawiono zagadnienia dotyczące obliczania liniowych mostków cieplnych z zastosowaniem programu komputerowego SAT. Pawłowski w pracy [7] wykorzystał program TRISCO. W niniejszym artykule zebrano wyniki symulacji dla połączenia ściana-podłoga na gruncie wykonane w programie CFD.

2. Opis procedury badawczej

Analizę rozwiązań podłogi na gruncie z wariantowo dobraną izolacją krawędziową wykonano przy użyciu modelu numerycznego w programie CFD. Analizowane połączenie zamodelowano jako trójwymiarowe o szerokości jednego metra. Podstawowymi rezultatami obliczeń były strumień ciepła oraz temperatury z zadanych, kluczowych punktów przegrody.

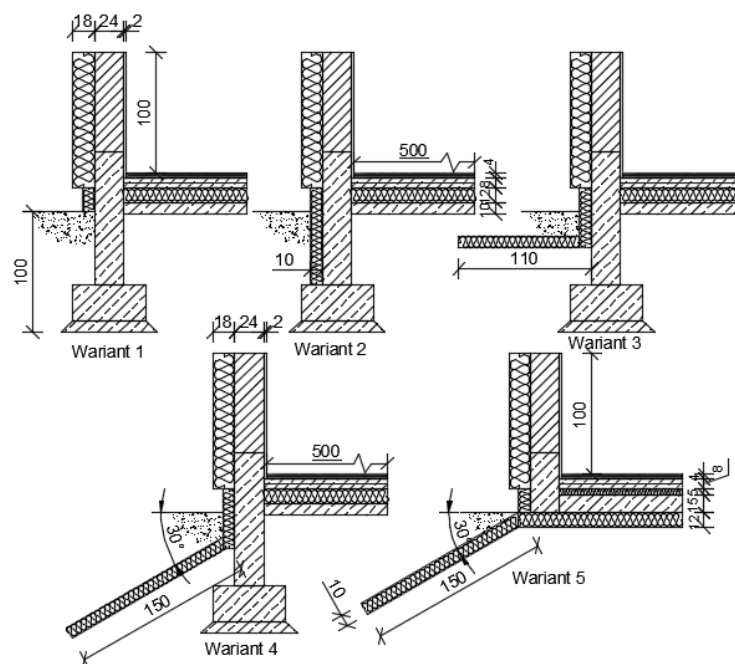
Rozpatrywana podłoga przyjęta do obliczeń wykonana została na planie prostokąta o całkowitych wymiarach zewnętrznych 10x14 m. Obliczony wymiar charakterystyczny podłogi na gruncie B' wynosi 5,83 m. Założono, że pod pod-

łogą znajduje się grunt kategorii II o współczynniku przewodzenia ciepła λ równym 2,0 W/m·K.

2.1. Warianty przyjęte do analizy

Do analizy przyjęto pięć wariantów podłogi na gruncie z wariantowo dobraną izolacją krawędziową. Schematy poszczególnych wariantów przedstawiono na rysunku nr 1. We wszystkich wariantach starano się zachować ten sam układ warstw, tak aby możliwe było porównanie wpływu ułożenia izolacji krawędziowej na otrzymane rezultaty. W symulacjach przyjęto następujące warianty:

- wariant 1 – brak izolacji krawędziowej,
- wariant 2 – izolacja krawędziowa pionowa,
- wariant 3 – izolacja krawędziowa pozioma,
- wariant 4 – izolacja krawędziowa ukośna,
- wariant 5 – izolacja krawędziowa ukośna połączona z izolacją stanowiącą szalunek tracony pod płytą podłogi.



Rys. 1. Schemat przyjętych rozwiązań izolacji krawędziowej podłogi na gruncie
Fig. 1. The scheme of the solutions of edge insulation of slab on ground

W obliczeniach ściany zewnętrznej we wszystkich wariantach uwzględniono 3 warstwy: płyta gipsowo-kartonowa gr. 2 cm, pustak ceramiczny gr. 24 cm

oraz izolację termiczną ze styropianu gr. 18 cm. W obliczeniach pominięto zewnętrzny tynk cienkowarstwowy. Parametry rozpatrywanych warstw ściany przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości warstw ściany zewnętrznej przyjętych w modelu obliczeniowym

Table 1. The properties of external wall applied in calculation model

Lp.	Nazwa	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]	U [W/(m ² ·K)]
1	Styropian	0,18	0,04	4,50	0,197
2	Pustak ceramiczny	0,24	0,72	0,33	
3	Płyta gipsowo-kartonowa	0,02	0,25	0,08	

Układ warstw podłogi na gruncie w pierwszych czterech wariantach był niezmienny. W obliczeniach pominięto izolacje przeciwwilgociowe z uwagi na nieznaczną grubość i pomijalny wpływ na przenikanie ciepła. W ręcznych obliczeniach współczynnika przenikania ciepła podłogi pominięto również warstwy na bazie cementów. Parametry warstw podłogi podano w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości warstw podłóg na gruncie w poszczególnych wariantach

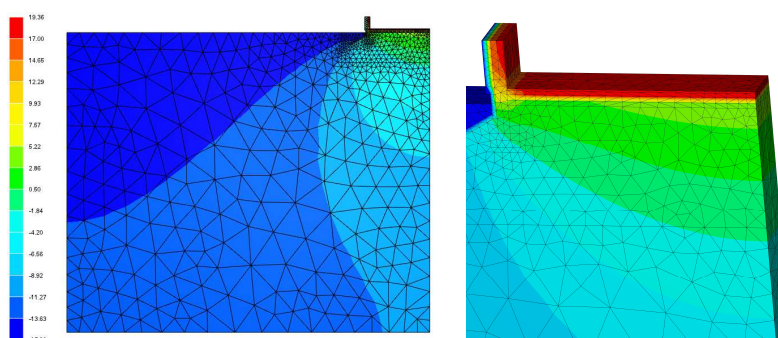
Table 2. The properties of layers of slab on ground in particular variants

Warianty 1-4	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]	U [W/(m ² ·K)]
Podkład betonowy	0,10	2,00	0,05	0,207
Styropian twardy	0,12	0,04	3,00	
Beton dociskowy	0,05	2,00	0,03	
Wylewka wyrównująca	0,03	2,00	0,02	
Wykończenie	0,04	0,40	0,10	
Wariant 5	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]	U [W/(m ² ·K)]
Styropian szalunkowy	0,12	0,04	3,00	0,165
Płyta betonowa	0,15	2,00	0,08	
Styropian podłogowy	0,05	0,04	1,25	
Beton dociskowy	0,05	2,00	0,03	
Wylewka wyrównująca	0,03	2,00	0,02	
Wykończenie	0,04	0,40	0,10	

Izolację krawędziową we wszystkich modelach wykonano ze styropianu grubości 10 cm i współczynnika przewodzenia ciepła λ równym 0,04 W/m·K.

2.2. Warunki brzegowe

Model obliczeniowy został zwymiarowany zgodnie z normą [4]. Zagadnienie sprowadzono do modelu dwuwymiarowego, dlatego też szerokość modelu przyjęto równą jeden metr. We wszystkich wariantach założono tę samą temperaturę wew. θ_i równą 20°C oraz temperaturę zew. θ_e równą -16°C . Przyjęto stałe opory przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej równe $0,04\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ oraz $0,13\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ dla powierzchni wewnętrznych. Natomiast przy wyznaczaniu temperatur potrzebnych do obliczenia czynnika temperaturowego opór przejmowania ciepła na powierzchni wew. zwiększono do wartości $0,25\text{ m}^2\cdot\text{W}/\text{K}$. Pionowe granice modelu, jak również dolną granicę opisano jako adiabatyczne. Przykładowy rozkład temperatur dla wariantu 4 przedstawiono na rysunku nr 2.



Rys. 2. Przyjęty do obliczeń model podłogi wariantu nr 4

Fig. 2. Variant no 4 of slab on ground applied for the calculations

3. Analiza wyników

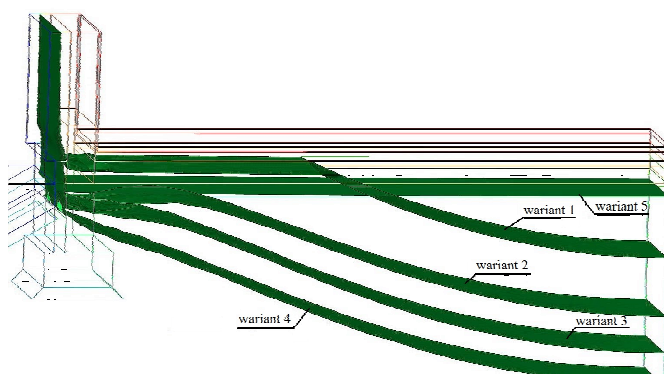
Dla pięciu analizowanych wariantów obliczono skumulowane strumienie ciepła Q [W] niezbędne do obliczenia liniowego współczynnika sprzężenia cieplnego L_{2D} [W/m·K]. Wartości liniowych wewnętrznych i zewnętrznych współczynników przenikania ciepła mostów cieplnych ψ [W/m·K] zebrano w tabeli 3. W zestawieniu wyraźnie niekorzystnie przedstawia się wariant bez wyprowadzonej izolacji krawędziowej. Zastosowanie izolacji obwodowej powoduje wyraźny spadek wartości liniowych mostów termicznych (warianty 2 oraz 3). Z zestawienia wynika, że dobrą alternatywę dla powyższych typów stanowi wariant z ukośną izolacją (wariant 4), która umożliwia obniżenie wartości wewnętrznego liniowego współczynnika przenikania ciepła o około 30% w stosunku do wariantu bez izolacji krawędziowej. Najlepiej w zestawieniu plasuje się wariant 5. Dzięki zastosowaniu szalunku traconego pod płytą podłogi uzyskuje się ciągłość izolacji termicznej i zdecydowanie niższe wartości liniowych współczynników przenikania ciepła. W zestawieniu zawartym w normie [6] trudno znaleźć przypadek odpowiadający analizowanym wariantom, gdyż nie uwzględniono w nim izolacji krawędziowej.

Tabela 3. Skumulowane strumienie ciepła oraz liniowe współczynniki przenikania ciepła

Table 3. The cumulative heat fluxes and linear thermal transmittances

Wariant	Q_i [W]	L_{2D} [W/m·K]	Ψ_{gi} [W/m·K]	Ψ_{ge} [W/m·K]
1	79,327	2,204	0,970	0,816
2	63,331	1,759	0,526	0,372
3	62,714	1,742	0,509	0,354
4	59,333	1,648	0,415	0,261
5	43,678	1,213	0,193	0,058

Na rysunku nr 3 przedstawiono usytuowanie izoterm zero wszystkich pięciu wariantów. W zestawieniu najkorzystniejszy układ izoterm otrzymano dla wariantu 4.

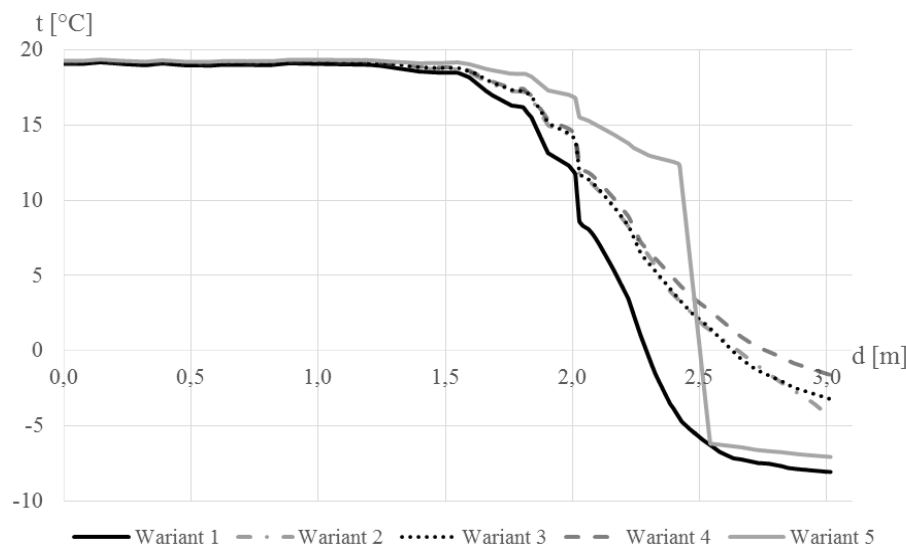


Rys. 3. Przebieg izoterm zero poszczególnych wariantów

Fig. 3. Isotherms zero of different variants

Wariant 5 z ciągłą izolacją termiczną charakteryzuje się zdecydowanie najmniej korzystnym usytuowaniem izoterm zero. Świadczy to o dość dużej możliwości przemarzania gruntu pod płytą podłogi. Pomimo zastosowania ukośnej izolacji długości 1,5 m praktycznie cały grunt pod podłogą miał temperaturę niższą od 0°C. Należy jednak zwrócić uwagę, że w modelu nie uwzględniono strumienia ciepła z wnętrza Ziemi, który mógłby mieć tutaj decydujące znaczenie przy ocenie możliwości przemarzania gruntu bezpośrednio pod podłogą.

Na rysunku 4 przedstawiono wykresy rozkładu temperatury na powierzchni podłogi oraz w osi ściany. Wykresy obrazują rozkład temperatury wzdłuż powierzchni podłogi (od miejsca $d=0$ m do $d=2,15$ m) i dalej prowadzące wzdłuż osi ściany zewnętrznej (od $d=2,15$ m) w głąb gruntu. Korzystne wartości uzyskano dla wariantu 4. Wariant 5 natomiast pomimo najwyższych temperatur na początku wykresu skokowo obniża temperaturę bezpośrednio po przejściu przez izolację termiczną i dalej lokuje się podobnie jak wariant bez izolacji krawędziowej.



Rys. 4. Rozkłady temperatur w podłozie i bezpośrednio pod fundamentem ściany

Fig. 4. Temperature distribution in the floor and directly under the foundation wall

Istotnym aspektem w diagnostyce połączeń elementów budynku jest również ocena niebezpieczeństwa wystąpienia kondensacji powierzchniowej [5]. W tabeli 4 zestawiono otrzymane wartości temperatury w narożniku połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie.

Tabela 4. Parametry cieplno-wilgotnościowe w połączeniu ściany z podłogą na gruncie

Table 4. Hygrothermal parameters in the wall-slab on ground connection

Wariant	Temperatura w połączeniu ściana-podłoga [°C]	f_{Rsi} [-]	Graniczna wilgotność spełniająca warunek punktu rosy [%]
1	9,6	0,71	50,89
2	12,2	0,78	60,66
3	12,3	0,79	60,85
4	12,7	0,80	62,61
5	15,6	0,88	75,85

Powyższe wyniki wskazują, iż zastosowanie izolacji krawędziowej podwyższa temperaturę w narożniku o blisko 3°C, a w najlepszym rozwiązaniu (wariant 5) nawet o 6°C. Równocześnie gwarantuje to otrzymanie czynnika temperaturowego na odpowiednio wysokim poziomie. Dodatkowo w tabeli 4 obliczono dopuszczalną wilgotność, poniżej której nie ma ryzyka wystąpienia kondensacji na podstawie temperatury punktu rosy. Najlepsze rezultaty uzyskano dla

wariantu 5, dla którego wilgotność pomieszczenia musiałaby przekroczyć 75 % (przy temp. zew. równej -16°C), aby doszło do wykroplenia się kondensatu w narożniku przegrody.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń przeprowadzonych przy wykorzystaniu programu CFD, zastosowanego do wyznaczenia liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka termicznego występującego w miejscu połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie z uwzględnieniem izolacji krawędziowej. Analizie poddano pięć przykładowych wariantów rozwiązania izolacji krawędziowej. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń stwierdzono wyraźny wpływ zastosowania izolacji krawędziowej na wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła. Pod względem wartości tego parametru najkorzystniej wypadł wariant 5, w którym zastosowano izolację w postaci szalunku traconego pod płytą podłogi. Dla tego wariantu otrzymano również najwyższą temperaturę w miejscu połączenia ściana-podłoga na gruncie. Zastosowanie izolacji krawędziowej przyczynia się również do ograniczenia ryzyka rozwoju pleśni, o czym świadczą wyznaczone wartości czynnika temperaturowego f_{Rsi} .

Symulacje w programie CFD i wykonane na ich podstawie obliczenia cieplno-wilgotnościowe dla mostka termicznego występującego w miejscu połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie mogą być przydatne w trakcie doboru właściwego rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego. Pozwala to na wyeliminowanie błędów na etapie projektowania budynku oraz służy zminimalizowaniu wpływu mostków termicznych na straty ciepła z budynku.

Autorzy widzą potrzebę uzupełnienia katalogów mostków cieplnych w celu szerszego uwzględnienia rozwiązań szczegółów konstrukcyjnych zwyczajowo stosowanych.

Literatura

- [1] Aguilar F., Solano J.P., Vicente P.G.: Transient modeling of high-inertial thermal bridges in buildings using the equivalent thermal wall method, *Applied Thermal Engineering*, vol. 67, 2014, pp. 370-377.
- [2] Erhorn H., Erhorn-Kluttig H., Citterio M., Cocco M., Van Orshoven D., Tilmans A., Schild P., Bloem P., Engelund Thomsen K., Rose J.: An Effective Handling of Thermal Bridges in the EPBD Context, Final Report of the IEE ASIEPI Work Thermal Bridges, ASIEPI Report, WP4, 2010.
- [3] Gao Y., Roux J. J., Zhao L. H., Jiang Y.: Dynamical building simulation: a low order model for thermal bridges losses, *Energy Build.* 40 (2008) 2236-2243.
- [4] PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [5] PN-EN ISO 13788:2003. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna

do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.

- [6] PN-EN ISO 14683:2008. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [7] Pawłowski K.: Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle nowych warunków technicznych dotyczących budynków. Warszawa 2013.
- [8] Pogorzelski J.A., Awksientjuk J.: Katalog mostków cieplnych. Budownictwo tradycyjne. Poradnik ITB nr 389/2003, Warszawa 2003.
- [9] Wasil A., Ujma A.: Analiza parametrów liniowego mostka cieplnego w wybranym węźle budowlanym. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Częstochowa 2011, pp. 253-259.

ANALYSIS OF SOLUTIONS OF WALL-SLAB ON GROUND CONNECTIONS WITH VARIANT LOCATION OF EDGE INSULATION

Summary

This paper evaluates the calculation results of variant analysis of the wall-slab on ground connection with variously selected system of edge insulation. Five types of solutions were tested: variant without edge insulation, variant with vertical, horizontal and oblique edge insulation, and variant with oblique edge insulation merged with the insulation of slab on ground in form of expendable formwork. Calculations were made using CFD program. The connections were modeled as a three dimensional, but with width equal to one meter. Each variant was tested at room temperature of 20°C and outside temperature set according to the first region of climate map of Poland. A stationary heat flow was set. For all the variants the cumulative values of heat flux and linear coefficients of thermal transmittance were calculated. Furthermore for all the variants the graphs of isotherms 0, as well as the temperature distribution at the floor surface and the in the axis of the outer wall were determined. In addition the calculations of temperature factor f_{Rsi} and permissible moisture content, above which there would be a vapour condensation in the corner of the wall in terms of dew point, were made. The results were analysed.

From the point of view of the obtained lowest value of the linear coefficient of thermal transmittance as well as protection against vapour condensation the best solution was the last variant with expendable formwork. Whereas due to the temperature field under the floor and the possibility of freezing the ground the best option was variant with oblique edge insulation.

Keywords: thermal bridges, heat loss, thermal analysis, computer modeling, zero isotherm, temperature factor, condensation

DOI:10.7862/rb.2016.295

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Andrzej STUDZIŃSKI¹

OCENA KOSZTÓW ZAKŁADÓW WODOCIĄGOWYCH

W pracy przedstawiono ocenę kosztów eksploatacyjnych dwóch zakładów wodociągowych: stacji uzdatniania wody A o wydajności 17000 m³/d oraz przedsiębiorstwa wodociągowego B eksploatującego system zaopatrzenia w wodę o wydajności 5760 m³/d. Zakłady te łączy zakończona w 2014 roku modernizacja i w przypadku drugiego z nich rozbudowa, są to nowoczesne zakłady w pełni spełniające stawiane przed nimi zadania. Przedstawiono koszty eksploatacyjne w 2015 roku zestawione w układzie rodzajowym, podstawą opracowania są dane pochodzące z tych przedsiębiorstw. W strukturze kosztów można zauważyć dwie wspólne cechy – znaczący, ponad 40% udział amortyzacji w kosztach ogólnych oraz koszty płac wraz z narzutami, które stanowiły ponad 20% wydatków. Pozostałe grupy kosztów: materiały, energia, opłaty i podatki, usługi obce i pozostałe koszty stanowiły znikomy udział w kosztach ogólnych. Konsekwencją modernizacji były wysokie koszty jednostkowe produkcji wody, wynoszące w zakładzie A 2,25 zł/m³, z których 0,92 zł/m³ stanowiła amortyzacja. Zaledwie 0,40 zł/m³ wyniosły koszty zmienne. W zakładzie B koszty jednostkowe określono na 5,42 zł/m³, w których 2,62 zł/m³ to amortyzacja natomiast 1,14 zł/m³ to koszty zmienne. Porównując otrzymane wielkości z danymi literaturowymi można stwierdzić, że koszty w badanych zakładach znacznie przewyższają dane literaturowe dla zakładów o zbliżonej wydajności. Wynika to w dużej mierze z kosztów amortyzacji, które są konsekwencją prowadzonych kosztownych działań modernizacyjnych.

Słowa kluczowe: stacja uzdatniania wody, wodociąg, koszty eksploatacyjne, układ rodzajowy

1. Wprowadzenie

Koszty, jakie ponosi przedsiębiorstwo wodociągowe, są jednym z podstawowych czynników, które decydują o wysokości taryfy za usługi wodociągowe. Określają one wysokość wydatków poniesionych na prawidłowe przeprowadzenie działalności usługowej [1]. Przedsiębiorstwa wodociągów mogą posługiwać się różnymi sposobami grupowania oraz klasyfikacji kosztów własnych [2]. Wy-

¹ Andrzej Studziński, Politechnika Rzeszowska, Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651703; astud@prz.edu.pl

różnia się trzy podstawowe układy takiej klasyfikacji: układ rodzajowy, układ stanowiskowo-kalkulacyjny, układ ekonomiczny [1].

Układ rodzajowy przedstawia koszty własne w takiej postaci, w jakiej rzeczywiście ponoszą je przedsiębiorstwa wodociągowe. Podstawowym celem tej klasyfikacji jest identyfikacja struktury kosztów. Przykładowy układ rodzajowy może przedstawiać się następująco:

- koszty materialne:
 - energia,
 - amortyzacja,
 - zużycie materiałów oraz środków nietrwiałych,
 - usługi remontowe,
 - usługi transportowe,
 - inne usługi);
- koszty niematerialne:
 - wynagrodzenia pracowników,
 - odpisy na fundusze,
 - narzuty na prace,
 - usługi bankowe,
 - podatki;
- inne usługi niematerialne.

Układ ekonomiczny dzieli koszty w zależności od reakcji na zmiany wielkości świadczonych usług. Z tego względu koszty dzieli się na stałe lub zmienne. Koszty zmienne i stałe na ogół rzadko występują w czystej postaci, dlatego przy tworzeniu ekonomicznego układu kosztów wprowadza się często pojęcia kosztów umownie stałych oraz kosztów umownie zmiennych [3].

Celem niniejszego opracowania jest ekonomiczna analiza kosztów przykładowego zakładu uzdatniania wody oraz przykładowego systemu zaopatrzenia w wodę. Przedstawiono strukturę kosztów zakładów w układach rodzajowym oraz ekonomicznym. Podstawą opracowania są dane dotyczące jakości wody surowej i uzdatnionej, wydajności, zużycia energii oraz kosztów poniesionych przez wyżej wymienione zakładu w 2015 roku. Rozpatrywane zakłady łączą modernizacja przeprowadzona w ostatnich latach i zakończona w 2014 roku, są to zakłady nowoczesne technologicznie, działające w pełni automatycznie. Konsekwencją takiego stanu jest wysoki udział amortyzacji w kosztach eksploatacji tych zakładów.

2. Koszty eksploatacyjne zakładu uzdatniania wody A

2.1. Opis zakładu uzdatniania wody A

Zakład A jest zakładem o zdolności produkcyjnej 17000 m³/d, został oddany do użytku (po gruntownej modernizacji) na początku 2014 roku. Wykorzystuje jako wodę surową wody powierzchniowe zaliczające się do kategorii A1

[4]. Technologia uzdatniania obejmuje następujące procesy jednostkowe: utlenianie wstępne, koagulacja, sedymentacja, filtracja i dezynfekcja, alternatywnie proces można wspomagać stosując sorpcję. Proces uzdatniania trwa do 12 h. Woda uzdatniona gromadzona jest w zbiornikach a następnie włączana do sieci wodociągowej. Analizowane koszty dotyczą układu od ujęcia do pompowni 2° włącznie. W analizowanym okresie woda dostarczana do sieci wodociągowej spełniała wymogi stawiane jakości wody do spożycia [5].

2.2. Koszty eksploatacyjne zakładu uzdatniania wody A

Rejestr kosztów poniesionych przez zakład uzdatniania wody A w 2015 roku został zestawiony w układzie rodzajowym, przedstawiono go w tabeli 1.

Tabela 1. Koszty poniesione przez zakład A w 2015 r.

Table 1. Costs incurred by the plant A in 2015

Rodzaj kosztu	Kosz roczny 2015 [zł]
Amortyzacja	1 746 803
Wynagrodzenia z narzutami	721 898
Materiały	172 415
Energia	310 734
Opłata za korzystanie ze środowiska	111 181
Podatki i opłaty - inne	412 647
Usługi obce	200 992
Pozostałe koszty	578 524
Razem	4 255 194

Rejestr kosztów poniesionych Na podstawie tabeli 1 można zauważyć, że największym udziałem w kosztach zakładu uzdatniania wody A była amortyzacja, która wyniosła 41,05%. Drugą istotną pozycją były koszty ogólnozakładowe i wydziałowe stanowiące 24,64%. Znaczącą pozycję zajęły również płace wraz z narzutami wynoszące 16,59%. Zestawiając otrzymane dane w ekonomiczny układ klasyfikacji kosztów możemy zauważyć, że koszty stałe to aż 3508243 zł, co stanowiło 82,45% wartości kosztów całościowych. Koszty zmienne – materiały, energia i opłaty wyniosły 746951 zł i stanowiły 17,55% kosztów ogólnych.

W celu określenia jednostkowego kosztu eksploatacji stacji uzdatniania wody zastosowano następującą zależność [6, 7]:

$$k = \frac{K}{Q_r} \quad (1)$$

gdzie: k –jednostkowy koszt eksploatacji stacji uzdatniania wody [zł/m³];

K –roczny koszt eksploatacji stacji uzdatniania wody [zł/rok];

Q_r –roczna wydajność stacji uzdatniania wody próbki [m³/rok].

Jak wynika z powyższej zależności jednostkowy koszt eksploatacji stacji uzdatniania wody wynosił $2,25 \text{ zł/m}^3$. Analogicznie określono jednostkowy koszt stały, wynoszący $1,85 \text{ zł/m}^3$, oraz jednostkowy koszt zmienny, którego wartość oszacowano na $0,40 \text{ zł/m}^3$. Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, jak dużą część kosztów ujęcia, uzdatnienia i przesłania wody do sieci stanowią koszty stałe. Wśród kosztów stałych największą jednostkową kwotą odznacza się amortyzacja, która wyniosła $0,92 \text{ zł/m}^3$, co stanowiło niemal połowę jednostkowego kosztu stałego. Najmniejszą kwotą wśród tej grupy kosztów charakteryzowały się remonty wynoszące jedynie $0,01 \text{ zł/m}^3$. Koszty ogólnozakładowe i wydziałowe stanowiły $0,55 \text{ zł/m}^3$, z kolei płace wraz z narzutami to kwota wynosząca $0,37 \text{ zł/m}^3$, co stanowiło 1/5 jednostkowego kosztu stałego. Struktura kosztów zmiennych przedstawia się następująco: materiały – $0,09 \text{ zł/m}^3$, energia elektryczna – $0,17 \text{ zł/m}^3$, opłaty – $0,14 \text{ zł/m}^3$. Analizując dane dla poszczególnych miesięcy nie zauważono wyraźnej zależności pomiędzy zużyciem energii elektrycznej a objętością wyprodukowanej wody. Nie odnotowano również zależności pomiędzy jakością produkowanej wody a zużyciem energii, co wynikało głównie z wysokiej jakości wody surowej. Porównując jednostkowy koszt eksploatacji stacji A z innymi stacjami uzdatniania wody opisywanymi w literaturze technicznej [2, 7, 8, 9], dla których koszty jednostkowe uzdatniania wody zaktualizowane do poziomu cen na koniec 2015 roku wynoszą od $0,16$ do $1,25 \text{ zł/m}^3$, można stwierdzić, że jego wartość znacznie przewyższała koszty poniesione przez inne stacje zarówno o podobnych wydajnościach jak i dużo niższych.

3. Koszty eksploatacyjne zakładu zaopatrzenia w wodę B

3.1. Opis zakładu B

Zakład wodociągowy B jest wodociągiem gminnym zaopatrującym w wodę miejscowości na terenie 5-ciu sąsiadujących gmin. Wykorzystuje wody powierzchniowe o kategorii A3 [4], stacja uzdatniania wody posiada przepustowość $5760 \text{ m}^3/\text{d}$, ciąg technologiczny zawiera koagulację, sedymentację i filtrację oraz ozonowanie i sorpcję na węglu aktywnym, końcowym procesem jest dezynfekcja, procesy te pozwalały na uzyskanie jakości wody zgodnej z wymaganiami [5]. Długość sieci wodociągowej, będącej własnością przedsiębiorstwa, wyniosła na koniec 2015 r. łącznie $256,7 \text{ km}$, sieć wodociągowa współpracowała z 8 zbiornikami sieciowymi oraz 21 przepompowniami. W 2015 roku zakład wtłoczył do sieci wodociągowej 549960 m^3 wody uzdatnionej.

3.2. Koszty eksploatacyjne zakładu uzdatniania wody A

Koszty w układzie rodzajowym przedstawiono w tabeli 2. Zastosowano układ tożsamy z przedstawionym powyżej dla zakładu A.

Tabela 2. Koszty poniesione przez zakład B w 2015 r.

Table 2. Costs incurred by the plant B in 2015

Rodzaj kosztu	Kosz roczny 2015 [zł]
Amortyzacja	1 438 220
Wynagrodzenia z narzutami	782 457
Materiały	186 888
Energia	417 626
Opłata za korzystanie ze środowiska	22 799
Podatki i opłaty - inne	8 887
Usługi obce	106 731
Pozostałe koszty	17 147
Razem	2 980 755

W strukturze kosztów dominowały: amortyzacja, wynagrodzenia wraz z narzutami oraz koszt energii elektrycznej, łącznie w 2015 roku grupy te stanowiły od 85,53% wszystkich kosztów.

Amortyzacja oraz odpisy umorzeń stanowiła 48,25%, co wynikało z oddania do użytkowania nowych środków trwałych wytworzonych w trakcie modernizacji i rozbudowy systemu zaopatrzenia w wodę. Kolejną grupę stanowią wynagrodzenia wraz z narzutami - 26,25%.

Wszystkie pozostałe grupy kosztów nie przekraczały 10%, kolejną wartością były materiały – 6,27%, kolejno koszty przedstawiały się następująco – usługi obce – 3,58%, opłaty za korzystanie ze środowiska – 0,76%, podatki i opłaty 0,30% i pozostałe koszty 0,58%.

Na podstawie danych tabeli 2 obliczono koszty jednostkowe odnoszące się do 1 m³ wody wtłoczonej do sieci wodociągowej. Koszt jednostkowy wody w zakładzie B wynosił aż 5,42 zł/m³. Najistotniejszym składnikiem kosztów całkowitych była amortyzacja, która wyniosła 2,62 zł/m³. Przyjmując, że na koszty zmienne przedstawione w tabeli 2 składają się kwoty z tytułu materiałów, energii elektrycznej i opłat środowiskowych, koszty te można określić kwotą 1,14 zł/m³.

4. Podsumowanie

Koszt eksploatacji zakładu A wyniósł 4 255 194,38 zł. Jednostkowy koszt pracy zakładu wyniósł 2,25 zł/m³ wyprodukowanej wody, z czego 1,85 zł/m³ (82,54% kosztu jednostkowego) stanowiło koszt stały, a 0,40 zł/m³ koszt zmienny. Największe znaczenie w kosztach stałych odegrała amortyzacja, której wartość wynosiła 0,92 zł/m³, natomiast najmniejszą kwotą charakteryzowały się remonty. Wśród kosztów zmiennych największy koszt jednostkowy stanowiła energia elektryczna wynosząca 0,17 zł/m³, a najmniejszy koszt zużycia materiałów stanowiący 0,09 zł/m³.

Porównując jednostkowy koszt eksploatacji zakładu A z innymi stacjami wg danych literaturowych, można stwierdzić, że jego wartość znacznie przewyższa koszty poniesione przez inne stacje zarówno o podobnych wydajnościach jak i dużo niższych. Porównując wartości z zakładami o podobnej wydajności [7] koszt jednostkowy był prawie pięciokrotnie wyższy. Tak duże różnice jednostkowych kosztów mogą być spowodowane odmiennym sposobem uzdatniania wody, czy inną technologią zakładu. Bardzo istotnym składnikiem kosztów bieżących zakładu A była amortyzacja, która wyniosła aż 41% kosztów.

Koszt jednostkowy produkcji wody w zakładzie wodociągowym B wynosił 5,42 zł/m³ w 2015 roku, na który składała się amortyzacja w kwocie 2,62 zł/m³.

Porównując przedstawione zakłady można zauważyć, że głównym składnikiem kosztów jednostkowych była amortyzacja – w obu przypadkach przekraczająca 40 % kosztów ogólnych. Było to wynikiem prac modernizacyjnych i rozbudowy omawianych zakładów. Drugim co do wielkości składnikiem kosztów są wynagrodzenia wraz z narzutami. W obu przypadkach grupy te stanowią ponad połowę kosztów produkcji wody.

W pozostałych grupach kosztów trudno dopatrywać się analogii, co wynika z różnej wielkości, funkcji i struktury omawianych zakładów.

Podsumowując można stwierdzić, że w krajowej literaturze naukowo technicznej niewiele jest danych dotyczących kosztów jednostkowych zakładów zaopatrzenia w wodę, przedstawione wielkości są ich uzupełnieniem. Celowe wydaje się kontynuowanie badań w tym zakresie, celem poszerzenia katalogu danych, które znajdują swoje zastosowanie nie tylko w przypadku ustalania opłat za wodę ale mają swoje przełożenie również w analizach ryzyka w eksploatacji sieci wodociągowej [10].

Literatura

- [1] Kloss-Trębaczewicz H., Osuch-Pajdzińska E.: *Ekonomika przedsiębiorstwa komunalnego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
- [2] Rauba E., Miłaszewski R.: *Koszty funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę, Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, Poznań 2012, s.137-163.
- [3] Dziembowski Z.: *Ekonomika przedsiębiorstwa komunalnego*, PWN, Warszawa 1983.
- [4] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2007 Nr 61, poz. 417 z późniejszymi zmianami).
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Dz. U. 2002 Nr 204, poz. 1728).
- [6] Kuś K., Rożałowska R.: *Wpływ kosztów produkcji i dystrybucji wody na cenę jej sprzedaży dla miast zaopatrywanych przez wodociąg grupowy GPW Katowice, Ochrona Środowiska*, Nr 1, 2004, s. 13-16.
- [7] Miłaszewski R.: *Analiza kosztów stacji uzdatniania wód podziemnych i powierzchniowych, Instal 7-8/2015*, s. 74-76.

- [8] Kisło A., Miłaszewski R., Skoczko I: Analiza kosztów eksploatacji miejskiej stacji uzdatniania wody w Suwałkach, Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, Poznań 2014, s. 137-163.
- [9] Skoczko I., Miłaszewski R., Kisło A., Zadrozna S.: Zależność kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach od jej wydajności, *Ekonomia i Środowisko*, 3(54), 2015, s. 137-144.
- [10] Studziński A., Pietrucha-Urbanik K. Preventive maintenance and reliability of water supply system elements. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture. JCEEA*, z. 62 (3/I/2015), pp. 429-436. DOI: 10.7862/rb.2015.126.

ASSESSMENT OF THE WATERWORKS OPERATING COSTS

Summary

The paper presents an assessment of the operating costs of two water supply companies: water treatment plant A with a capacity of 17000 m³/d, and the water supply company B, an operator of the water supply system with a capacity of 5760 m³/d. These plants similarity is the modernization completed in 2014 and of the latter one extension, these are sophisticated facilities fully meet the tasks placed before them. The operating costs in 2015 were presented, shown by costs generic system. The basis for the development are the data from these companies. Two things in common can be noticed in the structure of the operating costs - significantly more than 40% share of depreciation in total costs and labor costs, which accounted for over 20% of the total costs. Other groups of costs: materials, energy, fees and taxes, outsourced services and other costs accounted for a small proportion of total costs. The consequence of modernization were high unit costs of production of water, amounting to plant A 2.25 zł/m³, of which 0.92 zł/m³ was depreciation. Only 0.40 zł/m³ were variable costs. The plant B unit costs were set at 5.42 zł/m³, in which 2.62 zł/m³ was depreciation and 1.14 zł/m³ variable costs. Comparing the operating costs in plant A to another water treatment plants, they are significantly higher. This is due to the depreciation costs, which were a consequence of the modernization.

Keywords: water treatment plant, water works, maintenance costs, generic system

DOI:10.7862/rb.2016.296

Przesłano do redakcji: 9.09.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Wojciech TERLIKOWSKI¹

ZRÓWNOWAŻONA REWITALIZACJA BUDYNKÓW ZABYTKOWYCH

Proces rewitalizacji jest ściśle związane z ideą zrównoważonego rozwoju w budownictwie, ukazując jego interdyscyplinarność. Diagnostyka budynku zabytkowego, który jest rewitalizowany powinna uwzględniać zagadnienia interdyscyplinarne, wykraczające poza przyjęte powszechnie w praktyce budowlanej działania diagnostyki technicznej. Istotnym jej elementem może być ocena zdolności rewitalizacyjnej budynku, będąca sumą zdolności rehabilitacyjnej budynku i wartości jego zrównoważenia. Ocena zdolności rewitalizacyjnej budynku daje więc gruntowną wiedzę dotyczącą nie tylko wartości technicznej, materialnej budynku, ale również wartości niematerialnej, która często jest istotną wartością dodaną, pomijaną często w pracy diagnostycznej inżyniera. Określenie (lub przynajmniej oszacowanie) zdolności rewitalizacyjnej budynku użyteczności publicznej, w fazie wstępnej inwestycji, może pomóc inwestorowi w podejmowaniu kluczowych decyzji inwestycyjnych, zwracając uwagę na trudności w planowanej inwestycji i ukazując obszary potencjalnych zysków i pozytywnych oddziaływań. Ocena zdolności rewitalizacyjnej może być prowadzona na różnych poziomach. Ogólnie przeprowadzona ocena może dać wartość szacunkową zdolności rewitalizacyjnej, ukazując w procesie oceny słabe i mocne strony rewitalizowanego budynku. Prowadząc zaawansowaną diagnostykę interdyscyplinarną, w zależności od stopnia jej szczegółowości i fachowości, ocena zdolności rewitalizacyjnej może być bardziej wiarogodna i dawać bardziej obiektywne wyniki, niebędące tylko ogólnym szacunkiem. Referat przedstawia metodykę określania oceny zdolności rewitalizacyjnej budynku zabytkowego, dającej możliwość oceny zagadnień wynikających z jego zrównoważenia.

Słowa kluczowe: zasady zrównoważonego rozwoju, rewitalizacja, zdolność rewitalizacyjna budynku

¹ Wojciech Terlikowski, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej, Aleja Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, tel.+48 602 630 513, w.terlikowski@il.pw.edu.pl

1. Idea zrównoważonego rozwoju w procesie w praktyce budowlanej procesu rewitalizacji

Zasady zrównoważonego rozwoju w budownictwie [1], ukazujące ściśle powiązanie zagadnień dotyczących ekonomii, społeczeństwa i środowiska, powinny być, w sposób oczywisty, obecne w każdym procesie rewitalizacji. Wynika to bezpośrednio z definicji obu pojęć. Zrównoważony rozwój określa proces rozwoju, który dążąc do całkowitego zaspokojenia różnorodnych potrzeb obecnego pokolenia, nie przyczynia się w żaden sposób do potencjału rozwoju przyszłych pokoleń, dając im co najmniej te same możliwości co pokoleniom współczesnym. Dotyczy to przemyślanych działań gospodarczych, technicznych, ekonomicznych, społecznych, w tym: odpowiedniego korzystania ze środowiska, w sposób niepowodujący jego degradacji, nieodwracalnych zmian, a także wszelkich działań ekonomicznych i gospodarczych, przyczyniających się do niewłaściwego podziału dóbr, skutkujących pogłębiającymi się różnicami ekonomicznymi różnych środowisk i społeczeństw, nierównomiernym wzrostem gospodarczym lub poziomem życia. Powstawanie i pozostawianie bez działań naprawczych obszarów znajdujących się w sytuacji kryzysowej – zdegradowanych w sensie technicznym, materialnym i środowiskowym, wpływających negatywnie na zachowania społeczne, powodujących problemy socjalne, ekonomiczne, społeczne, są sprzeczne z ideą zrównoważonego rozwoju. Rewitalizacja jest definiowana jako złożone, interdyscyplinarne działania, dotyczące zmian przestrzennych, technicznych, urbanistycznych, których celem jest wyprowadzenie obszaru z sytuacji kryzysowej [2]. Dokonywane jest to, poprzez przywrócenie mu dawnych funkcji lub wykreowanie nowych oraz stworzenie warunków do jego dalszego rozwoju [3]. Integralne powiązanie idei zrównoważonego rozwoju w budownictwie, z wynikającym z niej procesem rewitalizacji jest szczególnie widoczne w działaniach dotyczących budynków zabytkowych. Ochrona zabytków w sposób bezpośredni wynika z idei zrównoważenia. Tragiczne zdarzenia z początku XXI wieku, w efekcie których niszczone jest światowe dziedzictwo kulturowe (np. zniszczenia obiektów zabytkowych w Palmyrze) pokazują, ciągłą konieczność wypracowywania struktur i procedur ochronnych.

Częścią działań rewitalizacyjnych jest rehabilitacja, modernizacja, adaptacja budynków znajdujących się na terenie objętym sytuacją kryzysową [4], których stan techniczny mógł być w sposób bezpośredni lub pośredni przyczyną jej zaistnienia. Jednak same działania techniczne i inżynierskie dotyczące budynków, w oderwaniu od kontekstu szerszego, który zawiera w sobie działania interdyscyplinarne wpływające na środowisko i zagadnienia społeczne, nie stanowią jeszcze działań rewitalizacyjnych. Działania te dotyczące budynku stają się rewitalizacją wówczas, gdy przyczyniają się do wyprowadzenia obszaru (na którym się znajdują) z sytuacji kryzysowej, wpływają na poprawę sytuacji społecz-

nej, pomagają rozwiązać problemy socjalne, pozytywnie wpływają na środowisko i społeczność lokalną, np. poprzez integrację ze środowiskiem naturalnym, pobudzenie przedsiębiorczości lokalnej, rozwój kulturalny. Chociaż pozornie działania te nie kojarzą się w sposób bezpośredni z działaniami budowlanymi, to jednak odpowiednio przeprowadzony inwestycyjny proces budowlany rewitalizacji budynku może wpływać na powyższe zagadnienia poprzez np. właściwy wybór odpowiedniej funkcji budynku lub jego części, adaptację budynku uwzględniającą nowy sposób użytkowania, dobór właściwych rozwiązań projektowych, technologiczno- materiałowych, w tym takich, które mogą pobudzać rozwój przedsiębiorczości lokalnej, np. w zakresie małych i średnich przedsiębiorstw. Dobrymi przykładami tego typu działań budowlanych jest rewitalizacja kompleksu zabudowań fabryki włókienniczej Izraela Poznańskiego w Łodzi – „Manufaktura”, zrealizowana w latach 1999 – 2006, a także realizowana obecnie w Warszawie, przy ul. Ząbkowskiej, rewitalizacja kompleksu zabudowań Warszawskiej Wytwórni Wódki „Koneser”. Nadanie nowych funkcji użytkowych budynkom znajdującym się na wymienionych obszarach, znajdujących się uprzednio w sytuacji kryzysowej, wpływa na ożywienie całego obszaru i przyczynia się do rozwiązania problemów społecznych powstałych po zaprzestaniu działalności fabryk.

2. Zdolność rewitalizacyjna, wartość remontowa i wartość zrównoważenia budynków zabytkowych

Właściwa diagnostyka budynków zabytkowych jest fundamentem wszystkich działań dotyczących jego rewitalizacji [4]. Stosując klasyczne podejście do diagnostyki konstrukcyjnej budynków zabytkowych nie wykraczamy poza zagadnienia techniczne (diagnostyka budowlana). Patrząc jednak przez pryzmat realizacji zasad zrównoważonego rozwoju, implikujących interdyscyplinarność procesu rewitalizacji, należy stosować diagnostykę rozszerzoną - zrównoważoną, która może ukazać szereg problemów poza technicznych, wpływających finalnie na osiągnięcie celów rewitalizacji. Zrealizowanie tego postulatu może być osiągnięte przez sporządzenie oceny zdolności rewitalizacyjnej budynku zabytkowego. Zdolność rewitalizacyjna budynku (w tym również zabytkowego) jest zespołem cech, właściwości i stanów określających przedmiotowy budynek, w zakresie jego konstrukcji, formy, funkcji, lokalizacji, walorów środowiskowych, społecznych, zdrowotnych, określających możliwości i opłacalność ekonomiczną planowanej rewitalizacji w formie uwzględniającej wszystkie aspekty rewitalizacji, wynikające z zasad zrównoważonego rozwoju [5]. Ocena zdolności rewitalizacyjnej budynku daje więc gruntowną wiedzę dotyczącą nie tylko wartości technicznej, materialnej budynku, ale również wartości niematerialnej, która często jest istotną wartością dodaną, pomijaną często w pracy diagnostycznej inżyniera. Należy zaznaczyć, że wartość ta jest szczególnie istotna w wypadku budynków zabytkowych. Podnosi ona wielokrotnie wartość podsta-

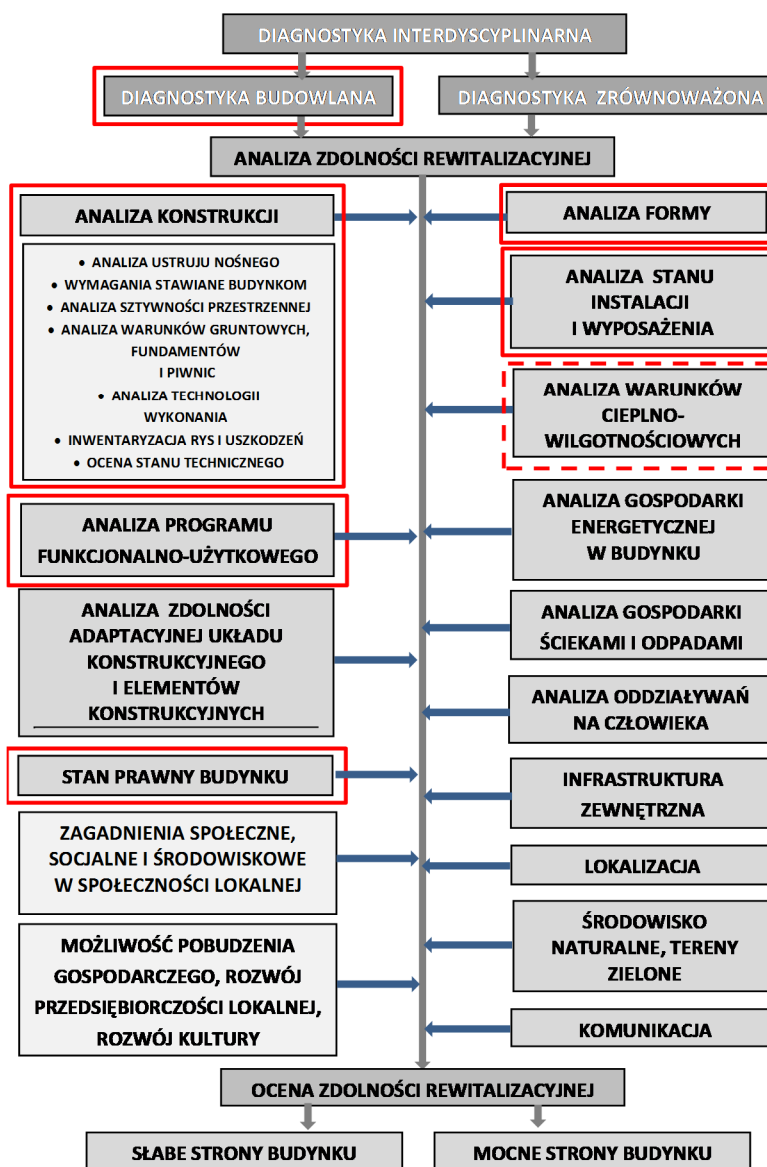
wowa wynikająca często tylko z wartości materialnej, która często nie jest duża, ze względu na posunięty proces degradacji konstrukcji budynków historycznych. Określenie (lub przynajmniej oszacowanie) zdolności rewitalizacyjnej budynku użyteczności publicznej, w fazie wstępnej inwestycji, może pomóc inwestorowi w podejmowaniu kluczowych decyzji inwestycyjnych, zwracając uwagę na trudności w planowanej inwestycji i ukazując obszary potencjalnych zysków i pozytywnych oddziaływań.

W klasycznym podejściu do rehabilitacji budynków zabytkowych analizowany jest przede wszystkim stan techniczny budynku – jego konstrukcji, elementów architektoniczno-budowlanych, instalacji, możliwość adaptacji do nowych wymagań funkcjonalno-konstrukcyjnych oraz wynikających z aktualnie obowiązującego komfortu użytkowania. Analiza stanu bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowania, w połączeniu z nową koncepcją użytkowania budynku, powstała w wyniku procesu rewitalizacji, daje odpowiedź czy i w jakim zakresie budynek wymaga działań ratunkowych, zabezpieczających, wzmacniających, rehabilitacyjnych, adaptacyjnych, modernizacyjnych, czy remontowych. Można więc wyróżnić pojęcie dolności rehabilitacyjnej rewitalizowanego budynku zabytkowego, która definiuje zdolność rewitalizowanego budynku do rehabilitacji, połączonej z remontem, modernizacją i wieloaspektową adaptacją budynku zabytkowego do nowych wymagań technicznych i funkcjonalno-użytkowych. Określając wartość zdolności rehabilitacyjnej budynku zabytkowego konieczne jest również określenie zdolności adaptacyjnej układu konstrukcyjnego i jego elementów oraz układu architektoniczno-funkcjonalnego. Wartość remontowa budynku zabytkowego jest możliwa do określenia w sposób obiektywny i weryfikowalny, poprzez stosowanie wynikających z praktyki budowlanej reguł sporządzania ekspertyz, opinii i ocen technicznych. Bazują one często na ogólnie przyjętych schematach i wartościach ocen, odnoszących się do przyjętych powszechnie kryteriów zużycia elementów budynku.

Oceniając stan techniczny budynku zabytkowego najczęściej przyjmuje się kryterium procentowego stopnia zniszczenia, ustalone w sposób indywidualny na podstawie obserwacji i badań makroskopowych. Często rewitalizacja budynków zabytkowych niesie ze sobą konieczność wymiany elementów konstrukcyjnych, które uległy degradacji, co z kolei może się wiązać ze zmianą ich gabarytów, wynikającą z ich adaptacją do współczesnych wymagań technicznych [6].

Określenie wartości rehabilitacyjnej budynku zabytkowego (w oparciu o powszechnie stosowaną w praktyce budowlanej ocenę stanu technicznego budynku i jego układu konstrukcyjnego i elementów), chociaż daje obiektywną, weryfikowalną ocenę jego wartości materialnej i koniecznych do wykonania działań inżyniersko-budowlanych, nie daje jednak pełnej wiedzy o wartości budynku w procesie rewitalizacji. Istotną cechą rewitalizowanego budynku zabytkowego jest jego wartość niematerialna, wynikająca z idei zrównoważonego rozwoju, która można określić pojęciem wartości zrównoważenia. Schemat po-

stępowania diagnostycznego budynku zabytkowego, uwzględniającego diagnostykę interdyscyplinarną, w tym ocenę zdolności rewitalizacyjnej budynku, zdolności rehabilitacyjnej i wartość zrównoważenia w procesie rewitalizacji, został przedstawiony na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat diagnostyki interdyscyplinarnej budynku zabytkowego, wg [6]

Fig. 1. Diagram of interdisciplinary diagnostics of historic building, based on [6]

W podwójnej ramce zaznaczone zostały elementy diagnostyki budowlanej, powszechnie stosowane w podejściu klasycznym, stanowiące podstawę oceny zdolności rehabilitacyjnej (linią przerywaną elementy rzadko stosowane w odniesieniu do budynków zabytkowych). Elementy oznaczone pojedynczą ramką pokazują obszary zrównoważenia budynku w procesie rewitalizacji.

Stosując ocenę zdolności rewitalizacyjnej budynku zabytkowego ($Z_{d_{rew}}$) można więc stwierdzić, że jest ona sumą wartości rehabilitacyjnej budynku ($Z_{d_{reh}}$ - stosowaną w oparciu o diagnostykę klasyczną prowadzoną powszechnie w praktyce budowlanej) i wartości jego zrównoważenia w procesie rewitalizacji (W_{zr}) (1).

$$Z_{d_{rew}} = Z_{d_{reh}} + W_{zr} \quad (1)$$

Ocena zdolności rewitalizacyjnej może być prowadzona na różnych poziomach. W ujęciu bardzo ogólnym, określenie zdolności rewitalizacyjnej może sprowadzić się do oszacowania wartości wielu cech, określających zarówno stan techniczny budynku, w ujęciu techniczno-budowlanym, jak i cech wynikających z podejścia uwzględniającego zasady zrównoważonego rozwoju. Ogólnie przeprowadzona ocena może dać wartość szacunkową zdolności rewitalizacyjnej, ukazując w procesie oceny słabe i mocne strony rewitalizowanego budynku. Prowadząc zaawansowaną diagnostykę interdyscyplinarną, w zależności od stopnia jej szczegółowości i fachowości, ocena zdolności rewitalizacyjnej może być bardziej wiarogodna i dawać bardziej obiektywne wyniki, niebędące tylko ogólnym szacunkiem. Przykładem może tu być np. uwzględnienie możliwości zastosowań innowacyjnych rozwiązań instalacyjnych, poprawiających efektywność energetyczną rewitalizowanych budynków zabytkowych [7]. W opracowanym algorytmie oceny zdolności rewitalizacyjnej budynku zabytkowego, uwzględniono ok. 100 cech i stanów, w 8 głównych grupach zagadnień (formalno-prawne, wartość historyczna i kulturowa, budowlane, oddziaływanie na człowieka, otoczenie zewnętrzne, efektywność energetyczna, innowacyjność, wpływ na społeczność lokalną), w których prowadzona jest diagnostyka interdyscyplinarna. W procesie określania zdolności rewitalizacyjnej budynku ocenia się cechy i stany, przyporządkowując im, określone oceny (np. od 0 do 5), na podstawie tabel pomocniczych (przykładowa tabela dotycząca 7 grupy zagadnień – analizy innowacyjności, przedstawiona została w Tabeli 1.). W zależności od grupy zagadnień, otrzymanym wynikowi liczbowemu nadaje się określone wagi, przypisane poszczególnym grupom. Wagi te zostały określone w oparciu o analizę stosowanych systemów certyfikujących budynki pod względem spełniania zasad zrównoważonego rozwoju (LEED i BREEAM) oraz doświadczeń własnych autora. W wyniku przeprowadzonej analizy otrzymywany jest wynik punktowy, z którego wynika ocena końcowa zdolności rewitalizacyjnej budynku zabytkowego (niedostateczna – rewitalizacja niezalecana, dostateczna – rewitalizacja trudna z problemami, duża – rewitalizacja zlecana, bardzo duża – rewita-

lizacja z dużym prawdopodobieństwem sukcesu). Oprócz wyniku punktowego podawane są istotne informacje wynikające z analizy.

Tabela 1. Analiza innowacyjności (współczynnik wagi – 0,065)

Table 1. Analysis of innovativeness

Lp.	OPIS	SPOSÓB OCENY	OCENA
1	MATERIAŁY	UZALEŻNIONY OD MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MATERIAŁÓW INNOWACYJNYCH (BRAK-0, BARDZO DUŻA-5)	0,1,2,3,4,5
2	TECHNOLOGIE	UZALEŻNIONY OD MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII INNOWACYJNYCH (BRAK-0, BARDZO DUŻA-5)	0,1,2,3,4,5
3	ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE, TECHNICZNE	UZALEŻNIONY OD MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ROZWIĄZAŃ INNOWACYJNYCH (BRAK-0, BARDZO DUŻA-5)	0,1,2,3,4,5
4	URZĄDZENIA I WYPOSAŻENIE	UZALEŻNIONY OD MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA URZĄDZEŃ INNOWACYJNYCH (BRAK-0, BARDZO DUŻA-5)	0,1,2,3,4,5
5	ROZWIĄZANIA ZWIĄZANE Z UŻYTKOWANIEM	ZASTOSOWANIA ROZWIĄZAŃ INNOWACYJNYCH (BRAK-0, BARDZO DUŻA-5)	0,1,2,3,4,5

3. Podsumowanie

Istotnym narzędziem diagnostycznym, badającym szeroki zakres zagadnień wynikających z zasad zrównoważonego rozwoju w procesie rewitalizacji budynków zabytkowych, jest ocena zdolności rewitalizacyjnej budynku, będącej sumą wartości rehabilitacyjnej i wartości zrównoważenia. Wykracza ona poza przyjęte do tej pory schematy postępowania diagnostycznego, ograniczającego się zazwyczaj do zagadnień technicznych. W wyniku jej przeprowadzenia można otrzymać pełny zasób wiedzy, umożliwiający podjęcie głównych decyzji inwestycyjnych, związanych z procesem rewitalizacji budynku i jej możliwego wpływu na obszar znajdujący się w sytuacji kryzysowej (w tym możliwość rozwiązania występujących problemów technicznych i poza technicznych). Może być ona ważnym i pomocnym narzędziem w rewitalizacji dla inwestora, projektanta i wykonawcy.

Literatura

- [1] Czarnecki L., Kaproń M., Sustainable Construction as a Research Area, International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources Vol. 17 (2010) No. 2 pp. 99-106.
- [2] Strzelecka E., Rewitalizacja miast w kontekście zrównoważonego rozwoju, Civil and Environmental Engineering (Budownictwo i Inżynieria Środowiska) 2 (2011) ISSN: 2081-3279.

- [3] Terlikowski W., Rewitalizacja budynków użyteczności publicznej zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, Miesięcznik Materiały Budowlane 5'2013 (nr 490), Warszawa 2013.
- [4] Nowogońska B., Stan techniczny budynków w aspekcie skali potrzeb rewitalizacji, Problemy Rozwoju Miast, t. 11, nr 2, 2014.
- [5] Terlikowski W.: Zdolność rewitalizacyjna budynków użyteczności publicznej, Miesięcznik „Materiały Budowlane” 5'2013 (nr 490), Warszawa 2013.
- [6] Bednarek Z., Kaliszuk-Wietecha A.: Analysis of the fire-protection impregnation influence on wood strength. Journal of Civil Engineering and Management, vol. 13, nr 2, 2007, str. 79-85.
- [7] Firląg Sz., Witkowska E., Instalacje c.o., c.w.u. i wentylacji w budynkach energooszczędnych NF40 i NF15, w: Rynek Instalacyjny, Grupa MEDIUM Sp. z o.o. Sp.k.-a., nr 9, 2013, ss. 26-33.

SUSTAINABLE REVITALIZATION OF HISTORIC BUILDINGS

Summary

The revitalization process is strictly related to the idea of sustainable development in the construction industry, showing its interdisciplinarity. Diagnosis of a historic building, which is revitalized should take into account the interdisciplinary issues beyond the commonly accepted practice of the construction activities of technical diagnostics. An important element is the evaluation of the ability of the revitalization of the building, which is the sum of the availability of rehabilitation of building and value of its sustainability. Evaluation of the revitalization of the building thus provide a thorough knowledge of not only the technical and material value of the building, but also the intangible asset that is often an important added value, often overlooked in the diagnostic works. The evaluation (or at least estimate) of the ability of revitalization of public building, in the initial phase of investment, can help investors in making key investment decisions, noting the difficulty of the planned investment and revealing areas of potential profit and positive effects. The evaluation of revitalization can be carried out at different levels. Overall assessment can give an estimate of the ability of revitalization, revealing in the process of assessing the strengths and weaknesses of the revitalized building. Leading advanced interdisciplinary diagnostics, depending on the degree of detail and expertise, to evaluate the ability of revitalization may be more credible and give more objective results, which is not only the general estimate. The paper introduce the methodology for assessment of the revitalization of the historic building, giving the opportunity to assess the issues resulting from its sustainability.

Keywords: the principles of sustainable development, revitalization, revitalization ability of the building

DOI:10.7862/rb.2016.297

Przesłano do redakcji: 5.12.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Krzysztof TROJNAR¹
Aleksander DUDA²

MONITORING OF DISPLACEMENT ABUTMENTS OF MOTORWAY VIADUCT

The aim of the paper is controlling the behavior of the bridge supports of the motorway viaduct WA-164 on strengthened subsoil using soil-cement columns made in DSM technology. Monitoring of the construction was carried out for a period of 16 months by measuring the settlement and rotation of the structure. The settlements were measured by means of the geodesic precision leveling method. Changes in the rotation of the supports were recorded using a inclinometer sensors installed on the walls of the abutments. For mapping of the construction work, numerical models of span and abutments were performed. The abutment was modeled in computer program SOFiSTiK. The stiffness of subsoil was calibrated with regard to the measured settlement of the abutment on DSM columns. The results of field measurements shows that after backfilling the abutments, it leaned in the embankments direction. This is also confirmed by numerical analysis. Monitoring conducted in 2014 showed that settlement is stabilized, and the measured values are safe and lower than the SLS limit stage. Numerical modeling along with geotechnical and geodetic monitoring has enabled a better understanding of the behavior of the bridge foundation on strengthened subsoil and verify the calculation assumptions taken at the stage of design calculations.

Keywords: displacement of bridge abutment, strengthened subsoil, numerical analysis, field measurements

1. Introduction

A valuable source of information about the behavior of bridges after their construction is monitoring of the structure. On podkarpackie section of the A4 motorway Rzeszow - Jarosław, Department of Roads and Bridges Rzeszow University of Technology conducts, on behalf of the General Directorate for National Roads and Motorways, displacement monitoring of 10 bridges, they are bridges, viaducts and culverts. The reason for control measurements are primarily

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Krzysztof Trojnar, dr hab. inż. prof. PRz, Politechnika Rzeszowska, ul. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, ktrojnar@prz.edu.pl

² Aleksander Duda, mgr inż, Politechnika Rzeszowska, ul. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, aleksander.duda89@wp.pl

foundation supports problems on weak subsoil. Due to the variety of subsoil types, its full diagnosis is not possible, and knowledge about them we get only from a few places where samples were taken. This also applies to strengthened subsoil whose assessment after the construction of objects is only possible by using geodetic and geotechnical monitoring. Continuous monitoring of objects since their construction is very valuable.

2. Description of the motorway viaduct WA-164

Road viaduct WA-164 is located within the A4 motorway between Rzeszow - Jarosław in km 582+247.98. There is a passage of local road 1384R under the viaduct between Terliczka - Trzebownisko. The communication system in the area of the object is shown on Fig. 1.



Fig. 1. The viaduct WA-164 A4 motorway

Rys. 1. Wiadukt WA-164 w ciągu autostrady A4

The viaduct is a single-span slab-beam structure of static scheme simply supported beam. Theoretical span of structure in axis motorway is 30,8 m. Under each roadway of a motorway a separate bridge construction has been made. Solid abutments are located in diagonally 58.3 degree relative to the axis spans and are using expansion joints on a viaduct axis. The height of the abutments corps is from 6,0 m to 6,5 m (including abutment backwall), the thickness of the front wall is 1.5 m, and the side walls (wings) is 1,0 m. The foundation supports are directly on the strengthened subsoil with DSM columns Longitudinal section of the viaduct shown on Fig. 2.

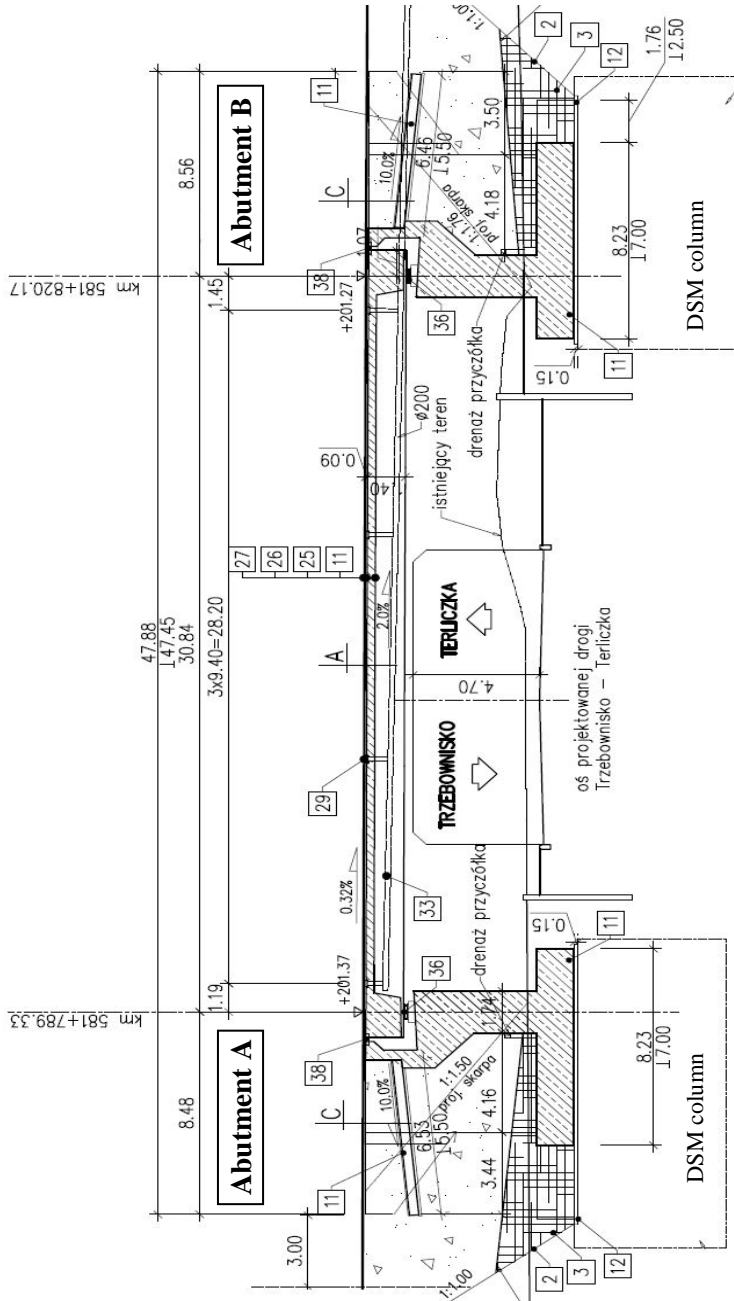


Fig. 2. Longitudinal section of the viaduct WA-164

Rys. 2. Przekrój podłużny wiaduktu WA-164

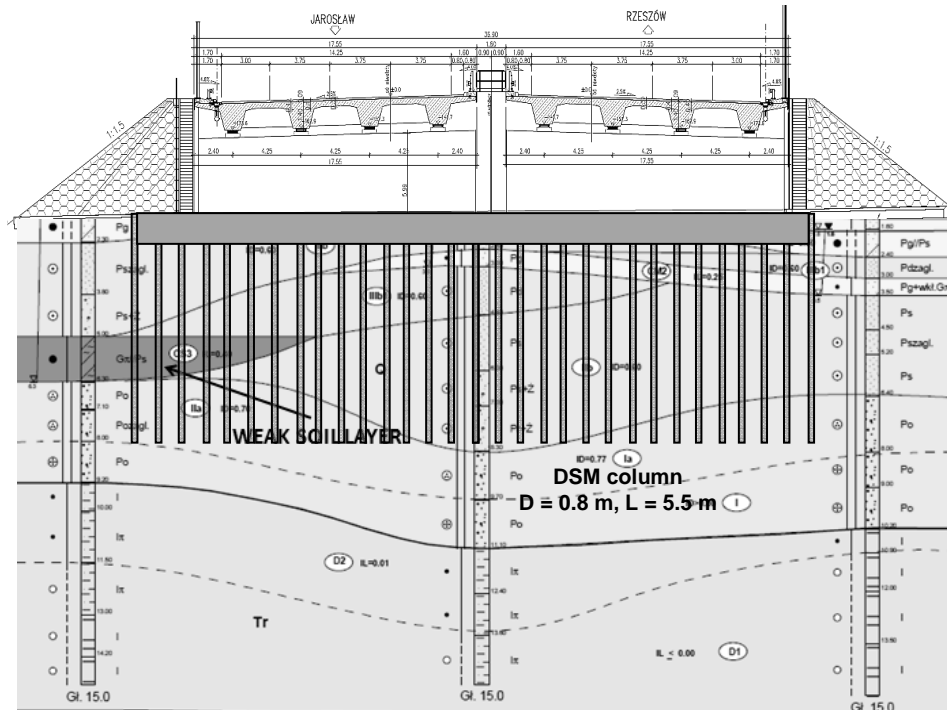


Fig. 3. Cross section of the viaduct and view the abutment A with an indication weak soil layer on geotechnical profile

Rys. 3. Przekrój poprzeczny wiaduktu oraz widok przyczółka A, z zaznaczeniem warstw słabego podłoża w profile geotechnicznym



Fig. 4. View on the viaduct before backfilling the abutments

Rys. 4. Widok na wiadukt przed wykonaniem zasyпки przyczółków

Strip footings under frontal walls, both the abutments and wings, have a width of 7 m and are 1.4 m thick. It was taken on slant, with an expansion joint on motorway axis. The supporting layers of subsoil in the area of viaduct are tertiary clays and salty clays in stiff state, located at a depth of 9.2 - 11.6 m below. Above river sediments are medium sands with admixture of gravel, fine clay sands, changing on loamy sands in the concentrated state, locally medium concentrated [1, 2]. Due to the differentiation state of the upper layers of subsoil, one designed ground-cement columns with diameter 0.8 m, the DSM technology "on wet". The columns 0.8 m in diameter are made under foundation contour of every abutment in a cross, in the axial spacing of 1.65 m, on area with dimensions of 14 m by 50 m. The length of the columns under the abutment A is 5.5 m, under the abutment B - 6.0 m. View of bridge abutment A with geotechnical profile and location of DSM column are on Figs. 3, 4, 5.

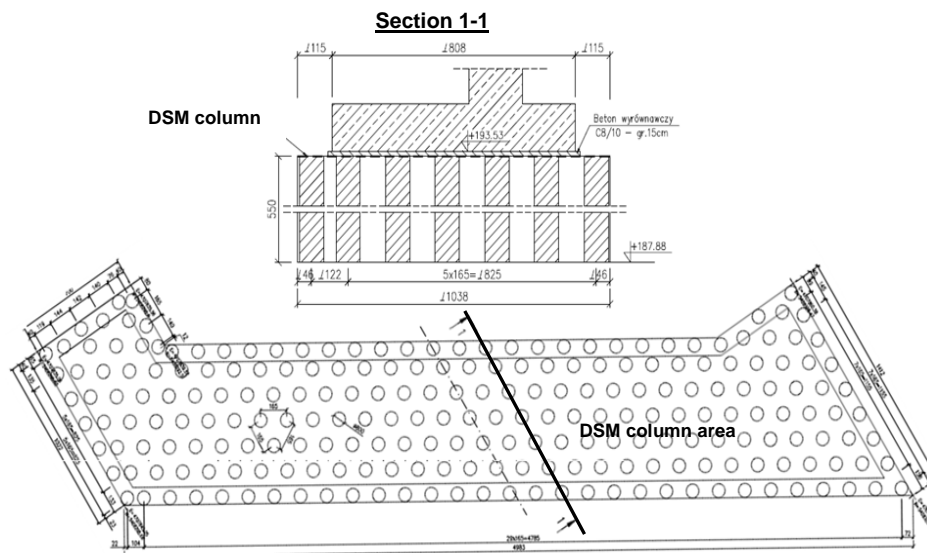


Fig. 5. Strengthening subsoil with DSM columns under the abutment

Rys. 5. Wzmocnienie podłoża kolumnami DSM pod przyczółkiem

3. Monitoring of bridge support displacements

3.1. The methods of performing measurements

The measurements were performed since June 2012 along the conducted construction works (concrete corps and the structure spans, backfilling strip footings and abutments corps) [3]. Since 2014 was performed control of the angular displacements (rotation) corps abutments. Subsidence was measured using precision leveling. On every abutments are installed 12 surveying benchmarks, 6 on

each support. Schematic layout of surveying benchmarks is shown in Fig. 6. Control measurements of supports' swing were performed to verify the behavior of the viaduct to the strengthened subsoil (DSM columns). Changes in the swing of supports have been recorded by the two-axis inclinometer sensors, installed permanently in the walls of the corps at the height of the bridge seat about 4 meters above the ground. Location sensor is shown in Fig. 7.

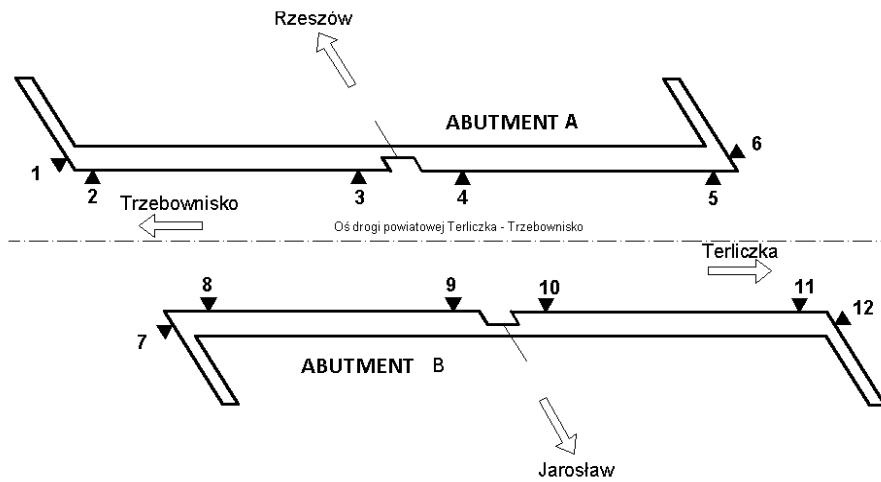


Fig. 6. Distribution of surveying benchmarks on abutments

Rys. 6. Rozmieszczenie reperów geodezyjnych na przyczółkach

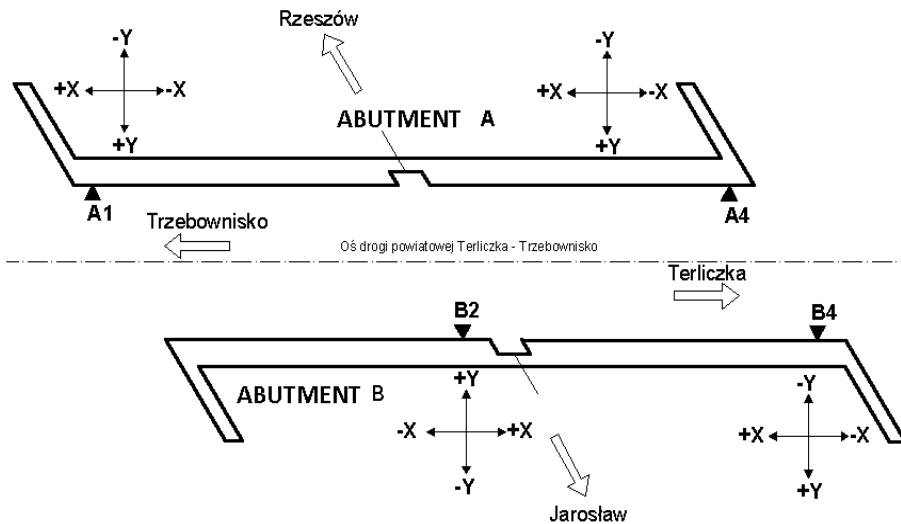


Fig. 7. Schematic layout of inclinometers sensors with reference system (x,y)

Rys. 7. Schemat rozmieszczenia czujników inklinometrycznych wraz z osiami odniesienia (x,y)

View of the measurement equipment installed on corps of the abutment is shown in Fig. 8. The sensors can work in the temperature range from -30° to $+80^{\circ}$, and measure the swing of corps walls in range of $\pm 5^{\circ}$, with an accuracy of 0.01° . The sensors are connected to measuring boxes, fixed on both walls' abutments. The measurements were carried out for 12 months (from April 2014 to April 2015). Readings of the sensors were performed periodically by connecting a computer equipped with dedicated software. Each sensor has a designated individual internal axis directions of the coordinate system. The measured values were real swing sensors installed on bridge supports.

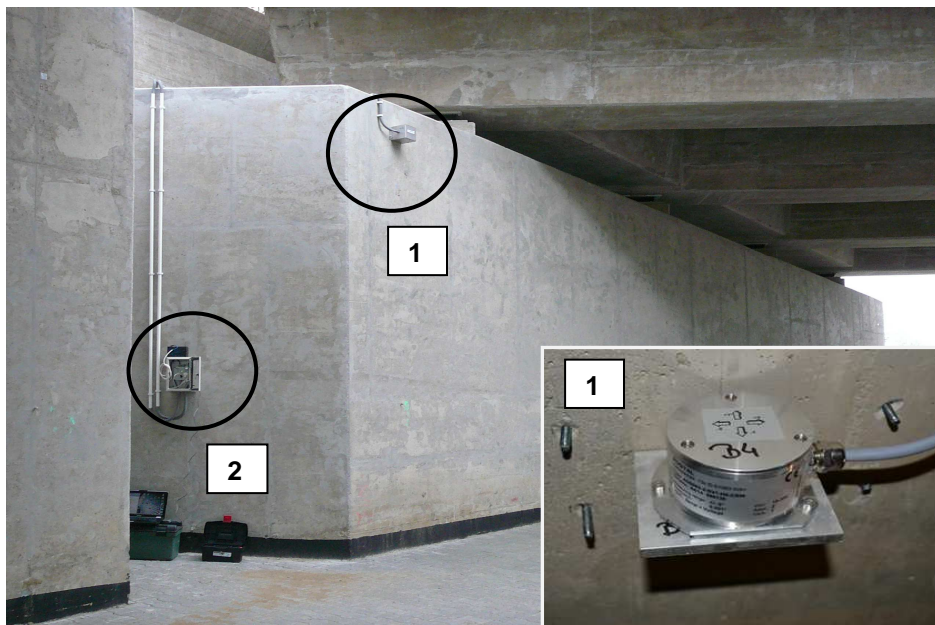


Fig. 8. View the inclinometer system installed on the wall abutment; 1 – inclinometer sensor, 2 – measuring box

Rys. 8. Widok systemu inklinometrycznego zainstalowanego na przyczółku, 1 – czujnik, 2 – skrzynka pomiarowa

3.2. The results of field measurements

Fig. 9 compares the charts of increment subsidence surveying of selected benchmarks, in relation to zero measurement - assembly bearings on abutments in June 2012.

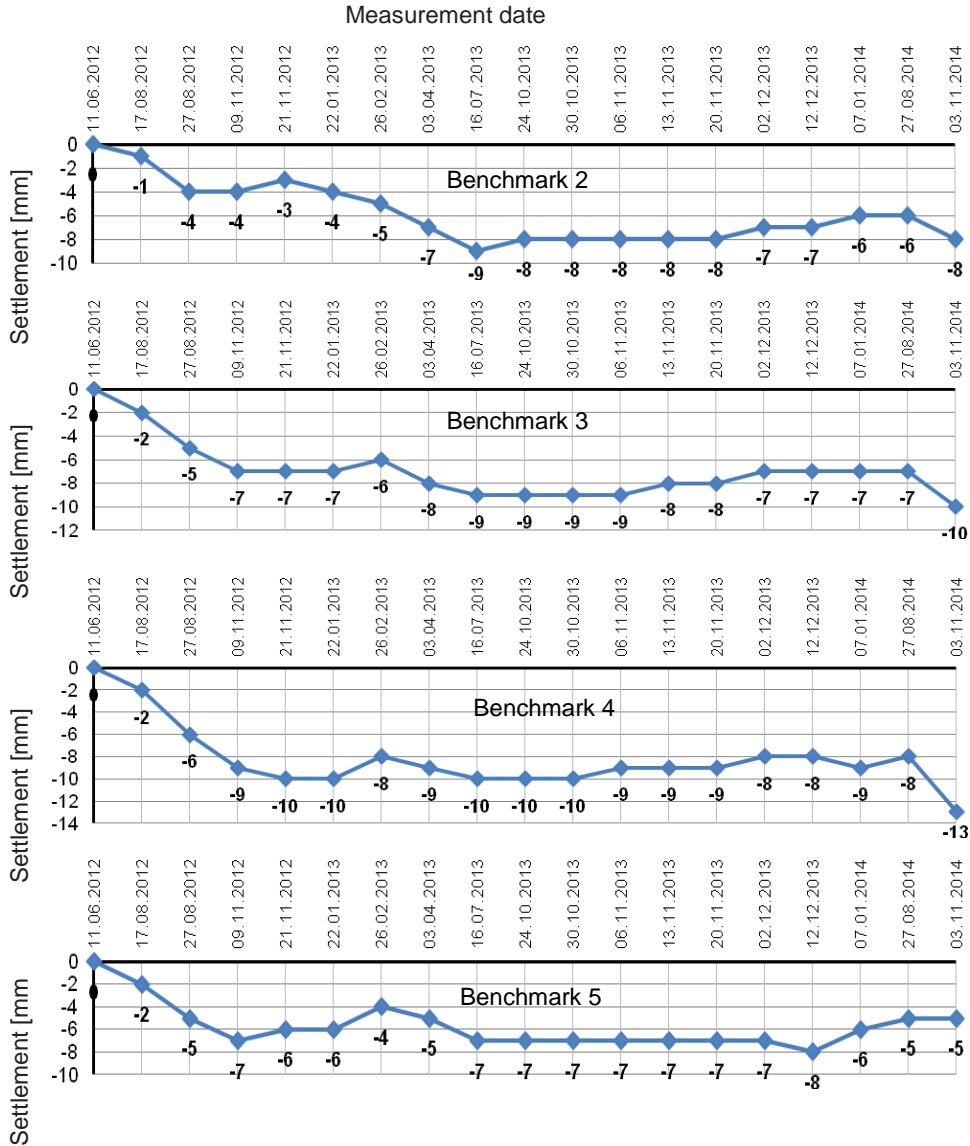


Fig. 9. Settlements selected benchmarks on abutment A during the construction of the viaduct

Rys. 9. Osiedzenia wybranych reperów na przyczółku A podczas wykonywania konstrukcji wiaduktu

The course charts indicate the occurrence, in the period from June 2012 to January 2014, of the limited increments of supports settlements (up to 9 mm). In the first half of 2014, one can notice a pause in supports' settlement, as a consequence of works being stopped on the site. In summer 2014, due to formation

of embankments, there was an increase in settlement of support A to 5 mm (benchmark 4), while differences between the settlement using expansion joint parts of abutment A are 2 mm (benchmark 2 and 3) and 8 mm (benchmark 4 and 5). The examples of measurement results using inclinometers installed on the cords of abutment A are shown in Table 1. Automatic measurement deflection angle of supports showed that the rotation of abutment is small, proving the stability of the strengthened subsoil under the construction.

Table 1. Angular measurement readings from inclinometer sensors on the abutment A

Tabela 1. Odczyty pomiarów kątowych z czujników inklinometrycznych na przyczółku A

Inclinometer sensor A1				Inclinometer sensor A4			
Date	Time	Value angular measurement [degrees]		Date	Time	Value angular measurement [degrees]	
		x axis	y axis			x axis	y axis
15.04.2014	23:10	-0.052	0.392	15.04.2014	23:09	-0.216	-0.037
25.04.2014	19:06	-0.047	0.37	25.04.2014	19:06	-0.224	-0.053
21.09.2014	19:04	-0.055	0.315	21.09.2014	19:09	-0.209	-0.069
26.10.2014	12:06	-0.06	0.32	26.10.2014	12:10	-0.203	-0.068
18.04.2015	10:33	-0.057	0.304	18.04.2015	10:37	-0.198	-0.088

4. The numerical model of a bridge abutment

4.1. Model description and results of numerical analysis

To reflect the functioning of the viaduct numerical models of span and abutments were performed by using a computer program Sofistik. For span is assumed model comprised of elements one and two-dimensional (e1 + e2) in three dimensional space (p3), girders beam mapped by rod (beam) and bridge deck by shell elements (quad). The support of spans accepted as hinged. The geometry of object and characteristics of structural materials are based on the design documentation [1]. Modeled load included dead load at the existing state of construction (without equipment). Comparison of results by FEM calculations and project documentation showed that differences in impact of the span on the support (support reactions) are small and are within 5%. For abutments e3 p3 numerical model using solid elements (bric) was made. The load model included forces from the spans reaction, dead load abutment, load weight from backfill and horizontal soil pressure. The foundation of supports was assumed as elastic (springs elements) with stiffness selected based on the measured settlement and with the strengthening by means of DSM columns. The difference between displacement using expansion joint part of corps (lack of symmetry in graphs)

modeled change the stiffness of subsoil in the range of $11,2 \times 10^3$ to $13,6 \times 10^3$ kN/m³. This distribution of stiffness substrate is giving the same results of vertical displacements from field measurements and numerical calculations (Fig. 10).

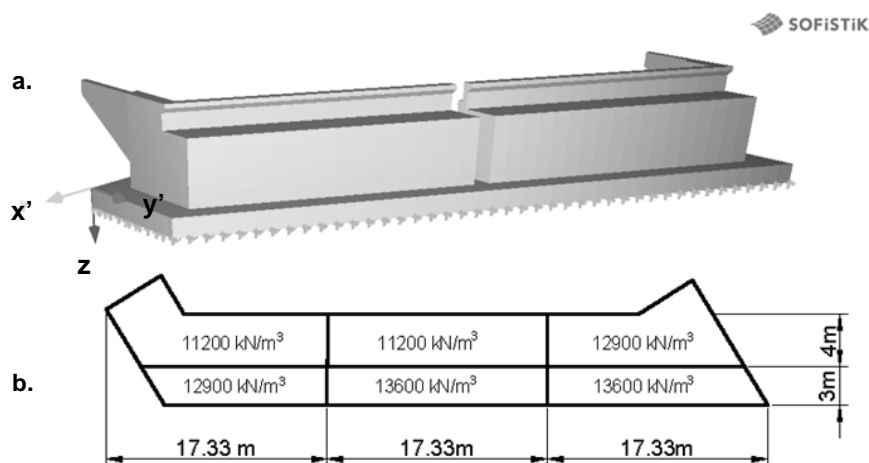


Fig. 10. Visualization numerical model of abutment WA-164; a. Axis directions, b. Distribution of vertical stiffness of elastic subsoil

Rys. 10. Wizualizacja modelu numerycznego przy czółka WA-164; a. układ osi, b. rozkład pionowej sztywności podłoża

5. Comparison of results from field measurements and numerical analysis

For bridges with simply supported spans, the relative rotation of supports structure will not exceed the limit value equal to $1/500$, which is equivalent to the occurrence of rotation in the analyzed supports of the viaduct by the angle of 0.115° (degrees). After performing backfill cords of abutment A deflect to backfill by the angle 0.066° - from field measurements, and numerical model obtained by comparable value of 0.055° . The angular difference in the rotation of abutment A based on the results, from field measurements and numerical calculations (Table. 2), are small and have only 0.015° . By changing the angle of rotation of the abutment is therefore 2 times smaller than the state limit. The object of design documentation [1] was adopted as acceptable occurrence of difference in settlement of supports $\Delta w_{\max} = 10$ mm, without specifying the maximum value of settlement foundations. The biggest overall settling abutments A and B from field measurements amounted to $w_{\max} = 13$ mm (benchmark 4) and the maximum differential settlement between the supports is equal to $\Delta w = 4$ mm, and shows no change in measurement in 2014. Therefore, the functionality limit of the supports has not been exceeded. Fig. 11-13 shows the vertical and horizontal displacements of abutment A from numerical calculations.

Table 2. Comparison of deflections the abutment from field measurements and numerical model

Tabela 2. Porównanie wychyleń kątowych przyczółka z pomiarów polowych i modelu numerycznego

Date	Description	A rotation the abutment A in a direction orthogonal to the face wall [degrees °]			
		Field measurements (A1)	Numerical model (A1)	Field measurements (A4)	Numerical model (A4)
25.04.2014	before backfilling the abutment	0.37	0.002	-0.053	0.008
18.04.2015	after the backfilling and 8-month consolidation	0.304	-0.053	-0.088	-0.042
Changing the angle of rotation		-0.066	-0.055	-0.035	-0.050

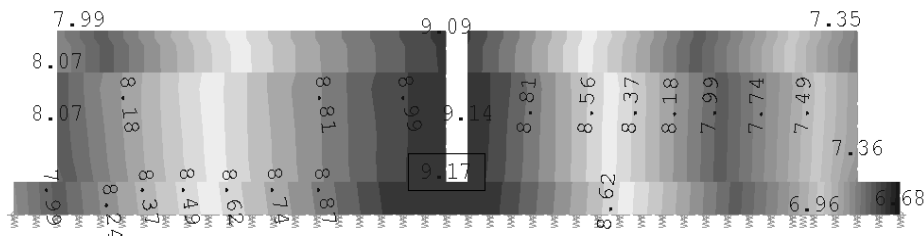


Fig. 11. The vertical displacements in numerical model of the abutment A for z direction, [mm]

Rys. 11. Pionowe przemieszczenia przyczółka A w modelu numerycznym, [mm]

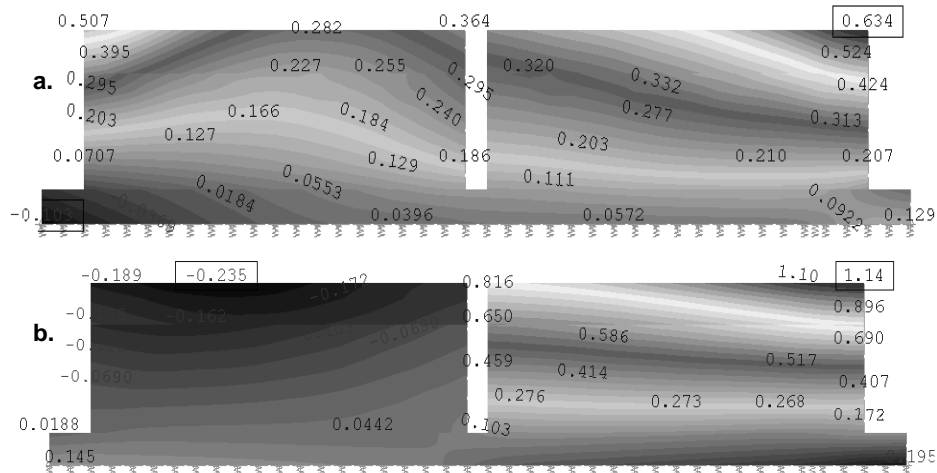


Fig. 12. The horizontal displacements in numerical model of the abutment A - before performing backfill, [mm]; a. x direction, b. y direction

Rys. 12. Przemieszczenia poziome przyczółka A w modelu numerycznym – przed wykonaniem zasypki, [mm]; a. na kierunku x, b. na kierunku y

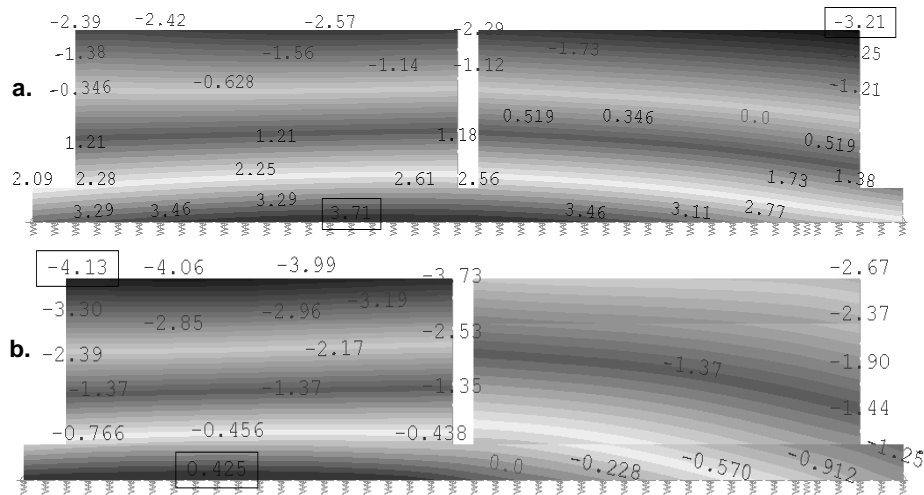


Fig. 13. The horizontal displacements in numerical model of the abutment A - after performing backfill, [mm]; a. x direction, b. y direction

Rys. 13. Przemieszczenia poziome przyczółka A w modelu numerycznym – po wykonaniu zasypki, [mm]; a. na kierunku x, b. na kierunku y

6. Conclusion

Monitoring conducted in 2014 showed that settlement of supports WA-164 viaduct is stabilized, and the measured settlement is safe and lower than the limit values. Numerical modeling with geotechnical and geodetic monitoring has enabled a better understanding of the behavior of the object constructed on strengthened subsoil and confirmed the calculation assumptions adopted at the design stage. Comparison of the results of field measurements and numerical calculations confirm proper behavior of the object.

Bibliography

- [1] Detailed design of the road viaduct WD-164 located at km 582+247.98 A4 motorway: "Realization of Building Design, Project realization and tender documents for the construction of A-4 motorway on the section Rzeszow - Jaroslav from km 581+250.00 to km 621+930.00", MP MOSTY Katowice, 2010.
- [2] Geological - engineering assessment engineering-geological conditions of the substrate under the projected A4 motorway section Rzeszow - Jaroslav from km 581 + 250 to km 621 + 930. Geostandard Sp. z o.o. Wrocław, 2009.
- [3] Measuring operate no. GP/02.2014 / II-3926 GEOPRZEM, 21/02/2014.
- [4] Report of monitoring settlement viaduct WA-164. Technical and scientific supervision engineering objects on A4, carried out under the investment project entitled.: Construction of A-4 motorway, section Rzeszow - Jaroslav - 15.12.2014 r.

MONITORING PRZEMIESZCZEŃ PRZYCZÓŁKU WIADUKTU AUTOSTRADOWEGO

Streszczenie

Celem referatu jest kontrola zachowania się podpór mostowych, wiaduktu autostradowego WA-164 na wzmocnionym podłożu, poprzez kolumny gruntowo – cementowe wykonane w technologii DSM. Monitoring konstrukcji prowadzono przez okres 16 miesięcy, mierząc osiadania i obroty konstrukcji. Osiadania były mierzone metodą niwelacji precyzyjnej. Zmiana obrotów podpór była rejestrowana przy pomocy czujników inklinometrycznych, zainstalowanych na ścianie przyczółku. Dla odwzorowania pracy konstrukcji wykonano model numeryczny przęsła oraz przyczółku. Przyczółek zamodelowano w programie komputerowym SOFiSTiK. Sztywność podłoża była kalibrowana w odniesieniu do pomiarów osiadania przyczółka na kolumnach DSM. Pomiarowe polowe pokazują, że po wykonaniu zasypki przyczółka, wychylił się on w stronę nasypu. Potwierdza to również analiza numeryczna. Monitoring prowadzony w roku 2014 pokazał, że osiadania są stabilne, a pomierzone wartości bezpieczne i mniejsze niż dopuszczalne dla stanu granicznego użytkowania. Modelowanie numeryczne wraz z geotechnicznym i geodezyjnym monitoringiem pozwala lepiej zrozumieć zachowanie się fundamentu mostowego na wzmocnionym podłożu oraz zweryfikować założenia obliczeniowe podjęte na etapie projektowania.

Słowa kluczowe: przemieszczenia przyczółku mostowego, wzmocnione podłoże, numeryczna analiza, pomiary polowe

DOI:10.7862/rb.2016.298

Przesłano do redakcji: 5.12.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Anna WACHOWICZ-PYZIK¹

Anna SOWIŹDŹAŁ²

Leszek PAJĄK³

WYKORZYSTANIE MODELOWANIA NUMERYCZNEGO DO OKREŚLENIA WPŁYWU KONFIGURACJI OTWORÓW NA PARAMETRY EKSPLOATACYJNE DLA DUBLETU GEOTERMALNEGO W REJONIE CHOSZCZNA

Modelowanie numeryczne umożliwia ograniczenie ryzyka związanego z wyborem lokalizacji otworów wiertniczych, a także optymalizację eksploatacji ujęcia, zapewniając mu długoletnią pracę przy jego optymalnych parametrach. Odpowiedni dobór oprogramowania, a także adekwatna metodyka wykorzystywana przy tworzeniu modeli numerycznych, w zależności od dostępnych danych, w znaczny sposób wpływa na jakość uzyskanych wyników. W niniejszym artykule rozważono wpływ odległości otworów wiertniczych wchodzących w skład dubletu geotermalnego oraz dobór optymalnego wydatku eksploatacyjnego przy użyciu kodu TOUGH2, wykorzystującego do obliczeń metodę różnic skończonych. Za obszar modelowy przyjęto rejon położony w strefie między niecką szczecińską a monokliną przedsudecką, w której zlokalizowany jest istniejący otwór wiertniczy Choszczno IG-1. Praca podzielona została na dwa etapy. W pierwszym etapie rozpatrywane były zmiany odległości otworu produkcyjnego i zatłaczającego oraz ich wpływ na prace dubletu. W drugim etapie analizie poddano wpływ wydatku ujęcia. Na podstawie uzyskanych wyników zaproponowano optymalną lokalizację otworu zatłaczającego oraz chłonnego oraz wielkość wydatku.

Słowa kluczowe: modelowanie numeryczne, metoda różnic skończonych, energia geotermalna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Anna Wachowicz-Pyzik, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Surowców Energetycznych, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, amwachow@agh.edu.pl

² Anna Sowiźdźał, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Surowców Energetycznych, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, ansow@agh.edu.pl

³ Leszek Pająk, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, pajakl@agh.edu.pl

1. Wprowadzenie

Modelowanie numeryczne powszechnie wykorzystywane w wielu dziedzinach nauki, w tym również w zagadnieniach dotyczących geotermii, odgrywa obecnie kluczową rolę już w początkowych etapach projektowania inwestycji o charakterze geotermalnym [1]. Modele numeryczne pozwalają na odzwierciedlenie geologicznej struktury ośrodka jak również procesów w nim zachodzących [2; 3; 4; 5; 6; 7; 8], ułatwiając tym samym przewidzenie możliwych do wystąpienia zjawisk związanych z eksploatacją wód podziemnych, takich jak choćby niepożądane zjawisko kolmatacji odwiertów [9], czy też korozji elementów strefy przyodwiertowej, które stanowią w Polsce duży problem w przypadku inwestycji geotermalnych szczególnie na obszarze Niżu Polskiego. Problem ten wynika między innymi z wysokiej mineralizacji ujmowanych wód [10]. Metody numeryczne wykorzystywane są również w zagadnieniach pokrewnych, związanych z wymianą masy w ośrodkach geologicznych. Przykładem może być prognozowanie propagacji zanieczyszczeń [11].

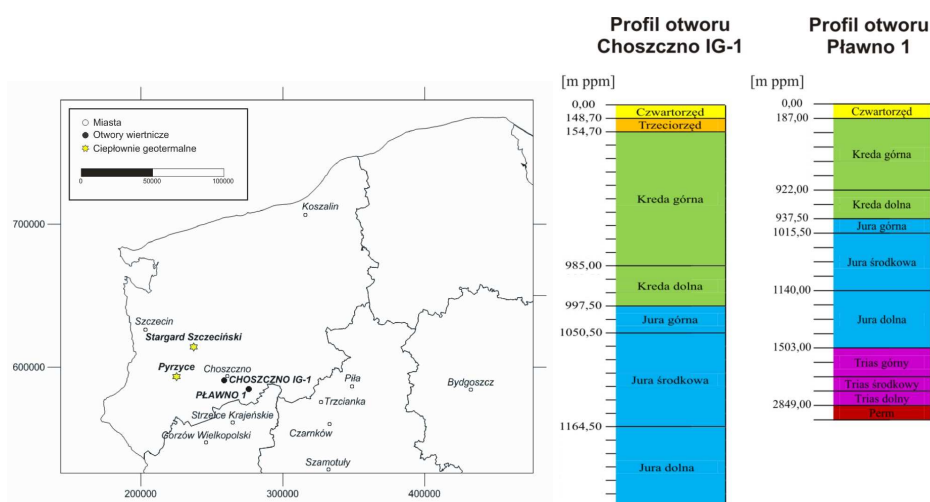
W przypadku zagadnień związanych z przepływem masy i ciepła modelowanie numeryczne opiera się głównie na dwóch metodach obliczeniowych, którymi są: metoda elementów skończonych oraz metoda różnic skończonych [12]. Metody te powszechnie wykorzystywane są przez specjalistyczne symulatory, które ułatwiają przeprowadzanie obliczeń, a tym samym określenie potencjału danego obszaru, bądź też doboru optymalnych parametrów pracy instalacji tak aby zapewnić jej bezpieczną długoletnią pracę [13; 14; 15, 16].

W obliczu wysokich kosztów związanych z wykonaniem odwiertów dobrym rozwiązaniem jest wykonanie szeregu symulacji, jeszcze przed podjęciem wiążących decyzji inwestycyjnych, co może niekiedy pomóc w uniknięciu wielu problemów wynikających z nieprzemyślanej decyzji podejmowanych w początkowych etapach inwestycji bądź ułatwić dobór optymalnych parametrów. Do parametrów, których optymalizacja może być prowadzona, dzięki modelowaniu numerycznemu, zaliczyć można: konfigurację odwiertów (rozmieszczenie w terenie i ilość), ich odległość oraz średnice. Obliczenia numeryczne obarczone są zawsze niedokładnościami (błędami), wynikającymi między innymi ze stosowanych założeń upraszczających. Wiarygodne modele charakteryzować się muszą wynikami oddającymi ilościowo i jakościowo naturę zjawisk jakie opisują. Do źródeł błędów, niezależnych od procesu modelowania numerycznego, niewątpliwie zaliczyć można jakość (poprawność) zebranych danych tj. geologiczne, geofizyczne, hydrologiczne i inne dostępne dla zadanego obszaru obliczeniowego. Błędy związane z modelowaniem zależne są od wyboru metody numerycznej, czyli doboru odpowiedniego oprogramowania, zasięgu obszaru modelowego, który nie powinien być ani za mały ani za duży (nie potrzebnie wydłużając czas obliczeniowy) oraz sposób zadania i wybór warunków brzegowych. Nie bez znaczenia jest również doświadczenie osoby, która przeprowadza symulacje. Istotne jest to czy potrafi ona interpretować otrzymane wyniki i oceniać ich realność. Parametrem, który

określa się na drodze modelowania numerycznego jest wzajemne oddziaływanie na siebie otworów geotermalnych. Optymalizuje się w ten sposób odległość otworu produkcyjnego i chłonnego, która z jednej strony zapewni długoletnią pracę systemu z drugiej zmniejszy straty związane z przesyłem energii i ograniczy nakłady na wykonanie rurociągu połączeniowego. Nie bez znaczenia jest również wielkość wydajności z jaką pracuje dublet geotermalny. Zbyt duży wydatek może bowiem doprowadzić do szybkiego wychłodzenia się zbiornika warstwy wodonośnej a tym samym przyczynić się do skrócenia okresu w jakim możliwe będzie wykorzystanie wysokiej temperatury wód podziemnych.

2. Konceptyjny model geologiczny i parametry hydrogeotermalne

Modelowanie numeryczne wykonano dla obszaru zlokalizowanego w północno-zachodniej części Polski, geologicznie obejmującego swym zasięgiem rejon niecki szczecińskiej, a dokładnie antyklinę Choszczna (Rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja otworu wiertniczego Choszczno IG-1 i Pławno 1 wraz z profilami geologicznymi otworów, na podstawie CBDG oraz [17]

Fig. 1. Location of Choszczno IG-1 and Pławno 1 boreholes with geological borehole profiles, based on CBDG and [17]

W strefie tej zlokalizowany jest otwór Choszczno IG-1, który dla celów modelowania numerycznego został wykorzystany jako otwór eksploatujący wodę geotermalną. Otwór Choszczno IG-1 wykonany został w rejonie wsi Zamęcin na południe od miejscowości Choszczno w ramach tzw. pierwszego etapu rozpoznania budowy geologicznej Niżu Polskiego [17]. Głównym zadaniem prac badawczych w tej strefie, było wykrycie ewentualnych luk stratygraficznych w utworach kredy i jury, a także pozyskanie danych do interpretacji przekrojów sejsmicznych

wykonanych w tym rejonie w roku 1957 [17]. Otwór wykonany został między 17.12.1958 r. a 04.04.1960 r., w trakcie wiercenia z powodów komplikacji technicznych otwór od głębokości 310 m począł się krzywić, dzięki czemu na głębokości 1084 m odchylenie od pionu osiągnęło 390 m. Otwór zlikwidowano dnia 28.05.1960 r. za pomocą korków cementowych (na głębokościach 1500,5-1050,0 oraz 50-0 m) oraz pastą iłowo-cementową [17]. Profil otworu Choszczno IG-1 oraz zlokalizowanego w jego sąsiedztwie otworu Pławno-1 przedstawia Rys. 2.

W analizowanym rejonie największe perspektywy wykorzystania zasobów geotermalnych związane są z utworami dolnojurajskimi [5; 6]. Osady jury dolnej, rozprzestrzenione na całym obszarze niecki szczecińskiej, charakteryzują się naprzemianległym ułożeniem warstw środowiska jeziornego i rzecznoego. Warstwami wodonośnymi w utworach jury dolnej niecki szczecińskiej są kompleksy piaskowców. Najlepszymi parametrami zbiornikowymi cechują się piaszczyste utwory warstw radowskich i mechowskich, a nieznacznie gorszymi także utwory warstw komorowskich i kamieńskich. Warstwy radowskie wykształcone są głównie jako osady piaszczyste. Wśród warstw mechowskich dominującą rolę odgrywają osady piaszczyste, zawierające przewarstwienia utworów słabo przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych wykształconych w postaci mułowców i iłowców. Osady piaskowcowe jury dolnej rozdzielają serie osadów słabo przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych wykształconych w postaci mułowców i iłowców. Kompleks izolujący stanowią utwory warstw łobeskich i gryfickich cechujące się najwyższymi wartościami zailenia w całym profilu dolnojurajskim [5; 6].

W rejonie Choszczna utwory jury dolnej występują na głębokości od 1164,5 m ppm do 1468,0 m ppm osiągając miąższość 303,5 m. Zbiornik dolnojurajski podścielony jest utworami triasu górnego reprezentowanymi przez fację ilasto-piaszczystą oraz utwory wapienia muszlowego w facji węglanowej o łącznej miąższości 444,5 m (dane z otworu wiertniczego Pławno 1, na podstawie CBDG). Powyżej dolnojurajskiej serii perspektywicznej w otworze Choszczno IG-1 zalegają utwory jury środkowej o miąższości 114,0 m, na których zgodnie zalegają na przemian ległe piaskowce i mułowce górnourajskie o miąższości 53 m. Utwory jurajskie przykryte są utworami kredowymi o miąższości 842,8 m oraz utworami trzeciorzędowymi o miąższości 6 m i czwartorzędowymi o miąższości 148,7 m [17].

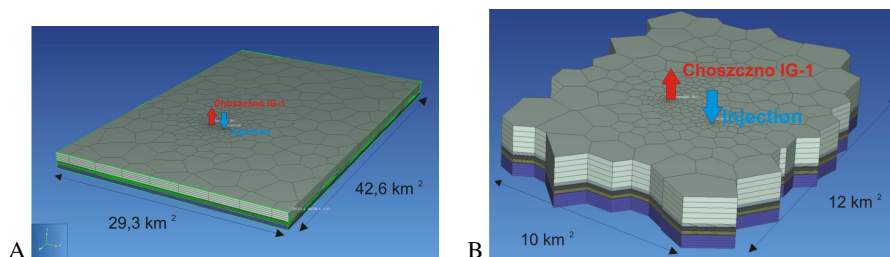
Gęstość powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi, na obszarze niecki szczecińskiej przyjmuje jedne z najwyższych wartości tego parametru w skali Polski. Kształtują się one w zakresie od prawie 70 do ponad 100 mW/m². Wartości minimalne, rzędu 70-75 mW/m² rejestrowane są w strefie wschodniego obrzeżenia niecki szczecińskiej, podczas gdy wartości maksymalne, przekraczające 90 mW/m², związane są ze strefą południową niecki szczecińskiej. W rejonie Choszczna gęstość powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi wynosi ok. 80 - 85 mW/m² [18]. Wysokie wartości strumienia ciepłego znajdują odzwierciedlenie w rozkładzie temperatur w głębinach. W rejonie Choszczna temperatury w obrębie utworów jury dolnej przyjmują wartości od 50°C w stropowej części zbiornika do ok. 60°C w części spągowej [5 ;6]. Wartości te korelują się z wynikami

przeprowadzonych w otworze badań profilowania temperatury ustalonej, na podstawie której wyliczony został stopień i gradient geotermiczny [19], którego średnia wartość osiąga $52,4 \text{ m}^\circ\text{C}$. Dzięki czemu na głębokości ok. 1390 m ppm temperatura wód podziemnych dochodzi do $45,5^\circ\text{C}$ [19]. Mineralizacja wód zbiornika dolnojurajskiego w analizowanej strefie kształtuje się na poziomie $100\text{-}125 \text{ g/dm}^3$. Potencjalna wydajność otworów w rejonie Choszczna wynosi ok. $200 \text{ m}^3/\text{h}$ [5 ;6].

Na podstawie wyników badań wykonanych dla odwiertu Choszczno IG-1 przez Instytut Geologiczny określone zostały średnie wartości porowatości efektywnej i gęstości dla poszczególnych poziomów stratygraficznych [20]. Najlepsze wartości kolektorskie wykazują utwory synemuru górnego i dolnego, dla których porowatość efektywna wynosi powyżej 20% [20]. Perspektywiczny zbiornik jury dolnej składa się w tym rejonie głównie z białych, szarych lub szarzielonych, kruchych i najczęściej drobnoziarnistych piaskowców, szarych i zwięzłych mułowców oraz szarych lub szarzielonych iłowców często o teksturze łupkowej [17]. Podczas wykonywania odwiertu wykonane zostały również badania geofizyczne na podstawie których dokonana została między innymi interpretacja ilościowa interwału jury dolnej.

3. Model numeryczny

Model numeryczny objął zasięgiem obszar o wielkości $42,6 \text{ km} \times 29,3 \text{ km}$ (Rys. 2A). Dublet geotermalny zlokalizowany został w oparciu o archiwalny otwór Choszczno IG-1, zdefiniowany w modelu jako otwór produkcyjny oraz założony (nieistniejący obecnie) otwór zatłaczający oddalony od otworu produkcyjnego o ok. 2000 m. Oddalenie otworów ma zapobiec zbyt wczesnemu wychłodzeniu warstwy wodonośnej.



Rys. 2. Model numeryczny wraz z otworami: produkcyjnym i zatłaczającym: A - model w skali regionalnej, B – model w skali lokalnej (przyodwiertowej)

Fig. 2. Numerical model with production and injection boreholes: A - regional scale model, B - local scale model

Geologiczny model rejonu Choszczna podzielony został łącznie na 9 wydziałów stratygraficznych obejmujących kolejno:

1. utwory kenozoiczne, kredowe i utwory jury górnej zalegające do głębokości 1050,0 m ppm miąższość 1050,0 m

2. utwory jury środkowej do głębokości 1164,5 m ppm – miąższość 114,5 m
3. utwory jury dolnej reprezentowane przez warstwy kamieńskie (toars górny), do głębokości 1168,5 m – miąższość 4 m
4. utwory jury dolnej reprezentowane przez warstwy gryfickie (toars dolny) do głębokości 1236,0 m ppm – miąższość 67,5 m
5. utwory jury dolnej reprezentowane przez warstwy komorowskie (domer) do głębokości 1315,3 m ppm – miąższość 79,3 m
6. utwory jury dolnej reprezentowane przez warstwy łobeskie (karyks) do głębokości 1350,5 m ppm – miąższość 35,2 m
7. utwory jury dolnej reprezentowane przez warstwy radowskie (synemur górny) do głębokości 1468,0 m ppm – miąższość 117,5 m
8. utwory jury dolnej reprezentowane przez warstwy mechowskie (synemur dolny) do głębokości 1511,0 m ppm – miąższość 43 m
9. ostatnią dziesiątą warstwą była warstwa utworów triasu sięgająca do głębokości 2020 m ppm – miąższość 509 m.

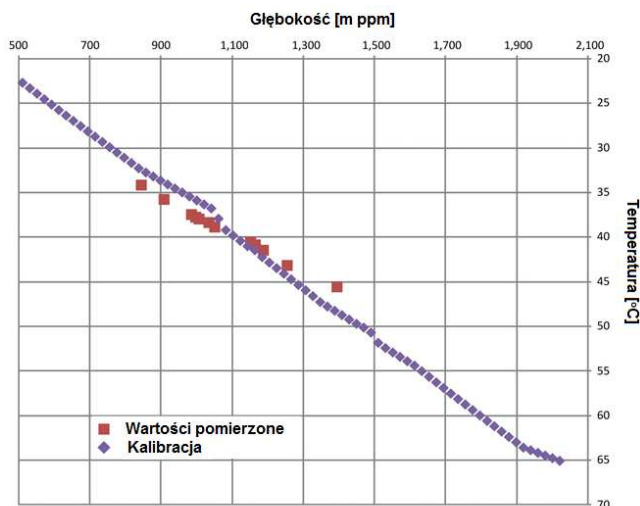
Każdej z powyższych grup wydzieleni stratygraficznych, bazując na modelu koncepcyjnym opisanym wcześniej, przypisano parametry tj. gęstość [kg/m^3], porowatość [%] i przepuszczalność [mD] (w trzech kierunkach XYZ), a także współczynnik przewodzenia ciepła [$\text{W}/(\text{m}^*\text{K})$] i ciepło właściwe [$\text{J}/(\text{kg}^*\text{K})$] zgodnie z tabelą 1.

Następnie na model parametryczny nałożona została prostopadłościenna siatka obliczeniowa. Skorzystano z warunku brzegowego pierwszego rodzaju (Dirichleta) w przypowierzchniowej (kontaktującej się z atmosferą) i dennej powierzchni. Przypisano im stałą wartość ciśnienia i temperatury następnie model poddano kalibracji. Końcowy efekt kalibracji modelu do danych pomiarowych przedstawiono na Rys. 3.

Tabela 1. Zestaw parametrów zdefiniowanych na potrzeby modelu parametrycznego rejonu Choszczna

Table 1. Defined parameters of model in Choszczna area

Lp.	Wydzielenie geologiczne	Gęstość [kg/m^3]	Porowatość [%]	Przepuszczalność [mD] w kierunkach X,Y,Z	Współczynnik przewodzenia ciepła [$\text{W}/(\text{m}^*\text{K})$]	Ciepło właściwe [$\text{J}/(\text{kg}^*\text{K})$]
1	Kenozoik	2060,0	2,0	0,001, 0,001, 0,01	2,1	850
2	Jura środkowa	2110,0	3,0	10,10,1	2,3	850
3	Toars górny	2100,0	3,0	10,10,1	2,5	850
4	Toars dolny	2330,0	3,0	10,10,1	2,5	850
5	Domer	1770,0	2,9	10,10,1	2,4	850
6	Karyks	2030,0	2,2	10,10,1	2,4	850
7	Synemur górny	1870,0	25,0	100,100,10	3,0	900
8	Synemur dolny	1760,0	28,0	100,100,10	3,2	900
9	Trias	1760,0	2,9	0,001, 0,001, 0,01	2,2	900



Rys. 3. Wyniki kalibracji modelu numerycznego

Fig. 3. Results of numerical model calibration

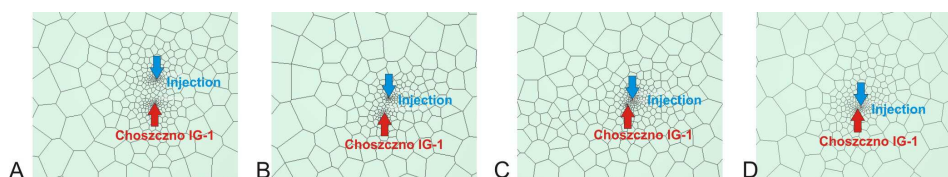
W kolejnym kroku do skalibrowanego modelu parametrycznego wprowadzono otwory wiertnicze (produkcyjny i chłonny), na model ponownie nałożono siatkę obliczeniową, tym razem była to siatka poligonalna ze względu na wprowadzone do modelu otwory wiertnicze, a model parametryczny poddano ponownej kalibracji. Otwór produkcyjny zaprojektowano do głębokości 1480 m ppm, dzięki czemu ujmował on wody poziomu warstw radowskich, tak jak otwór zatłaczający, dzięki czemu zapewniono zamknięty obieg wód podziemnych poziomu jury dolej. Początkowo wydajność eksploatacji dubletu przyjęto na poziomie 120 m³/h, przy zatłaczaniu wód o temp. 25°C przez okres 50-ciu lat. Wartość kroku obliczeniowego został dobrany automatycznie przez algorytm programu i dla zadanych 50 lat pierwszy krok obliczeniowy wyniósł 100 sekund przy maksymalnej ilości iteracji rzędu 200.

Model numeryczny w skali regionalnej (Rys. 2A) zweryfikowano odnosząc wyniki obliczeń do danych pomiarowych (Rys. 3). Otrzymane odwzorowanie rzeczywistości uznano za zadowalające. Celem skrócenia czasu obliczeń w dalszej części pracy posłużono się modelem lokalnym (Rys. 2B). Otrzymało go rezygnując z części elementów obliczeniowych leżących poza obszarem potencjalnego wpływu spowodowanego eksploatacją dubletu geotermalnego. Na brzegu rozpatrywanego w modelu lokalnym obszaru ustalono warunki brzegowe pierwszego rodzaju, zdefiniowano wartości ciśnienia i temperatury otrzymane dla każdego węzła obliczeniowego w modelu regionalnym. Model lokalny ograniczony został do rozmiarów 10 × 12 km.

3.1. Dobór lokalizacji otworu produkcyjnego i chłonnego

W celu optymalizacji pracy dubletu geotermalnego niezbędne jest zachowanie odpowiedniej odległości pomiędzy otworem produkcyjnym i chłonnym (zatłaczającym). Zbyt bliska lokalizacja otworów może zaowocować szybkim wychłodzeniem strefy zbiornika między otworami, a tym samym spadkiem temperatury i dalej mocy cieplnej całego systemu. Zbyt dalekie oddalenie otworów może przyczynić się do wysokich strat ciepła i dużej mocy pomp obiegowych. Wysoki stopień urbanizacji również wpływa na lokalizację otworów wiertniczych, ograniczając w znacznym stopniu możliwości lokalizacji nowych inwestycji.

W pierwszym etapie prac rozpatrywane były różne odległości pomiędzy otworami produkcyjnym i chłonnym. Modelowania przeprowadzono kolejno dla odległości (Rys. 4) 3000 m, 2000 m, 1000 m i 500 m.



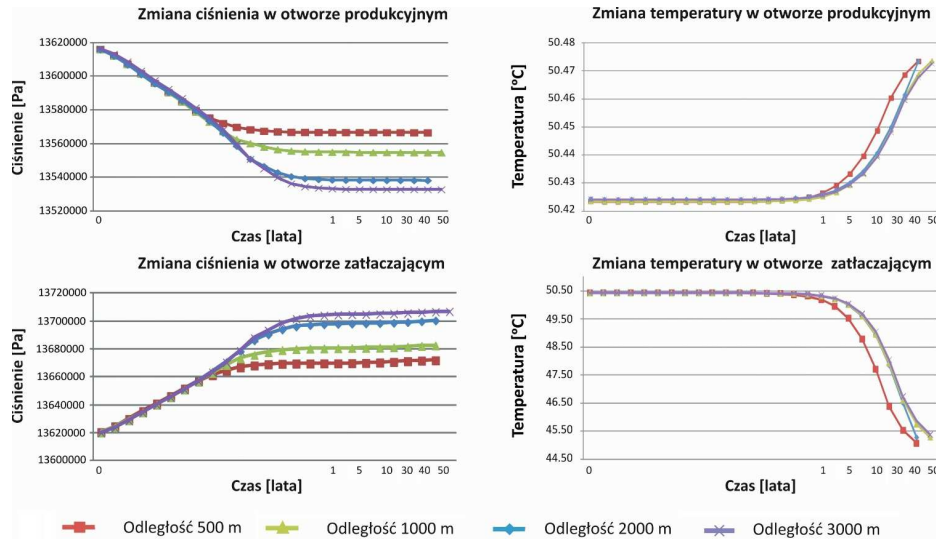
Rys. 4. Warianty zmiany odległości otworów produkcyjnego i zatłaczającego A- 3000 m, B – 2000 m, C – 1000 m, D – 500 m

Fig. 4. Variants of distance changes between production and injection borehole A- 3000 m, B - 2000 m, C - 1000 m, D – 500 m

Modelowanie przeprowadzono wykorzystując gęstość siatki obliczeniowej 5000 m², przy zatłaczaniu wód o temperaturze 25°C przez okres 50-ciu lat. Analizie poddano wyniki ciśnienia i temperatury w otworze produkcyjnym i chłonnym (Rys. 5).

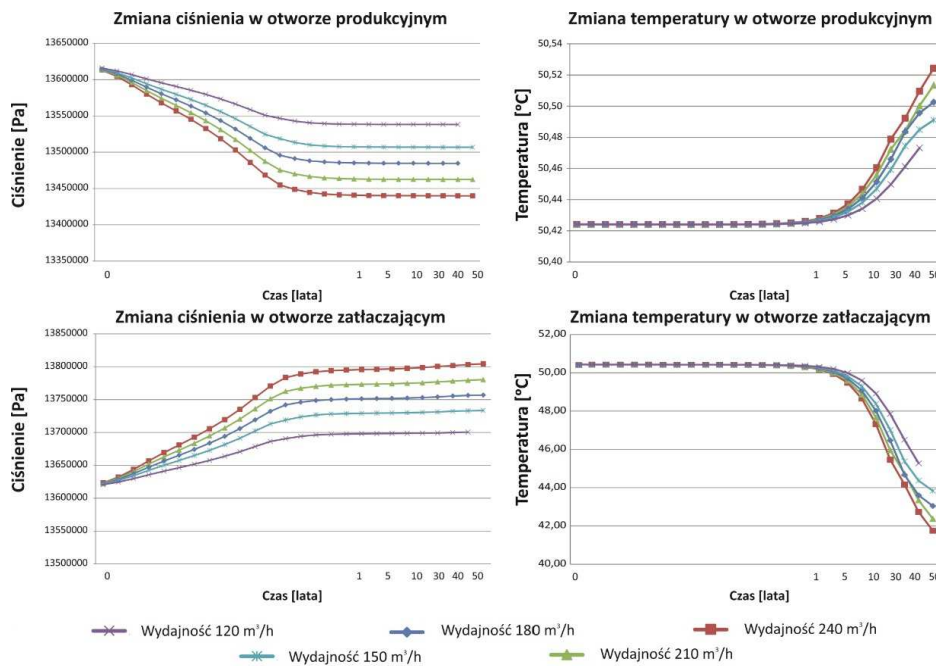
3.2. Dobór wydatku eksploatacyjnego

W następnym kroku analizie poddano różne wydajności eksploatacji ujęcia były to oprócz zakładanego we wcześniejszym etapie wydatku wielkości 120 m³/h również 150 m³/h, 180 m³/h, 210 m³/h i 240 m³/h. Każdy przypadek rozpatrywany był dla wszystkich analizowanych w pierwszym etapie, konfiguracji rozstawu dubletu. W każdym przypadku rozkład ciśnienia dla kolejnych wartości wydatku zarówno w otworze produkcyjnym jak i chłonnym był zbliżony (Rys. 6). W przypadku temperatury rozkład dla kolejnych wartości wydajności również był podobny, w żadnym z rozpatrywanych przykładów nie odnotowano znaczącego spadku temperatury, która mogłaby przyczynić się do ochłodzenia zbiornika wód dolno-jurajskich Poniżej zaprezentowano wyniki analizy ciśnienia i temperatury przy założeniu różnych wydatków ujęcia dla rozstawu 2000 m.



Rys. 5. Zmiany ciśnienia i temperatury dubletu geotermalnego przy założeniu różnych odległości otworów produkcyjnego i zatłaczającego

Fig. 5. Pressure and temperature changes in geothermal doublet with different distances between production and injection boreholes



Rys. 6. Zmiany ciśnienia i temperatury dubletu geotermalnego przy założeniu różnych wydatków pracy dubletu dla rozstawu 2000 m pomiędzy otworami

Fig. 6. Pressure and temperature changes in geothermal doublet with different volume of exploitation for the distance of 2000 m between production and injection boreholes

4. Podsumowanie

Celem artykułu było zwrócenie uwagi czytelnika na problem wiarygodności wyników otrzymanych dzięki stosowaniu modelowania numerycznego oraz ocena ilościowa rozbieżności dla wybranej strefy (studium przypadku). Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki modelowania wpływu odległości otworów wchodzących w skład dubletu geotermalnego oraz wielkości wydatku eksploatacyjnego można stwierdzić, iż zarówno zmiany wydajności jak i odległości otworów wpływają na wyniki obliczeń.

W przypadku zmian wydajności, w każdym rozpatrywanym rozstawie otworów tworzących dublet, zmiany ciśnienia (spadek ciśnienia w strefie otworu produkcyjnego i wzrost w strefie otworu chłonnego) były wprost proporcjonalne do zmian wydajności (Rys. 6). Dodatkowo Wartość zmian ciśnienia jest tym większa im większa jest odległość między otworami (Rys. 5). W przypadku temperatury zaobserwowano wyraźny jej spadek w sąsiedztwie otworu chłonnego. W sąsiedztwie otworu produkcyjnego nie obserwuje się spadku temperatury, świadczy to o marginalnym znaczeniu zjawiska tzw. przebiccia frontu chłodnego – polegającego na dopływie do strefy otworu produkcyjnego ochłodzonej wody zatłaczanej do złoża. Można zatem uznać, że wszystkie warianty są bezpieczne z energetycznego punktu widzenia, w analizowanym przedziale czasu dla analizowanego modelu. Temperatura w otworze produkcyjnym nieznacznie rośnie w trakcie eksploatacji, przyrost ten jest jednak marginalny (wynosi ok. 0.1°C – Rys. 5 i 6). Wyraźny spadek temperatury w sąsiedztwie otworu chłonnego, we wszystkich analizowanych przypadkach, obserwowany jest po pierwszym roku eksploatacji dubletów.

*Praca została zrealizowana w ramach umów AGH
11.11.140.321, 11.11.150.008 i umowy AGH 15.11.140.349*

Literatura

- [1] Miecznik M., Sowizdzał A., Tomaszewska B., Pająk L., 2015 - Modelling geothermal conditions in part of the Szczecin Trough – the Chociwel area. *Geologos* 21, 3, s. 187-196.
- [2] Bujakowski W., Barbacki A., Miecznik M., Pająk L., Skrzypczak R., Sowizdzał A., 2015 - Modelling geothermal and operating parameters of EGS installations in the lower triassic sedimentary formations of the central Poland area. *Renewable Energy Volume* 80, August 01, s. 441-453.
- [3] Miecznik M., 2010 - Problematyka modelowania numerycznego 3D złóż geotermalnych, *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia Zrównoważony Rozwój* nr. 1-2/2010, s. 61-73.
- [4] Chowaniec J., 2009 - Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 58, s. 762-773.

- [5] Sowizdzał A., 2010 - Perspektywy wykorzystania zasobów wód termalnych jury dolnej z regionu niecki szczecińskiej (północno-zachodnia Polska) w ciepłownictwie, balneologii i rekreacji. *Przegląd Geologiczny* 58, s. 613-621.
- [6] Sowizdzał, A., 2009 - Perspektywy wykorzystania zasobów geotermalnych jury dolnej w północno-zachodniej części Polski do celów ciepłowniczych, balneologicznych i rekreacyjnych. *Przegląd Geologiczny*; ISSN 0033-2151. t. 57, nr. 8, s. 660-661.
- [7] Sowizdzał, A., Papiernik, B., Machowski, G., Hajto, M., 2013 - Characterization of petrophysical parameters of the Lower Triassic deposits in prospective location for Enhanced Geothermal System (central Poland). *Geological Quarterly* 57, pp. 729-744.
- [8] Sowizdzał, A., Papiernik, B., Machowski, G., 2015 - Rola modelowania strukturalno-parametrycznego w procesie typowania potencjalnej lokalizacji zamkniętych systemów geotermicznych w skałach osadowych. *Przegląd Geologiczny*; ISSN 0033-2151, vol. 62 nr. 6, s. 303-307.
- [9] Tomaszewska B., Pająk L., 2012 - Dynamics of clogging processes in injection wells used to pump highly mineralized thermal waters into the sandstone structures lying under the Polish Lowlands. *Archives of Environmental Protection* vol. 38, no. 3 pp. 105-117.
- [10] Górecki W., Sowizdzał, A., Hajto M., Wachowicz-Pyzik A., 2015 - Atlases of geothermal waters and energy resources in Poland. *Environmental Earth Sciences*. ISSN 1866-6280, vol. 74, iss. 12, s. 7487-7495.
- [11] Olszewska A., Miśkiewicz A., Zakrzaska-Kołtuniewicz G., Lankof L., Pająk L., 2015 - Multi-barrier system against migration of radionuclides from radioactive waste repository. *Nukleonika* 60(3), s. 557-563.
- [12] Dąbrowski S., Kapuściński J., Nowicki K., Przybyłek J., Szczepański A., 2010 - Metodyka Modelowania Matematycznego W Badaniach I Obliczeniach. *Hydrogeologicznych – Poradnik* (stron 306).
- [13] Dendys M., Tomaszewska B., Pająk L., 2014 - Modelowanie numeryczne jako narzędzie wspomagające badania systemów geotermalnych, [W:] Krawc A., Jamorowska I., 2014 - Modelowanie w Hydrogeologii, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, ISBN 978-83-231-3299-8, s. 199-206.
- [14] Dendys M., Tomaszewska B., Pająk L., 2015 - Numerical modelling in research on geothermal systems. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* No 9, pp. 39-44.
- [15] Zdechlik R., Tomaszewska B., Dendys M., Pająk L., 2015 - Przegląd oprogramowania do numerycznego modelowania procesów środowiskowych w systemach geotermalnych. *Przegląd Geologiczny* nr 10/2, t. 63, s. 1150-1154.
- [16] Sowizdzał, A., 2014 - Zastosowanie technik cyfrowej kartografii wgłębnej do rozpoznania potencjału geotermalnego zapadliska Przedkarpacciego - *Przegląd Geologiczny*; ISSN 0033-2151. vol. 62 nr 12, s. 842-845.
- [17] Jaskowiak-Schoeneichowa M. (red.), 1978 – Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego Choszczno IG-1. *Wydawnictwa geologiczne*, Warszawa (stron 130).
- [18] Szewczyk J, Hajto M, 2006 – Strumień ciepły a temperatury wgłębne na obszarze Niżu Polskiego. *Heat flow versus sub-surface temperatures in the Polish Lowlands*, [W:] Górecki W. (red.), 2006 - Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim. *Formacje mezozoiku*, MŚ, NFOŚiGW, AGH, PIG, Kraków. pp. 143-148, 149-151.

- [19] Wojtowicz J., 1978 – Wyniki badań geofizyki wiertniczej, [W:] Jaskowiak-Schoeneichowa M. (red.), 1978 - Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego Choszczno IG-1. Wydawnictwa geologiczne, Warszawa, s. 110-113.
- [20] Dąbrowski A., 1978 – Wyniki badań własności skał, [W:] Jaskowiak-Schoeneichowa M. (red.), 1978 – Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego Choszczno IG-1. Wydawnictwa geologiczne, Warszawa, s. 106-109.

NUMERICAL MODELING FOR DETERMINATION OF GEOTHERMAL DOUBLETS CONFIGURATION AND ITS INFLUENCE FOR EXPLOITATION PARAMETERS – AN EXAMPLE FROM THE CHOSZCZNO AREA

S u m m a r y

The numerical modeling enables us to reduce the risk related to the selection of best localization of wells. Moreover, at the stage of production, modeling is a suitable tool for optimization of well operational parameters, which guarantees the long life of doublets. The thorough selection of software together with relevant methodology applied to generation of numerical models significantly improve the quality of obtained results. In the following paper, we analyzed the influence of distance between the production and the injection wells on variability in time of operational parameters. The influence of yield was also examined with the TOUGH2 code, which applies the finite-difference method. The study area is located between the Szczecin Trough and the Fore-sudetic Monocline, where the Choszczno IG-1 well has been completed.

Keywords: numerical modeling, finite-differences method (FDM), TOUGH2, geothermal doublet, geothermics

DOI:10.7862/rb.2016.299

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Michał WICHLIŃSKI¹
Rafał KOBYLECKI²
Zbigniew BIS³

BADANIA ZAWARTOŚCI RTĘCI W PŁYTACH GIPSOWO-KARTONOWYCH I GIPSACH

W artykule przedstawiono wyniki badań zawartości rtęci w płytach gipsowo-kartonowych wykorzystywanych w budownictwie. Celem pracy jest zwrócenie uwagi na problem jakim jest bardzo duża koncentracja rtęci w w/w płytach, które są powszechnie stosowane w budownictwie. Płyty gipsowo-kartonowe są obecnie najpopularniejszym materiałem od wykańczania pomieszczeń w tzw. suchej zabudowie. Gips zawarty w tychże płytach pochodzi głównie z instalacji mokrego odsiarczania spalin (IOS) i jako taki jest obciążony ładunkiem rtęci, który został usunięty ze strumienia spalin w IOSie. Do badań wykorzystano 4 płyty gipsowo-kartonowe, różnych producentów, zakupione w marketach budowlanych w Częstochowie, oraz dwie próbki gipsu budowlanego. Wyniki badań zawartości rtęci przeprowadzono przy, użyciu spektrometru Lumex RA-915+ z przystawką pirolityczną RA-91C. Uzyskane wyniki pokazują, że średnia zawartość rtęci w płytach jest na bardzo wysokim poziomie i wynosiła od 227 do 458 ng/g. Zawartość rtęci w gipsie budowlanym wynosiła od 57 do 305 ng/g. Przeprowadzono także badania polegające na poddaniu wycinka płyty działaniu temperatury. Wycinek płyty ogrzewano ze stałą szybkością, jednocześnie mierząc ilość uwolnionej rtęci. Wyniki pokazały, że emisja rtęci następowała w temperaturach od 150 do 300°C, przy czym maksima emisji były w temperaturach 190 i 270°C. Taka temperatura uwalniania rtęci świadczy, że rtęć zawarta w płytach gipsowo-kartonowych jest głównie w związku HgS.

Słowa kluczowe: płyty gipsowo-kartonowe, gips, budownictwo, mokra instalacja odsiarczania spalin

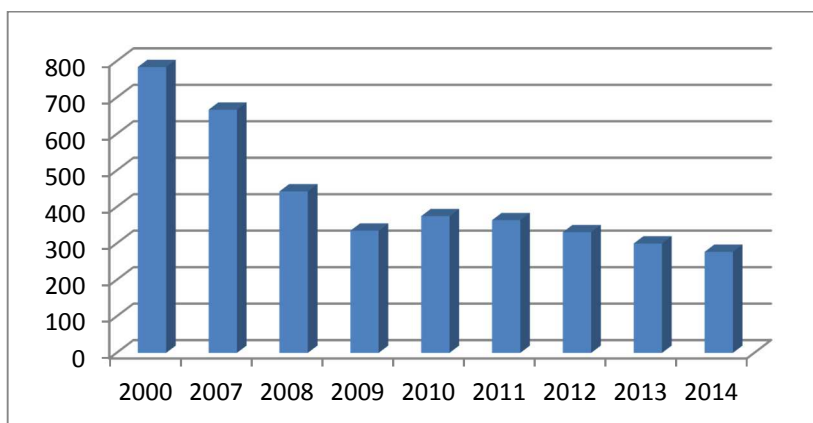
¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Michał Wichliński, Politechnika Częstochowska, Katedra Inżynierii Energii, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa; tel. 34 3250118; michal.wichlinski@gmail.com

² Rafał Kobylecki, Politechnika Częstochowska, Katedra Inżynierii Energii, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa; tel. 34 3250118; rafalk@is.pcz.czest.pl

³ Zbigniew Bis, Politechnika Częstochowska, Katedra Inżynierii Energii, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa; tel. 34 3250118; zbis@is.pcz.czest.pl

1. Wprowadzenie

Emisja dwutlenku siarki do atmosfery jest wciąż jednym z największych problemów energetyki. Oprócz problemów z samą emisją, problem stanowi również korozja powierzchni grzewczych kotłów energetycznych. Siarka zawarta w węglu jest emitowana do atmosfery głównie jako dwutlenek siarki (SO_2) i w niewielkiej ilości, od 0,5 do 3%, jako trójtlenek siarki (SO_3) [1]. Pozostałe związki siarki mogące występować w spalinach mają marginalne znaczenie [1]. Polskie węgle zawierają od 0,5 do 4,5% siarki elementarnej. Jednakże węgiel dostarczany do elektrowni zazwyczaj zawiera około 1,5% siarki. Elektrownia spalająca węgiel kamienny emituje od 1 do 8 g SO_2/m^3 , natomiast spalająca węgiel brunatny około 2,7 g SO_2/m^3 [2]. Całkowita emisja SO_2 w Polsce od roku 2000 do 2014 systematycznie się zmniejsza. W roku 2000 wyemitowano w Polsce około 780 tys. t, a w roku 2014 już tylko 277 tys. t, co oznacza spadek o około 65% na przestrzeni 14 lat (rys. 1) [3].



Rys. 1. Emisja dwutlenku siarki z energetyki zawodowej w Polsce w latach 2000-2014 na podstawie [3]

Fig. 1. Emission of sulfur dioxide from polish power plants in years 2000-2014 based on [3]

Najczęściej wykorzystywaną metodą odsiarczania spalin jest mokra metoda wapienna, która jest stosowana na całym świecie. Metoda ta znalazła również powszechne zastosowanie w polskiej energetyce, gdzie jest stosowana praktycznie w większości dużych bloków energetycznych wykorzystujących kotły pyłowe, zarówno tych opalanych węglami kamiennymi, jak i brunatnymi. Mokra metoda wapienna polega na przemywaniu spalin wodną zawiesiną mleka wapiennego (CaOH_2), lub wodną zawiesiną kamienia wapiennego (CaCO_3) [2]. Zaletami tej metody są niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, tani i łatwo dostępny sorbent. Dodatkowo odpad powstający w wyniku odsiarczania spalin-

gips (reakcja 1) jest produktem użytecznym, który jest wykorzystywany w budownictwie.



Gips syntetyczny powstający w mokrej metodzie odsiarczania spalin może z powodzeniem zastąpić gips naturalny. W Polsce w roku 2015 gips syntetyczny był produkowany w trzynastu elektrowniach: Bełchatów, Dolna Odra, Opole, Jaworzno III, Łaziska, Konin, Pątnów I, Pątnów II, Połaniec, Kozienice, Ostrołęka, Rybnik, Siekierki [4]. Pierwszą instalację produkującą syntetyczny gips była instalacja w Bełchatowie uruchomiona w roku 1994. Jej aktualna zdolność produkcyjna wynosi około 1300 tys. t/rok. Kolejne były instalacje w elektrowniach Jaworzno III i Opole w wydajności odpowiednio 200 tys. i 350 tys. ton. Łączna zdolność produkcyjna wszystkich polskich instalacji do produkcji gipsu syntetycznego w roku 2013 szacowana była na 2,9 mln ton. Na tle produkcji gipsu naturalnego produkcja gipsu syntetycznego jest o ponad 2,5 razy większa. W roku 2013 udział gipsu syntetycznego w całkowitej produkcji gipsu w Polsce wynosił około 72%. Praktycznie cała ilość gipsu wytwarzanego przez elektrownie jest sprzedawana firmom produkującym gips. Otrzymywany gips syntetyczny może być wykorzystywany do produkcji płyt gipsowo-kartonowych [4]. Konieczność spełnienia coraz ostrzejszych norm dotyczących emisji SO_2 do atmosfery przez elektrownie, oraz budowa czterech nowych bloków węglowych (2xOpole, Jaworzno i Kozienice), wyposażonych w instalację mokrego odsiarczania spalin spowoduje wzrost produkcji gipsu syntetycznego w Polsce. Szluga i Naworyta [4] szacują, że do roku 2020 produkcja gipsu syntetycznego wzrośnie do poziomu ponad 4 mln t.

Szacuje się, że całkowita światowa emisja rtęci do atmosfery wynosi od 5000 do 6000 t/rok, z czego około 2000-3000 jest spowodowane działalnością człowieka. Największym emitorem rtęci do atmosfery są procesy spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach. Emisja antropogeniczna rtęci do atmosfery w Polsce wynosi około 10t/rok [5]. Polskie węgle kamienne zawierają średnio około 80 ng/g [6]. Rtęć zawarta w węglu w wyniku spalania paliwa jest uwalniana z niego w ponad 99% w postaci gazowej. Początkowo w temperaturach procesu spalania cała rtęć występuje jako rtęć elementarna Hg^0 . W miarę ochładzania się spalin następuje utlenienie par rtęci Hg^0 do rtęci dwuwartościowej Hg^{2+} . Ilość utlenionej rtęci Hg^0 jest różna w zależności od rodzaju spalnego węgla, jego składu, rodzaju paleniska i sposobu prowadzenia procesu spalania i waha się od 10 do 90% [7]. Rtęć elementarna jest trudno rozpuszczalna w wodzie i emitowana do atmosfery jest transportowana na dalekie odległości. Natomiast rtęć dwuwartościowa łączy się z innymi składnikami spalin tj.: SO_2 , Cl_2 , O_2 tworząc gazowe związki tj.: HgO , HgCl_2 , Hg_2Cl_2 , HgSO_4 . Część utlenionej rtęci Hg^{2+} jest adsorbowana na formującym się popiele lotnym tworząc na nim związki stałe. Rtęć dwuwartościowa jest łatwo rozpuszczalna w wodzie, co po-

woduje że może być łatwo wmywana ze spalin w instalacji mokrego odsiarczania spalin, przechodząc do odcieku z instalacji i do stałego produktu, czyli gipsu syntetycznego [8]. Dotychczas niewiele jest danych dotyczących zawartości rtęci w gipsie syntetycznym, będącym produktem IOSu. Przeprowadzono badania zawartości rtęci w gipsie naturalnym i syntetycznym, z których wynika, że średnia zawartość rtęci w gipsie naturalnym to 30 ng/g, a w gipsie syntetycznym to około 100 ng/g [9]. Inne badania [9] porównują zawartość rtęci w płytach gipsowo-kartonowych produkowanych w Chinach i USA. Chińskie płyty zawierały od 190 ng/g rtęci do 562 ng/g, natomiast płyty amerykańskie od 67 do 2080 ng/g. W pracy [10] przedstawiono porównanie zawartości rtęci w gipsie naturalnym i syntetycznym. Dla gipsu naturalnego średnia zawartość rtęci wynosiła 39 ng/g, natomiast dla syntetycznego było to 281 ng/g. Opracowanie [11] zawiera wyniki badań zawartości rtęci w płytach gipsowo-kartonowych produkowanych z gipsu syntetycznego w różnych warunkach. Wyniki te pokazują, że zawartość rtęci wynosi od 70 do 950 ng/g.

2. Metodyka badań

2.1. Spektrometr do pomiaru zawartości rtęci

Do badań zawartości rtęci w materiałach budowlanych wykorzystano spektrometr firmy Lumex RA-915+ z przystawką RP-91C (rys. 2). Analizator wykorzystuje technologię efektu Zeemana (Zeeman Atomic Absorption Spectrometry with High Frequency Modulated Light Polarization (ZAAS-HFM)), który pozwala na rezygnację z konieczności akumulowania rtęci na złotym sorbencie (rys. 2).



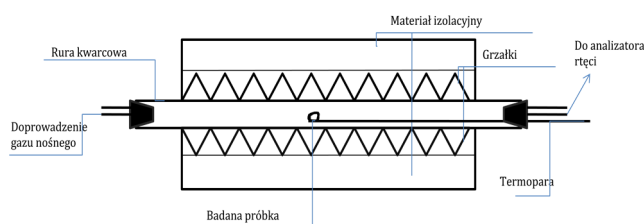
Rys. 2. Spektrometr RA-915+ z przystawką RP-91C

Fig. 2. Spectrometer RA-915 + with adapter RP-91C – mercury measurement setup

Wyniki pomiaru stężenia par rtęci są podawane online w zakresie stężeń od 0,002 do 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dla kuwety wielodrożnej. Do pomiaru zawartości rtęci w ciałach stałych konieczne jest dołączenie do analizatora przystawki pirolitycznej RP-91C. W przystawce pirolitycznej następuje rozkład i odparowanie par rtęci z związków zawierających rtęć. Spaliny zawierające pary rtęci są transportowane za pomocą gazu nośnego do kuwety pomiarowej, gdzie następuje ich oznaczenie.

2.2. Stanowisko do badań emisji rtęci z płyt gipsowo-kartonowych

Do badań emisji rtęci z płyt gipsowo-kartonowych wykorzystano stanowisko pieca poziomego (rys. 3). Pomiar polegał na umieszczeniu w piecu kawałka płyty gipsowo-kartonowej o wymiarach $1 \times 1 \times 1$ cm, w piecu poziomym ogrzewanym grzałkami elektrycznymi. Próbkę umieszczono w zimnym piecu, wewnątrz próbki znajdowała się termopara typu K, mierząca cały czas zmianę temperatury próbki. Do pieca podawano gaz nośny, którym było powietrze w ilości 6 l/min. W drugim końcu pieca umieszczono króciec pomiarowy, który podpięto do spektrometru Lumex w celu rejestracji uwalnianych par rtęci. Piec był nagrzewany od temperatury około 20°C do temperatury 500°C , z ustaloną szybkością nagrzewania $10^\circ\text{C}/\text{min}$. Podczas całego testu rejestrowane były zmiany temperatury próbki i par rtęci.



Rys. 3. Stanowisko pieca poziomego

Fig. 3. Scheme of horizontal furnace

3. Wyniki badań

Do badań zawartości rtęci wykorzystano cztery płyty gipsowo-kartonowe zakupiono w sklepach budowlanych na terenie Częstochowy. Wszystkie płyty były wyprodukowane w okresie od marca do listopada 2015 roku:

- płyta szara gipsowo-kartonowa (GKB) o wymiarach 120×90 cm - próbka GK1,
- płyta szara gipsowo-kartonowa (GKB) o wymiarach 90×60 cm - próbka GK2,
- płyta szara gipsowo-kartonowa (GKB) o wymiarach 90×60 cm - próbka GK3,
- płyta zielona o zwiększonej odporności na wilgoć (GKBI) gipsowo-kartonowa o wymiarach 90×60 cm - próbka GK4.

Z płyt o wymiarach 90×60 cm pobrano do badań 9 próbek, a z płyty o wymiarach 120×90 - 13 próbek. Dla każdej próbki wykonano przynajmniej 10 powtórzeń.

Wyniki badań zawartość rtęci dla płyt gipsowo-kartonowych przedstawiono w tabeli 1. Dla próbki GK1 średnia zawartość rtęci wynosiła około 311 ng/g, przy odchyleniu standardowym wynoszącym 11,4. Próbka GK2 miała średnią zawartość rtęci na poziomie 460 ng/g, w tym przypadku odchylenie standardowe było większe i wynosiło około 37. W przypadku próbki GK3 średnia zawartość rtęci wynosiła 265 ng/g, dla tej próbki odchylenie standardowe było największe i wynosiło 45,1. Dla próbki GK4 średnia zawartość rtęci była najmniejsza i wynosiła około 227 ng/g, przy odchyleniu standardowym 23,1.

Tabela 1. Zawartość rtęci w płytach gipsowo-kartonowych

Table 1. Mercury content in wallboard

Nazwa próbki	Hg Minimum [ng/g]	Hg Maksimum [ng/g]	Hg średnia [ng/g]	Odchylenie standardowe
GK1	300	335,8	311,1	11,4
GK2	402,7	540	458,6	36,8
GK3	228,7	377	265,4	45,1
GK4	194,7	277,3	227,1	23,1

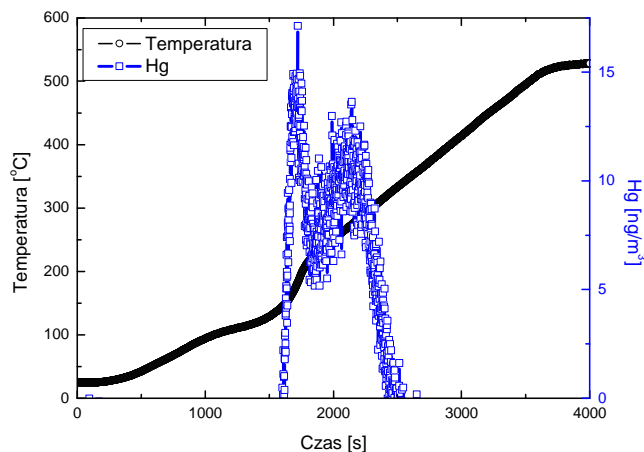
Do badań zawartości rtęci gipsie budowlanym (tab. 2) wybrano dwie próbki gipsu budowlanego zakupionego w sklepach budowlanych w Częstochowie. Zawartość rtęci w próbce Gips 1 wynosiła średnio około 57 ng/g, przy odchyleniu standardowym wynoszącym 2,1. Dla drugiej próbki Gips 2 średnia zawartość rtęci była dużo wyższa i wynosiła ponad 305 ng/g, przy odchyleniu standardowym wynoszącym 6,4.

Tabela 2. Zawartość rtęci w gipsie

Table 2. Mercury content in gypsum

Nazwa próbki	Hg Minimum [ng/g]	Hg Maksimum [ng/g]	Hg średnia [ng/g]	Odchylenie standardowe
Gips 1	55	59	57,3	2,1
Gips 2	299	313	305,3	6,4

Badania nagrzewania płyty gipsowo-kartonowej przeprowadzono dla próbki GK1 (rys. 4). Próbka była nagrzewana od około 20°C do 500°C. Początek procesu uwalniania rtęci z próbki zaobserwowano w temperaturze około 150°C, a pierwszy maksymalny pik w temperaturze około 190°C, maksimum drugiego piku zaobserwowano w temperaturze 270°C. Uzyskane wyniki odpowiadają temperaturą rozpadu HgS, który powstaje w wyniku reakcji par rtęci z siarką obecną w spalinach w adsorberze mokrej instalacji odsiarczania spalin.



Rys. 4. Emisja rtęci podczas nagrzewania płyty gipsowo-kartonowej

Fig. 4. Emission of mercury during heating of wallboard

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, że zawartość rtęci w płytach gipsowo-kartonowych jest bardzo wysoka i waha się od 227 do około 458 ng/g. Rodzaj płyt GKB czy GKBI nie ma większego znaczenia jeśli chodzi o zawartość rtęci, chociaż zawartość rtęci w płycie GKBI (GK4) była mniejsza, aniżeli w pozostałych płytach GKB. Przeliczając to na masę jednej płyty, to zawartość rtęci w płytach wynosi od 0,98 do 2,7 ng Hg na jedną płytę, przy założeniu ciężaru płyt na poziomie 8 kg/m². Zawartość rtęci w gipsie jest zależna od jego pochodzenia. Na podstawie danych literaturowych można stwierdzić, że Gips1 jest to prawdopodobnie gips naturalny, gdyż zawartość w nim rtęci jest stosunkowo niewielka (57 ng/g), natomiast Gips 2 jest to prawdopodobnie gips syntetyczny o znacznie wyższej zawartości rtęci - 305 ng/g. Badania uwalniania rtęci z płyt gipsowo-kartonowych pokazały, że rtęć jest w nich związana głównie w postaci HgS, który powstaje w wyniku reakcji w adsorberze mokrej instalacji odsiarczania spalin.

Literatura

- [1] Tomczek J., Gradoń B., Rozpondek M.: Redukcja emisji zanieczyszczeń z procesów konwersji paliw i odpadów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
- [2] Kuropka J.: Technologie oczyszczania gazów z dwutlenku siarki i tlenków azot, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
- [3] Grudziński Z.: Fakty: Węgiel - Energetyka w Polsce, Instytut GSMiE PAN - Kraków 2015.

- [4] Szlugaj J., Naworyta W.: Analiza zmian podaży gipsu w Polsce w świetle rozwoju odsiarczania spalin w elektrowniach konwencjonalnych, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, vol. 31, no. 2, pp. 93-108.
- [5] United Nations Environmental Programme, Global Mercury Assessment, UNEP Chemicals, Geneva, 2013.
- [6] Wichliński M., Kobyłecki R., Bis Z., The investigation of the mercury contents in Polish coal samples, *Archives of Environmental Protection* vol. 39, no. 2, 2013.
- [7] Galbreath KC, Zygarlicke CJ. Mercury transformation in coal combustion flue gas. *Fuel Processing Technology* 2000; 65-66, pp. 289-310.
- [8] Senior C.L., Sarofim A.F., Zeng T.F., Helble J.J., Mamani-Paco R., Gas-phase transformations of mercury in coal-fired power plants, *Fuel Processing Technology* 63, 2000 pp. 197-213.
- [9] <https://www.pharosproject.net/blog/show/40/mercury-contamination-drywall> {dostęp 28.05.2016 r.}.
- [10] Coal Combustion Residual Beneficial Use Evaluation: Fly Ash Concrete and FGD Gypsum Wallboard, United States Environmental Protection Agency, 2014.
- [11] Sanderson J., Blythe G.M., Richardson M.: Fate of Mercury in Synthetic Gypsum Used for Wallboard Production, National Energy Technology Laboratory, U.S. Department of Energy, 2008.

RESEARCH INTO MERCURY CONTENT IN SELECTED CONSTRUCTION MATERIALS

Summary

The article presents the results of the mercury content of wallboards used in construction. The aim of the study is to draw attention to the problem which is a very high concentration of mercury in the boards, which are commonly used in construction. Wallboard are currently the most popular material for finishing rooms in the so-called. drywall. Gypsum contained in these boards comes mainly from the installation of wet flue-desulphurisation (FGD) and as such is burdened with a load of mercury, which has been removed from the gas stream in FGD. The study used 4 wallboard, different manufacturers, purchased in construction stores in Częstochowa, and two samples of gypsum. The results of the research carried out with mercury content, using a spectrometer Lumex RA-915 + with an attachment pyrolytic-RA-91C. The results obtained show that the average mercury content in the plates is very high, roughly from 227 to 458 ng/g. The mercury content in the building gypsum was roughly from 57 to 305 ng/g. Also have been investigated by subjecting the wallboard to a temperature slice. Clipping plates heated at a constant rate while measuring the amount of mercury released. The results showed that the mercury emissions followed at temperatures of from 150 to 300°C, the emission double maximum were at temperatures 190 and 270°C. That release of mercury temperature indicates that mercury is contained in wallboards mainly as HgS.

Keywords: wallboard, gypsum, construction, installation of wet flue gas desulphurization

DOI:10.7862/rb.2016.300

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Robert ZIÓŁKOWSKI¹

EFEKTYWNOŚĆ ŚRODKÓW USPOKOJENIA RUCHU W MIASTACH W KONTEKŚCIE ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA

Szacuje się, że w krajach Unii Europejskiej (UE) około 20% emisji dwutlenku węgla (CO₂) wydzielanego do powietrza pochodzi z różnorodnych form transportu. Ilość emisji CO₂ pochodząca z transportu drogowego wzrosła w ciągu ostatnich 25 lat o około 23%. Transport drogowy jest jedyną gałęzią przemysłu w Unii Europejskiej, w której emisja gazów cieplarnianych ulega ciągłemu wzrostowi. W obszarach zurbanizowanych lekkie samochody ciężarowe, samochody dostawcze i osobowe są głównym źródłem zanieczyszczeń. Na poziom zanieczyszczenia dodatkowo wpływają liczne zatory tworzące się w miastach w godzinach szczytów komunikacyjnych oraz spowodowany tym brak płynności jazdy. Efektywne zarządzanie ruchem drogowym umożliwia poprawę warunków ruchowych w miastach. Wzrost efektywności postępuje wraz ze wzrostem kontrolowanego obszaru, jednak w krajach rozwijających się, do jakich zalicza się Polskę, z uwagi na koszty wdrażania zarządzanie ruchem sprowadza się do pojedynczych punktów lub wybranych ciągów ulicznych. W takich miejscach instaluje się przede wszystkim środki spowalniające ruch pomijając ich wpływ na sposób jazdy kierowców. Celem referatu jest analiza wpływu obecności wybranych środków uspokojenia ruchu na dynamikę jazdy kierowców oraz wielkość emisji spalin samochodowych w obszarze zabudowanym. W referacie przedstawiono wyniki badań prędkości chwilowych pojazdów w otoczeniu wybranych środków uspokojenia ruchu w Białymstoku. Badania skoncentrowano na zachowaniach kierowców i zmianach dynamicznych zarejestrowanych prędkości. Dynamikę zmian określono w oparciu o indywidualne profile prędkości. Uzyskane wartości przyspieszeń i opóźnień umożliwiły oszacowanie wpływu określonych środków uspokojenia ruchu na zanieczyszczenie środowiska.

Słowa kluczowe: emisja spali, uspokojenie ruchu, prędkość, dynamika jazdy

1. Wprowadzenie

Zanieczyszczenia spalinami samochodowymi stają się co raz bardziej do-
kuczliwym problemem w wielu miastach w Polsce i na świecie. Transport jest
źródłem około 25% całkowitej ilości emisji gazów cieplarnianych (GHG) w Eu-

¹ Robert Ziółkowski, Politechnika Białostocka, Zakład Inżynierii Drogowej, ul. Wiejska 45E,
15-351 Białystok; tel. 797995989; robert.ziolkowski@pb.edu.pl

ropie i obecnie jest na drugim miejscu na liście największych emiterów gazów cieplarnianych. Transport drogowy odpowiada za około 25% całkowitej ilości dwutlenku węgla będącego podstawowym składnikiem gazów cieplarnianych. O ile emisję spalin wśród innych dziedzin na przestrzeni ostatnich lat udało się skutecznie ograniczyć i ilości wytwarzanych szkodliwych substancji systematycznie spadają, o tyle w przypadku transportu zanieczyszczenie środowiska spalinami nie tylko nie maleje, ale ulega ciągłemu wzrostowi. Jednym z powodów jest produkowanie coraz to większych i energochłonnych samochodów [1]. Ponad 67% emisji zanieczyszczeń gazami cieplarnianymi jest efektem rosnącej liczby samochodów, mobilności społeczeństwa i odbywanych podróży. Zanieczyszczenia spalinami samochodowymi powstają w następstwie procesu spalania oraz parowania lotnych składników paliw płynnych, których podstawowymi składnikami są: tlenki azotu (NO_x), azot (N_2), dwutlenek węgla (CO_2), tlenek węgla (CO) oraz związki węglowodorowe (CH). Przewiduje się, że w roku 2050, uwzględniając ogólnoświatowe trendy rozwoju motoryzacji, emisja CO_2 pochodząca z transportu osiągnie poziom 30-50% ogólnej emisji [2].

Obecnie poszukując rozwiązań narastającego problemu podkreśla się, oprócz fizycznego ograniczania liczby samochodów i wdrażania nowoczesnych technologii redukujących emisję spali, coraz większą rolę techniki jazdy jako czynnika istotnie wpływającego na poziom emisji spali.

2. Zarządzanie prędkością i uspokojenie ruchu

Zarządzanie prędkością to oddziaływanie na prędkość pojazdów poprzez stosowanie środków prawnych, planistycznych, technicznych oraz zaawansowanych technologii teleinformatycznych zmierzających do wymuszenia na kierowcach dostosowania się do wprowadzanych regulacji.

Do podstawowych form zarządzania prędkością w miastach zalicza się środki prawno-administracyjne oraz szeroką gamę rozwiązań inżynierskich w postaci środków fizycznych stanowiących różnorodne formy przeszkód umieszczanych w pasie drogowym.

Uspokojenie ruchu jest definiowane jako zespół działań o charakterze organizacyjnym, budowlanym i prawnym, których celem jest zmniejszenie negatywnego wpływu ruchu samochodowego na środowisko oraz modyfikacja zachowań kierowców poprzez zastosowanie odpowiednich środków technicznych. Skuteczność uspokojenia ruchu wiąże się z kompleksowym i skoordynowanym wdrażaniem fizycznych środków inżynierii drogowej i organizacji ruchu. W Polsce do uspokojenia ruchu stosuje się głównie indywidualne środki, które nie tworząc skoordynowanej całości wykazują mniejszą od oczekiwanej skuteczność. Z grupy środków fizycznych najczęściej stosuje się rozwiązania w postaci progów zwalniających i podrutowych występujących w różnych odmianach. Z gamy dostępnych środków wybór konkretnego wiąże się z zakładanym efektem jaki ma być osiągnięty oraz z miejscem w jakim ma być zastosowane określone rozwiązanie.

3. Emisja spalin

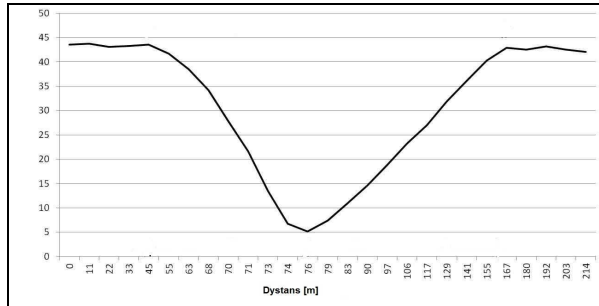
Typowa charakterystyka jazdy samochodu składa się z jazdy z określoną prędkością, hamowania, przyspieszania oraz jazdy na biegu jałowym. Proporcje występujące pomiędzy poszczególnymi stanami ruchu, zależą od charakteru i sposobu jazdy kierowcy (jazda agresywna vs. jazda umiarkowana), charakterystyki drogi (autostrady, drogi lokalne i dojazdowe) oraz warunków ruchu, które istotnie wpływają na prędkość jazdy oraz, co istotniejsze z punktu widzenia wydzielania emisji spalin samochodowych, płynność potoków ruchu. Płynność jazdy w warunkach miejskich ulega największym wahaniom w okolicach skrzyżowań drogowych z sygnalizacją świetlną oraz w miejscach występowania fizycznych środków uspokojenia ruchu, które wymuszają na kierowcach znaczne redukcje prędkości i zatrzymania.

Jak wskazują dotychczasowe badania największy wpływ na poziom emisji spalin podczas jazdy samochodu ma określony sposób jazdy [4]. Wykazano, że zużycie paliwa jak i emisja zanieczyszczeń są kilkakrotnie wyższe podczas częstych manewrów hamowania i przyspieszania niż podczas jazdy z ustaloną prędkością. Z kolei późniejsze badania [5] wskazały, że na poziom emisji spalin wpływ ma znacznie większa liczba czynników wśród których wymieniono średnią prędkość jazdy, średnie przyspieszenia oraz minimalną i maksymalną prędkość jazdy. Nie potwierdzono za to wpływu wielkości współczynnika opóźnienia na wielkość emisji spalin. Podobnie badania analizujące wpływ prędkości i dynamiki jazdy [6] wykazały, że na poziom emisji spalin wpływa dynamika przyspieszania, ale już dynamika opóźnienia takiego wpływu nie wykazała. Dodatkowo Wang [7] wskazał, że w modelach statystycznych odwzorowujących wielkość emisji większe znaczenie mają wskaźniki związane z dynamiką przyspieszeń zwłaszcza w niższych zakresach średnich prędkości.

Jednym ze sposobów mogących przyczynić się do poprawy tego niekorzystnego zjawiska jest wdrażanie efektywnych rozwiązań z zakresu zarządzania prędkością w kierunku uspokojenia ruchu.

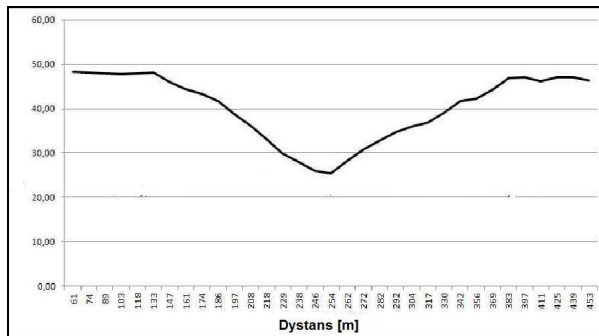
4. Metodyka badań i wyniki

Pomiary prędkości prowadzono w otoczeniu środków uspokojenia ruchu zlokalizowanych w Białymstoku. Do pomiarów prędkości zastosowano metodę przejazdu testowego z wykorzystaniem rejestratora danych GPS, który umożliwia gromadzenie danych o pozycji pojazdu i jego prędkości w interwale 1s. Pomiary prowadzono w godzinach pozaszczytowych dążąc do zapewnienia warunków odpowiadających ruchowi swobodnemu. Jako pojazd testowy wykorzystano samochód osobowy. W oparciu o zgromadzone dane wygenerowano indywidualne profile prędkości poszczególnych przejazdów testowych (rys. 1), na podstawie których opracowano średnie profile prędkości i wyznaczono wartości opóźnień „d” i przyspieszeń „a”.



Rys. 1. Profil średniej prędkości w otoczeniu a) progów podrzutowego, b) małego ronda

Fig. 1. Average speed profile in vicinity of a) speed bump, b) small roundabout



Rys. 2. Profil średniej prędkości w otoczeniu małego ronda

Fig. 2. Average speed profile in vicinity of a small roundabout

Spośród szerokiej gamy środków uspokojenia ruchu do szczegółowych badań wybrano te charakteryzujące się najwyższą skutecznością wymuszania na kierowcach redukcji prędkości. Badania prędkości prowadzono w otoczeniu progów podrzutowych, progów wyspowych, wyniesionych tarcz skrzyżowań drogowych i przejść dla pieszych. W badaniach uwzględniono także ronda małe i mini, które są coraz powszechniej stosowane jako środki uspokojenia ruchu.

W oparciu o przeprowadzone pomiary opracowano indywidualne profile prędkości (Rys. 1, 2) w otoczeniu każdego z wytypowanych środków uspokojenia ruchu. W oparciu o uśrednione profile określono średnie wartości opóźnień i przyspieszeń (Tabela 1) według wzoru:

$$a, d = \Delta V / \Delta t \quad (1)$$

gdzie: d – opóźnienie [m/s^2],

a – przyspieszenie [m/s^2],

ΔV – przyrost/spadek prędkości [m/s],

Δt – przyrost czasu [t].

Tabela 1. Zestawienie wyznaczonych wartości opóźnień i przyspieszeń

Table 1. Summary of calculated deceleration and acceleration values

Typ środka uspokojenia ruchu	Prędkość dojazdowa [km/h]	Prędkość nad środkiem uspokojenia ruchu [km/h]	Opóźnienie "d" [m/s ²]*	Przyspieszenie "a" [m/s ²]*
Mini rondo	35	15,4	0,28-0,88	0,51-1,01
Małe rondo	59	22,8	0,49-1,42	0,51-1,42
Próg podrzutowy	43	4,3	1,09	0,9
Próg wyspowy	43	27,1	0,69	0,7
Wyniesiona tarcza skrzyżowania	50	4,7	1,37	0,80
Wyniesione przejście dla pieszych	40	7,2	1,65	0,86

*średnie wartości zależą od kierunku jazdy przez rondo

Przedstawione w Tabeli 1 wartości zarejestrowanych prędkości na odcinkach dojazdowych i nad środkami uspokojenia ruchu dowodzą ich dużej skuteczności oddziaływania na redukcję średniej prędkości pojazdów. Profile prędkości na Rys. 1 uwiadcniają, że występowanie środka uspokojenia również istotnie wpływa na technikę jazdy kierowców. Obecność progów podrzutowych, wyniesionego przejścia dla pieszych oraz wyniesionej tarczy skrzyżowania najistotniej wpływają na obniżenie prędkości, a średnia prędkość w miejscu ich występowania spada poniżej 10 km/h i waha się od 4,3 km/h (próg podrzutowy) do 7,2 km/h (wyniesione przejście). W przypadku progów podrzutowych spadek prędkości jest również wyraźny lecz wartość redukcji prędkości nie przekracza 40% wartości prędkości notowanej na odcinku dojazdowym.

Charakter zmian prędkości w otoczeniu rond, jest bardzo podobny do zmian rejestrowanych w otoczeniu środków fizycznych. Najistotniejsza różnica sprowadza się do wartości prędkości na jezdni ronda. W przypadku mini rond średnia prędkość przejazdu jest o 11,7 km/h niższa niż podczas przejeżdżania przez próg wyspowy.

Analizując dynamikę zachowań kierowców, najwyższe wartości opóźnienia zanotowano podczas zbliżania się do skrzyżowań z wyniesioną tarczą ($d=1,37 \text{ m/s}^2$) oraz przejść dla pieszych ($d=1,65 \text{ m/s}^2$). Zachowania takie można tłumaczyć tym, że kierowcy spodziewając się znacznej redukcji prędkości starają się maksymalnie opóźnić proces hamowania, co przekłada się na jego gwałtowność na krótkim odcinku przed przeszkodą. Najniższe wartości opóźnienia zanotowano przy zbliżaniu się do rond ($0,28 \text{ m/s}^2$ i $0,49 \text{ m/s}^2$).

Analizując wartości przyspieszeń, istotniejsze w kontekście poziomej emisji spalin samochodowych, również zanotowano znaczne zróżnicowanie uzyskanych wyników. Najwyższe wartości zanotowano w otoczeniu rond małych i mini, odpowiednio $a = 1,42 \text{ m/s}^2$ i $a = 1,01 \text{ m/s}^2$. W otoczeniu pozostałych środków uspokojenia ruchu można zauważyć, że niższa prędkość przejazdu przez prze-

szkodę wiąże się z wyższymi wartościami przyspieszeń notowanymi za przeszkodami.

Intensywne manewrowanie przyczynia się do wyższego zużycia paliwa i przez to wyższego zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Istniejące modele opisujące zużycia paliwa i wielkość emisji spali pojazdów poruszających się w warunkach generujących dużą zmienność prędkości jazdy [8] oraz modele uwzględniające wielkość emisji CO₂ [9, 10] w funkcji przyspieszenia wskazują na ich duży wzrost przy średnich prędkościach jazdy na poziomie 20-30 km/h i przyspieszeniach przekraczających wartość 1,0 m/s², które to są charakterystyczne dla poruszania się w otoczeniu rond. Dodatkowo dynamiczne przyspieszenie przyczynia się do nawet 40% wzrostu emisji związków azotowych NO_x. Mając powyższe na uwadze, stwierdzić należy, że wdrażanie środków uspokojenia ruchu powinno się analizować nie tylko w zakresie ich skuteczności w zakresie redukcji prędkości lecz także w zakresie ich możliwego szkodliwego oddziaływania na środowisko i wielkości emisji szkodliwych substancji. Strategiczne zarządzanie prędkością nie powinno ograniczać się tylko do krótkich odcinków sieci ulicznej i do punktowych instalacji urządzeń spowalniających ruch w miejscach podwyższonego ryzyka drogowego, ale powinno obejmować swym oddziaływaniem większe obszary, tak aby wymusić na kierowcach poruszanie się z umiarkowaną, ale również jednolitą prędkością eliminując konieczność gwałtownych manewrów hamowania i przyspieszania. Dopiero takie rozwiązania będą zgodne z duchem strategii uspokojenia ruchu, która przewiduje wymuszenie na kierowcach nie tylko poruszanie się z prędkością bezpieczną, ale również w sposób przyjazny dla środowiska.

5. Wnioski

Uspokojenie ruchu jako element zarządzania prędkością jest niewątpliwie bardzo ważne nie tylko w aspekcie bezpieczeństwa ruchu drogowego i zachowań kierowców na drogach, lecz również w zakresie oddziaływania na środowisko. W referacie przeanalizowano efektywność wybranych środków uspokojenia ruchu w zakresie ich oddziaływania na prędkość jazdy i w odniesieniu do poziomu emisji spalin związanego z dynamiką zmian prędkości jazdy.

Wyniki badań wykazały, że spośród analizowanych środków uspokojenia ruchu najefektywniejsze w zakresie redukcji prędkości jazdy są urządzenia z grupy fizycznych środków uspokojenia tworzące fizyczne przeszkody na jezdni, zwłaszcza progi podrzutowe i wyniesione tarcze skrzyżowań. Ich efektywność jest znacznie wyższa w porównaniu do rond, ale wiąże się również z bardziej dynamicznymi manewrami hamowania wykonywanymi przez kierowców zbliżających się do nich.

Małe i mini ronda, które są chętnie stosowane jako środek uspokojenia ruchu faktycznie okazują się niekorzystnie i intensywnie oddziaływać na sposób jazdy kierowców powodując duże zróżnicowanie w prędkości jazdy. Zwłaszcza

obecność małych rond stwarza warunki do dynamicznego hamowania i przyspieszania, których intensywność zależy od prędkości zbliżania się oraz obieranego kierunku jazdy przez rondo.

Zarządzanie ruchu może być efektywne nie tylko w zakresie oddziaływania na prędkość lecz również w aspekcie obniżania poziomu emisji spalin jednak w tym celu planowana strategia powinna być poprzedzona gruntowną analizą stanu istniejącego i zakładanego celu. Na poziomie lokalnym decyzje odpowiednich władz w kierunku kreowania zachowań kierowców przyjaznych nie tylko użytkownikom dróg lecz również środowisku mogą istotnie wpływać na poziom zużycia paliwa i emisji spalin. Jednak takie działania wymagają pogłębionych analiz uwzględniających sposób manewrowania kierowców w powiązaniu z określonymi środkami uspokojenia ruchu, w przeciwnym razie, uspokojenie ruchu może przyczynić się do pogorszenia warunków środowiskowych.

"Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiIS/1/2015 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW"

Literatura

- [1] Zachariadis T.J., editor (2012), Cars and carbon. Automobiles and European climate policy in a global context. Springer Business Media B.V.
- [2] Fuglestedt, J., Berntsen T., Myhre G., Rypdal K., Skeie R.B. (2008), "Climate forcing from the transports sectors". PNAS 105 (2): 454-458.
- [3] 2 European Environment Agency (2004) Analysis of Greenhouse Gas Emissions Trends and Projections in Europe, Eur Environ Agency, Copenhagen.
- [4] Frey, H.; Roupail, M.; Unal, A.; Colyar, J. 2001. Measurement of onroad tailpipe CO, NO and Hydrocarbon emissions using portable instrument. Presented at the Annual Meeting of Air and Waste Management Association. 1-12. (2001).
- [5] Unal, A.; Frey, H.; Roupail, N. 2004. Quantification of highway emission vehicle emission hot spots based on on-board measurements, Journal of the Air and Waste Management Association, 54(2): 130-140.
- [6] Bokare P.S., Maurya A.K. (2013) Study of speed, acceleration and deceleration of small petrol car on its tail pipe emission, International Journal of Traffic and Transport Engineering, 2013, 3 (4), 465-478.
- [7] Wang, M.; Daamen, W.; Hoogendoorn, S.; Arem, B. 2011. Estimating Acceleration, Fuel Consumption, and Emissions from Macroscopic Traffic Flow Data, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/2260-14>, 2260(2011): 123-132.
- [8] Pelkmans L, Debal P, Hood T, Hauser G, Delgado MR. Development of a simulation tool to calculate fuel consumption and emissions of vehicles operating in dynamic conditions. SAE 2004 spring fuels and lubricants, 2004-01(1873).
- [9] Cornelis E, Broekx S, Cosemans G, Pelkmans L, Lenaers G. Impact of traffic flow description and vehicle emission factor selection on the uncertainty of heavy-duty vehicle emission calculation. VKMTHD Mitteilungen, vol. 85 (1). ; 2005. p. 13-21.
- [10] Panis L.I., Broex S., Liu R. (2006) Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits, Science of the Total Environment 371 (2006), 270-285.

EFFECTIVENESS OF TRAFFIC CALMING MEASURES IN URBAN AREAS IN SCOPE OF IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Summary

Times Road transport contributes about one-fifth of the EU's total emissions of carbon dioxide (CO₂), the main greenhouse gas. CO₂ emissions from road transport increased by nearly 23% between 1990 and 2010. Transport is the only major sector in the EU where greenhouse gas emissions are still rising. Light-duty vehicles – most commonly present on urban roads - are a major source of greenhouse gas emissions, producing around 15% of the EU's emissions of CO₂. Road conditions preventing smooth and fluent driving further enhance emissions. Efficient speed management covering vast city areas is belied to improve travel conditions and lower emissions. In developing countries due to high cost implementation speed management focuses basically on a smaller scale and aims at how best to set and enforce speed limits where there are safety concerns. Speed management being a complex issue involves both engineering and behavioural factors. Implementation of engineering issues involving physical and non-physical measures generally ignores behavioural factors that emerge from impediments that drivers face on a roadway which in turn essentially contribute to driving maneuvers and level of emissions. The measurements of instantaneous speed in vicinity of speed management measures including chosen traffic calming measures and roundabouts were undertaken to develop the investigation. The paper presents the results of speed investigations conducted in urban areas under varied roadway geometry conditions in two Polish cities. The examination has focused on drivers' behaviour and the dynamics of speed changes expressed by deceleration and acceleration values which have been evaluated on the basis of individual speed profiles. Data related to emissions were considered based on the literature.

Keywords: vehicle emission, traffic calming, speed, dynamics of maneuvers, acceleration

DOI:10.7862/rb.2016.301

Przestano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Marcin ZYGMUNT¹
Dariusz GAWIN²

ANALIZA ZASTOSOWANIA TECHNIK DSM W CELU REDUKCJI SZCZYTOWEGO ZAPOTRZEBOWANIA MOCY CHŁODNICZEJ DLA ZESPOŁU BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

W artykule przedstawiono analizę wyników symulacji energetycznych dotyczących grupy obiektów użyteczności publicznej o zróżnicowanej funkcji połączonych w lokalny obszar bilansowania w celu redukcji szczytowej mocy elektrycznej w okresie letnim. Przeanalizowano zapotrzebowanie na moc chłodniczą obiektów tego obszaru w okresie doby w polskich warunkach klimatycznych oraz redukcję mocy szczytowej w wyniku zastosowania technik DSM (ang. Demand Side Management) w badanych obiektach. W pracy rozpatrzono zastosowanie technik DSM: aktywnej – wstępnego schładzania obiektów w godzinach wczesno-porannych, oraz technik pasywnych – zmiany pojemności cieplnej elementów budynku oraz zastosowanie materiałów zmiennofazowych w ich obudowie zewnętrznej. Zastosowanie w/w technik przeanalizowano także pod kątem ich opłacalności finansowej. Przeprowadzone analizy pokazują wysoki potencjał stosowania technik DSM w celu ograniczenia zapotrzebowania na moc chłodniczą w okresach szczytowego obciążenia sieci elektroenergetycznej. Dodatkowo wykazano, że połączenie szeregu obiektów o zróżnicowanej funkcji w jeden obszar bilansowania może prowadzić do bardziej równomiernego zapotrzebowania na moc elektryczną w ciągu doby. Przeprowadzona analiza kosztowa wykazuje korzyści finansowe płynące z zastosowania technik DSM.

Słowa kluczowe: techniki DSM - Demand Side Management, lokalny obszar bilansowania, wstępne schładzanie obiektu, obniżenie szczytowej mocy elektrycznej, równomierne w czasie obciążenie sieci elektroenergetycznej, aktywne i pasywne techniki DSM, pojemność cieplna, materiały zmiennofazowe

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marcin Zygmunt, Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, tel. (42)-631-35-56; marcin.zygmunt@p.lodz.pl

² Dariusz Gawin, Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, tel. (42)-631-35-56; dariusz.gawin@p.lodz.pl

1. Wprowadzenie

Analiza danych Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE) [1] wyraźnie wskazuje, że wraz z rozwojem gospodarczym Polski rośnie zużycie energii elektrycznej. Obecne prognozy przewidują, że zapotrzebowanie na energię elektryczną w naszym kraju będzie dalej wzrastać, a co za tym idzie, zwiększy się również zapotrzebowanie na moc szczytową. W okresie ostatnich lat obserwuje się w naszym kraju rosnące z roku na rok zapotrzebowanie na moc elektryczną w okresie letnim. Wynika to z coraz częstszego stosowania w obiektach budowlanych instalacji chłodzących wskutek stopniowego ocieplania się klimatu w skali globalnej, w tym w Polsce. Analizując przykładowy, dobowy rozkład zapotrzebowania na moc w okresie letnim [2], można wyróżnić okres szczytowego obciążenia sieci elektroenergetycznej. Z punktu widzenia dostawcy energii, dobowy rozkład zapotrzebowania na moc elektryczną powinien być jak najbardziej równomierny w czasie, a maksymalne zapotrzebowanie na moc nie powinno zbyt wahać się w pobliżu szczytowych możliwości sieci elektroenergetycznej. Rozwiązaniem, które pozwala uzyskać w/w efekt, poza magazynowaniem energii w elektrowniach szczytowo-pompowych, jest zastosowanie technik DSM (ang. Demand Side Management) [3-5]. Działania tego typu polegają na ograniczeniu zużycia energii przez odbiorców w okresach szczytowego zapotrzebowania i przesunięciu go do okresów mniejszego obciążenia sieci, a co za tym idzie - zmniejszenie wymaganej mocy generatorów prądu, zainstalowanych u dostawcy energii. W niniejszym artykule przeanalizowano przykładową grupę budynków użyteczności publicznej, które odpowiadają za ok. 20% całkowitego zużycia energii elektrycznej w naszym kraju. Nośnikiem energii systemów chłodzących obiektów użyteczności publicznej jest zwykle energia elektryczna.

Coraz częściej rozpatrywanym w literaturze rozwiązaniem jest łączenie grupy budynków o różnych funkcjach i zróżnicowanym w czasie zapotrzebowaniu energii, w większe sieci typu „smart grid” [6, 7]. Artykuł poświęcono analizie wpływu zastosowania technik DSM dla pewnej wirtualnej grupy obiektów użyteczności publicznej, zlokalizowanych w Polsce, połączonych w obszar bilansowania (hipotetycznie położony w centrum miasta). Przeanalizowano rozkład w czasie zapotrzebowania na moc chłodniczą oraz redukcję szczytowego zapotrzebowania na moc elektryczną w godzinach dobowego szczytu w okresie letnim.

2. Opis analizowanych obiektów

Przedmiotem analizy były obiekty użyteczności publicznej o zróżnicowanej funkcji: budynek biurowy, multipleks kinowy, hotel i market wielkopowierzchniowy, analizowane łącznie przy założeniu, że stanowią one jeden obszar bilan-

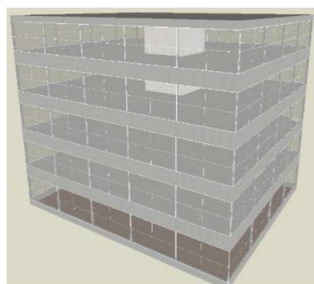
sowania energii. Analizowane typy obiektów dobrano na podstawie obserwacji zabudowy centrów dużych miast, gdzie dominują obiekty o w/w funkcjach.

Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę badanych obiektów. Narzędziem wykorzystanym do symulacji energetycznych budynków był program komputerowy Design Builder [8] – nakładka na program Energy Plus [9].

Budynek biurowy (Rys. 1.) jest obiektem charakteryzującym się wysokim, 70% udziałem szklenia powierzchni zewnętrznej. Jest to obiekt 5-kondygnacyjny o powtarzalnym układzie przestrzennym. Analizowanym obszarem jest strefa biurowa o powierzchni użytkowej 688 m² (z wyłączeniem szybu windowego).

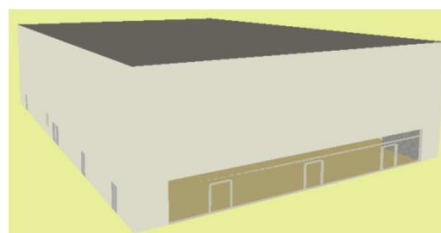
Multipleks kinowy (Rys. 2.) jest obiektem 2-kondygnacyjnym, w którym znajduje się 8 sal kinowych (po 4 na kondygnację). Maksymalna ilość widzów mogących równocześnie przebywać w obiekcie wynosi 2496 osób.

Hotel (Rys. 3.) jest budynkiem 10-piętrowym, o kondygnacji powtarzalnej, znajduje się w nim 218 pokoi dwuosobowych.



Rys. 1. Wizualizacja analizowanego obiektu biurowego w programie Design Builder

Fig. 1. Visualization of the analyzed office building in the Design Builder code



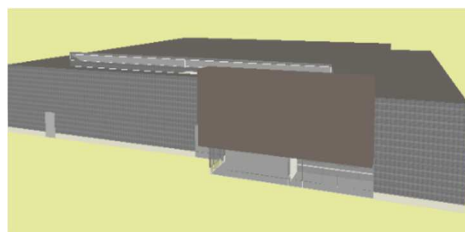
Rys. 2. Wizualizacja analizowanego multipleksu kinowego w programie Design Builder

Fig. 2. Visualization of the analyzed cinema in the Design Builder code



Rys. 3. Wizualizacja analizowanego hotelu w programie Design Builder

Fig. 3. Visualization of the analyzed hotel in the Design Builder code



Rys. 4. Wizualizacja analizowanego marketu wielkopowierzchniowego w programie Design Builder

Fig. 4. Visualization of the analyzed large area mall in the Design Builder code

Ostatnim badanym obiektem jest market wielkopowierzchniowy (Rys. 4.), który jest obiektem parterowym, charakteryzującym się dużą powierzchnią hali sprzedaży - 4200 m².

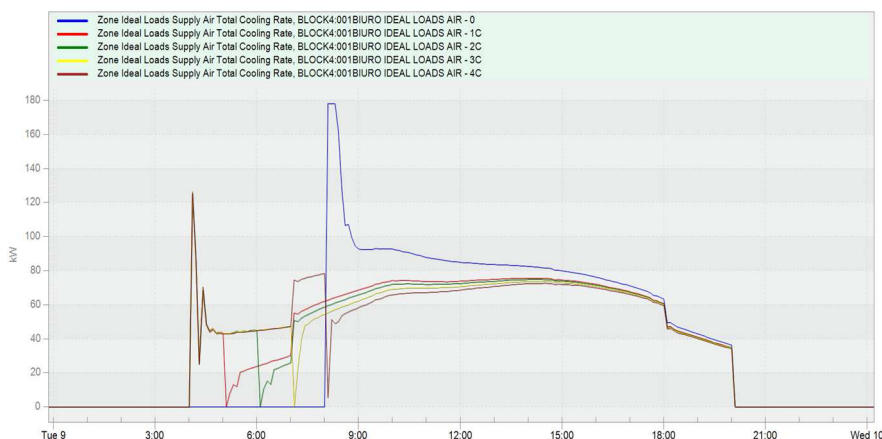
Rozpatrywany w niniejszej pracy obszar bilansowania, o funkcjach budynków typowych dla centrum miasta, składał się z następujących obiektów: 6 budynków biurowych, 2 multipleksów kinowych, 2 marketów wielkopowierzchniowych oraz 4 hoteli, w każdym z nich zajmowanych jest 50 pokoi.

Każdy z analizowanych obiektów charakteryzował się własnym harmonogramem pracy i związanym z tym obciążeniem wewnętrznymi zyskami ciepła. Projektowa temperatura wewnętrzna obiektów przyjęta została na poziomie 24 °C.

3. Opis przeprowadzonych analiz energetycznych i kosztowych

Opłacalność zastosowania technik DSM w budynkach użyteczności publicznej przeprowadzono poprzez analizę kosztową proponowanych rozwiązań.

Pierwszym krokiem przeprowadzonych analiz było sprawdzenie wpływu temperatury i czasu schładzania obiektu w godzinach wczesno-porannych (tzw. technika „precooling”) na redukcję zapotrzebowania na moc elektryczną urządzeń chłodniczych. Sprawdzono warianty obniżania temperatury wewnątrz obiektów do poziomu: 20°C, 21°C i 22°C, w przedziale czasu od godziny 4:00 do 8:00, dla różnych długości trwania schładzania wnętrza budynku (od 1 do 4 godzin). Przykładowe wyniki obliczeń, ilustrujące efekty zastosowania opisanej techniki, pokazano na Rys. 5.



Rys. 5. Dobowy przebieg zapotrzebowania na moc chłodniczą przy wstępnym schładzaniu obiektu biurowego do temperatury 22°C w godzinach od 4:00 do 8:00 przez różny okres czasu

Fig. 5. Daily cooling power demand by using precooling to 22 °C operative temperature level in the office building for various time periods between 4 a.m. and 8 a.m.

Następnie, sprawdzono opłacalność stosowania powyższej, aktywnej techniki DSM pod kątem osiągnięcia korzyści finansowych. Analizę wykonano przyjmując aktualne taryfy cen energii elektrycznej w Polsce [10]. Obliczone oszczędności (obejmujące całą dobę) płynące z zastosowania schładzania obiektu w godzinach wczesno-porannych zestawiono w Tab. 1. Jak widać w poniższej tabeli, zastosowanie schładzania obiektu biurowego w godzinach wczesnorannych prowadzi do osiągnięcia kilkuprocentowej oszczędności kosztów chłodzenia, w skali doby.

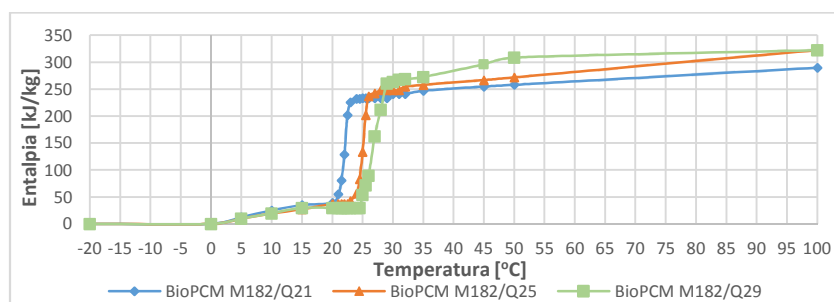
Tabela 1. Wyniki analizy kosztowej dla różnych czasów schładzania obiektu biurowego

Table 1. Results of cost analysis of various precooling time for the building office

Taryfa rozliczenia kosztów energii	Koszty chłodzenia [zł] / Oszczędność kosztów [%]				
	Bez precoolingu	Precooling 1h	Precooling 2h	Precooling 3h	Precooling 4h
C22a	390,69	380,31	379,54	377,90	378,37
	-	2,66 %	2,85 %	3,27 %	3,15 %
C22b	441,20	431,08	426,85	426,37	429,39
	-	2,29 %	3,25 %	3,36 %	2,68 %

Ostatnim elementem analizy kosztowej było sprawdzenie opłacalności dodatkowego zastosowania pasywnych technik DSM. W tym celu przeanalizowano:

- zastosowania trzech różnych materiałów fazowo-zmiennych (o charakterystykach pokazanych na Rys. 6.) jako okładziny wewnętrznej ścian zewnętrznych (materiały fazowo-zmienne zastosowano jako granulaty dodany przy produkcji płyt karton-gipsowych; brak analizy kosztowej),
- zmiana pojemności cieplnej obudowy zewnętrznej budynku na wysoką (zmiana konstrukcji z płyt warstwowych bądź bloczków z betonu komórkowego na konstrukcję z cegły; brak analizy kosztowej).



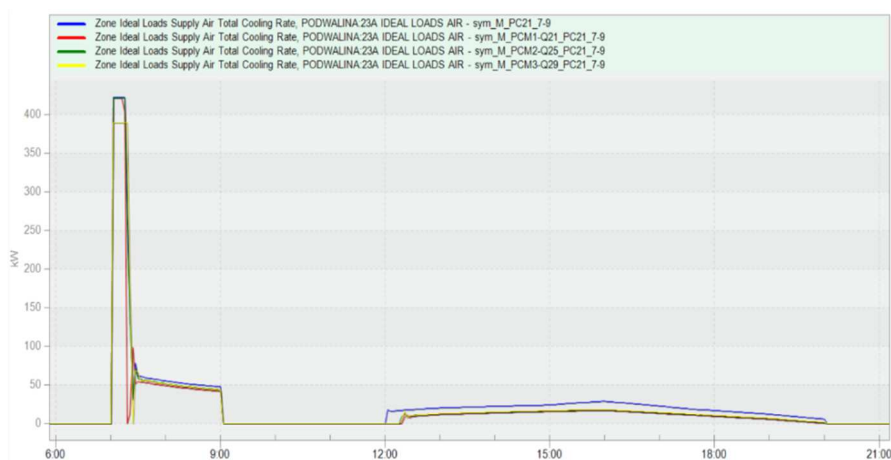
Rys. 6. Zależność entalpii do temperatury dla 3 rozważanych materiałów fazowo-zmiennych

Fig. 6. Dependence of enthalpy vs. temperature for 3 analyzed phase changing materials (PCMs)

Okresem przeprowadzonych symulacji jest ekstremalny tydzień letni typowego roku meteorologicznego, który został wyznaczony zgodnie z [11]. Okres

analizy to 6-12 lipca, dla którego średnia tygodniowa temperatura wynosiła 21,9°C. Przykładowe wyniki obliczeń ilustrujące efekty zastosowania materiałów fazowo-zmiennych jako okładziny wewnętrznej ścian zewnętrznych pokazano na Rys. 7.

Wszystkie proponowane rozwiązania, przyjęte w przeprowadzonych symulacjach energetycznych, były analizowane pod kątem zapewnienia właściwych warunków mikroklimatu wewnętrznego. Parametry proponowanych rozwiązań były dobrane tak, aby warunki wewnątrz obiektów zapewniały odczucie komfortu cieplnego [12].



Rys. 7. Dodatkowa redukcja zapotrzebowania na moc chłodniczą dzięki zastosowaniu materiałów fazowo-zmiennych

Fig. 7. Additional reduction of cooling power demand due to application of PCMs

4. Analiza wyników przeprowadzonych symulacji

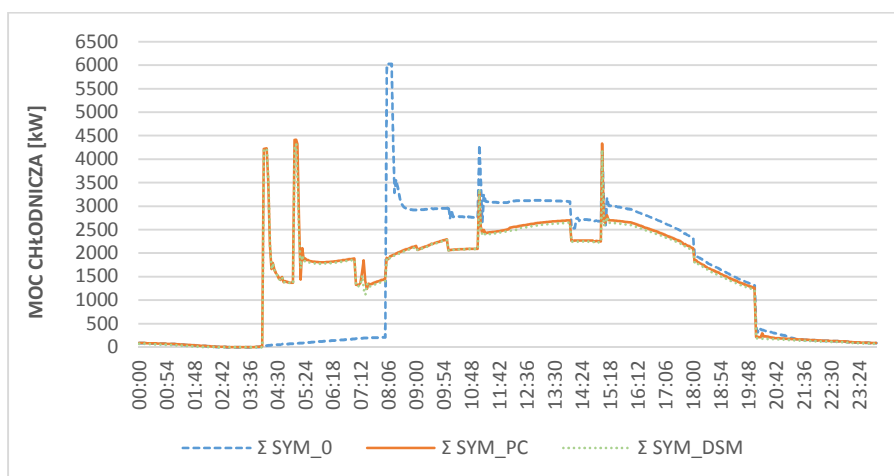
Na Rys. 8. przedstawiono dobowe zapotrzebowanie na moc chłodniczą całego analizowanego obszaru bilansowania.

Sytuację wyjściową – bez stosowania technik DSM – przedstawia linia niebieska. Analizując ten wykres stwierdzono, że dzięki zastosowaniu aktywnej techniki DSM – wstępnego schładzania obiektu w godzinach wczesno-rannych (linia ciągła), zredukowano zapotrzebowanie na moc chłodniczą w okresie szczytowego obciążenia sieci. Rozpatrywany okres szczytowego obciążenia przypada na godz. 9:00 – 15:00. Dla analizowanych przypadków wstępnego schładzania obiektów udało się zredukować zapotrzebowanie na moc chłodniczą od 8,3% do 31,6%, a całkowite zużycie energii na potrzeby chłodzenia zredukowano o 19,7% w okresie szczytowego obciążenia sieci elektroenergetycznej.

Stosując pasywne techniki DSM (linia kropkowana) łącznie ze wstępnym schładzaniem obiektów udało się osiągnąć dodatkowe korzystne efekty. Zapo-

trzebowanie na moc chłodniczą zredukowano od 9,7% do 32,1%, a całkowite zużycie energii na potrzeby chłodzenia zmniejszono o ok. 20,5% w analizowanym okresie doby.

Należy zauważyć, że dzięki zastosowaniu technik DSM zapotrzebowanie na moc chłodniczą jest bardziej równomiernie rozłożone w czasie oraz udało się zredukować maksymalną wartość dobowego zapotrzebowania na tę moc.



Rys. 8. Rozkład dobowy zapotrzebowania na moc chłodniczą różnych wariantów DSM badanego obszaru

Fig. 8. Daily cooling power demand for different DSM techniques to subject area

5. Wnioski

Wyniki wykonanych analiz pokazują, że zastosowanie aktywnych i pasywnych technik typu „Demand Side Management” w lokalnym obszarze bilansowania obiektów użyteczności publicznej o różnej funkcji, może prowadzić w okresie letnim do:

- bardziej równomiernego rozkładu w czasie zapotrzebowania na moc elektryczną urządzeń chłodniczych,
- redukcji szczytowego zapotrzebowania na moc elektryczną tych urządzeń,
- odciążenia sieci elektroenergetycznej w okresie dobowego szczytu,
- osiągnięcia wymiernych korzyści finansowych z ich zastosowania.

Przeprowadzone analizy wymagają walidacji poprzez porównanie wyników symulacji z rzeczywistymi danymi zużycia energii i zapotrzebowania na moc.

Literatura

- [1] Polskie Sieci Elektroenergetyczne, Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na moc elektryczną na lata 2016-2025, Konstancin-Jeziorna, 2014.

- [2] Polskie Sieci Elektroenergetyczne – www.pse.pl {dostęp 30.04.2016 r.}.
- [3] Lawrence Berkeley National Laboratory, Introduction to Commercial Building Control Strategies and Techniques for Demand Response, Berkeley, 2007.
- [4] Lawrence Berkeley National Laboratory, Design and Implementation of an Open, Interoperable Automated Demand Response Infrastructure, Berkeley, 2007.
- [5] J. Houry, R. Mbayed, G. Salloum, E. Monmasson, Predictive demand side management of a residential house under intermittent primary energy source conditions, Energy and Buildings, 2015.
- [6] R. Velik, P. Nicolay, Energy management in storage-augmented, grid connected prosumer buildings and neighborhoods using a modified simulated annealing optimization, Computer & Operations Research, 2015.
- [7] Smart Grid Gotland – electricity network for the future – www.smartgridgotland.se/eng/ {dostęp 10.05.2016 r.}.
- [8] DesignBuilder Software – www.designbuilder.co.uk. {dostęp 15.03.2016 r.}.
- [9] EnergyPlus Engineering Reference, Illinois 2014.
- [10] Energa – www.energa.pl {dostęp 30.04.2016 r.}.
- [11] Gawin D., Kossecka E., Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach, Politechnika Łódzka, 2002.
- [12] Fanger P. O., Komfort cieplny, Arkady, 1974.

ANALYSIS OF APPLYING VARIOUS DEMAND SIDE MANAGEMENT TECHNIQUES FOR REDUCTION OF COOLING POWER DEMAND PEAK FOR THE GROUP OF PUBLIC UTILITY BUILDINGS

S u m m a r y

The aim of this article is analysis of energy simulation for a group of public utility buildings connected into one local assess area in order to reduce the cooling power demand peak in summer time. The analysis deals with the daily cooling energy demand of the area for the climatic conditions of Poland and the reduction of peak power demand by using Demand Side Management techniques applied in these buildings. For this end the use of various DSM techniques: active one, i.e. a decrease of operative temperature in the buildings in early morning and two passive techniques, i.e. thermal capacity increase for construction elements and use of phase changing materials in external walls, were examined. Moreover, use of the abovementioned techniques was analyzed considering their financial benefits. The analysis showed a high potential of DSM techniques application to reduce the cooling power demand during electricity grid peak hours. Additionally, connecting various public utility buildings into one assess area may lead to more steady daily electricity power demand. The analysis also showed some financial benefits of application of the DSM techniques considered.

Keywords: DSM - demand side management, micro-grids, precooling, peak energy, reducing peak electrical power, active & passive techniques DSM, thermal capacity, phase-change materials

DOI:10.7862/rb.2016.302

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ¹

Bożena ORLIK-KOŹDOŃ²

Paweł KRAUSE³

Tomasz STEIDL⁴

ZMIANY ZAWILGOCENIA PRZEGRÓD BUDYNKÓW HISTORYCZNYCH PRZY ZADANYCH WARUNKACH KLIMATU ZEWNĘTRZNEGO

W artykule przedstawiono analizę stanu wilgotnościowego przegrody z muru pruskiego, ocieplonego od strony pomieszczeń, wykonaną na podstawie rocznych symulacji z zastosowaniem programu WUFI.

W badaniach uwzględniono różne usytuowania przegrody względem stron świata, oraz zadano lokalne warunki klimatu zewnętrznego. W ocenie występujących zjawisk związanych z migracją wilgoci, zwrócono uwagę na nietypową budowę przegrody i wynikające z niej konsekwencje. Wskazano miejsca o intensywnej reakcji na czynniki higrotermiczne.

W analizowanej przegrodzie nie dochodzi do niepokojącej, utrzymującej się kumulacji wilgoci w warstwie ocieplenia ani na wewnętrznej powierzchni przegrody. Z przedstawionych analiz wynika, że w przypadku cienkiej ściany z muru pruskiego, izolowanego od wewnątrz pomieszczeń materiałem zapewniającym odpowiednią dyfuzyjność warstw, zagrożeniem dla historycznego układu przegrody wydaje się być wpływ zmian higrotermicznych na drewno i miejsca połączeń słupków z materiałem ceramicznym.

Słowa kluczowe: mur pruski, izolacja wewnętrzna, zawartość wilgoci, procesy higrotermiczne, obiekty historyczne

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Agnieszka Szymanowska-Gwiźdź, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Agnieszka.Szymanowska-Gwiźdź@polsl.pl

² Bożena Orlik-Koźdoń; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Bozena.Orlik-Kozdon@polsl.pl

³ Paweł Krause; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Pawel.Krause@polsl.pl

⁴ Tomasz Steidl; Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 2303; Tomasz.Steidl@polsl.pl

1. Wprowadzenie

Zgodnie z obowiązującymi współcześnie przepisami przy projektowaniu nowych budynków należy uwzględniać liczne wymagania, w tym dotyczące izolacyjności termicznej oraz zabezpieczenia ich przed możliwością trwałego zawilgocenia. Projektowanie modyfikacji budynków istniejących, o charakterze zabytkowym, w tym poprawy ich właściwości termicznych, musi dodatkowo uwzględniać postulat zachowania wartości historycznych i kulturowych. W każdym z przypadków zastosowane rozwiązania techniczno – materiałowe nie mogą wpływać negatywnie na trwałość obiektu i jego bezpieczne użytkowanie. Pokazną część istniejących zasobów budowlanych Górnego Śląska stanowią obiekty z XIX i początków XX w, które podlegają zabiegom remontowym, w tym także termomodernizacyjnym. Z uwagi na wystrój elewacji lub konieczność zachowania jej niezmienionej formy, dominującą obecnie metodą wykonywania izolacji cieplnych w takich obiektach, jest jej mocowanie od strony wewnętrznej pomieszczeń. Takie rozwiązania, z zastosowaniem odpowiednich materiałów, coraz częściej stosuje się także w budynkach o konstrukcji szkieletowej, drewnianej, z wypełnieniem cegłą ceramiczną, w tzw. murze pruskim.

Z uwagi na swoją budowę (połączenie konstrukcji murowej z elementami drewnianymi) stanowią one przypadek szczególny, dla którego niezwykle ważne jest zastosowanie prawidłowo dobranych rozwiązań tak, aby nie powodować kumulacji wilgoci w przegrodzie. Może do niej dochodzić zarówno na skutek migracji pary wodnej od środka, jak również od zewnątrz, np. w związku z występowaniem opadów atmosferycznych. Charakterystyczną cechą przegrody z muru pruskiego jest występowanie szczelin pomiędzy szkieletem a przylegającymi elementami, umożliwiające wnikanie wody opadowej w głąb muru. Mogą one wynikać między innymi z naturalnych procesów degradacji drewna. Zjawisko takie opisano w [1], zwracając uwagę na procesy starzeniowe i powolne ubytki przekrojów poprzecznych elementów drewnianych.



Rys. 1. Przykładowa zabudowa z murem pruskim na Górnym Śląsku

Fig. 1. Example of brick nogged timber wall building on Upper Silesia



Rys. 2. Detal ściany z muru pruskiego

Fig. 2. Detail-brick nogged timber wall

Odpowiednio dobrane ocieplenie nie powinno utrudniać migracji wilgoci z przegrody do wnętrza pomieszczeń (co ma miejsce w pierwotnej, historycznej budowie przegród, ze względu na małą grubość muru i brak powłok izolacyjnych). Wymagania dla ociepleń od wewnątrz ścian z muru pruskiego opisywano w literaturze, m.in. [2,3]. Zgodnie z [6] warstwa ocieplająca, wraz z wewnętrznym tynkiem lub okładziną i ewentualną paroizolacją powinna posiadać wartość S_d maksymalnie 2 m. Rozwiązanie powinno umożliwiać również migrację do wnętrza, wilgoci gromadzącej się w przegrodzie. W artykule przedstawione zostały wyniki symulacji obliczeniowych zmian zawartości wilgoci i temperatury w warstwach przegrody z muru pruskiego. Autorom zależało na pokazaniu tendencji zmian, w zależności od usytuowania ścian względem stron świata. Analizy transportu wilgoci w przegrodzie wykonano przy wykorzystaniu programu WUFI.

2. Opis badań

2.1 Przyjęte założenia

Badania symulacyjne wykonano dla przegrody z muru pruskiego – przegroda o grubości wypełnienia ceglanego 12cm, z pokryciem tynkiem wapienno-cementowym o grubości 2cm, słupy drewniane 14/14cm, wewnątrz pokryte tynkiem wapiennym, grubości 2cm, ocieplona od wewnątrz bloczkami z betonu komórkowego, gr. 6 cm.

Parametry materiałowe (tab. 1) przyjęto z danych bazy programu WUFI: dla cegły historycznej i drewna twardego. Odległość pomiędzy słupami określono na podstawie pomiarów inwentaryzacyjnych budynku usytuowanego w osiedlu Zandaka w Zabrze – jako 100cm.

Tab. 1. Dane materiałowe [6]

Tab. 1. Material data [6]

Lp.	Materiał	λ [W/mK]
1	Zaprawa wapienna drobna 1785 kg/m ³	0,7
2	Cegła pełna historyczna 1850 kg/m ³	0,60
3	Drewno twarde 650 kg/m ³	0,13
4	Zaprawa cementowo-wapienna grubsza 1910 kg/ m ³	0,80
5	Bloczki z betonu komórkowego 115 kg/m ³ , $\mu = 3$	0,042

Początkową zawartość wilgoci materiałów przyjęto jak dla stanu równowagi. Parametry klimatu wewnętrznego (tab. 2) określono jak dla pomieszczeń mieszkalnych. Założono warunki sinusoidalne (temperatura $t_i=20+/-2^\circ\text{C}$, wilgotność $\phi_i = 50+/- 10\%$). Określono warunki klimatu zewnętrznego dla obszaru Górnego Śląska (ze stacji meteorologicznej w Katowicach), w postaci tempera-

tur zewnętrznych, wilgotności powietrza, opadów atmosferycznych i nasłonecznienia. Dla ściany zachodniej uwzględniono dodatkowo wpływ zacinającego deszczu (zgodnie z najczęstszym kierunkiem wiatru dla rejonu Śląska). Przyjęto roczny okres symulacji higrotermicznych.

W symulacjach uwzględniono dwa usytuowania przegrody względem stron świata. Pod uwagę wzięto ścianę północną (z uwagi na małe nasłonecznienie oraz zachodnią (z uwagi na główny kierunek wiatru).

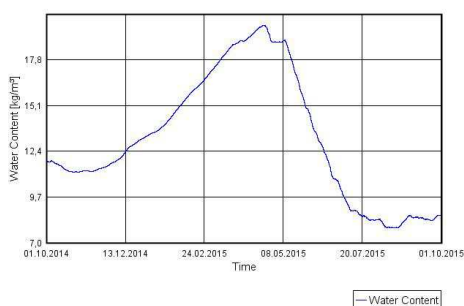
Tab. 2. Przyjęte warunki klimatu zewnętrznego

Tab. 2. Adopted external climate conditions

Nr	Klimat zewnętrzny	
1	Średnia temperatura powietrza zewnętrznego [°C]	8.1
2	Maksymalna temperatura powietrza zewnętrznego [°C]	30.4
3	Minimalna temperatura powietrza zewnętrznego [°C]	-16.0
4	Średnia wilgotność względna powietrza [%]	80
5	Maksymalna wilgotność względna powietrza [%]	100
6	Minimalna wilgotność względna powietrza [%]	29
7	Średnia prędkość wiatru [m/s]	4.36
8	Suma opadów [mm/a]	493

2.2. Wyniki obliczeń i ich analiza

Wyniki obliczeń wykonanych w programie WUFI przedstawiono w postaci graficznej. Określone zostały zmiany rozkładu temperatury wilgotności względnej [%] i zawartości wilgoci [kg/m³] (rys. 3÷12) w analizowanej przegrodzie budowlanej, w jej poszczególnych warstwach, po ociepleniu przegród od strony pomieszczeń.



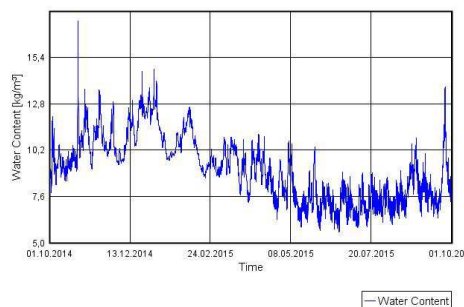
Rys. 3. Zawartość wilgoci w murze ceglanym, ściana północna

Fig. 3. Brick wall moisture amount, north wall



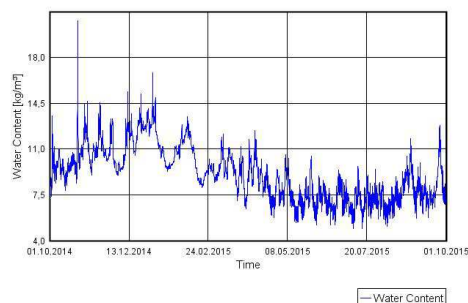
Rys. 4. Zawartość wilgoci w murze ceglanym, ściana zachodnia

Fig. 4. Brick wall moisture amount, west wall



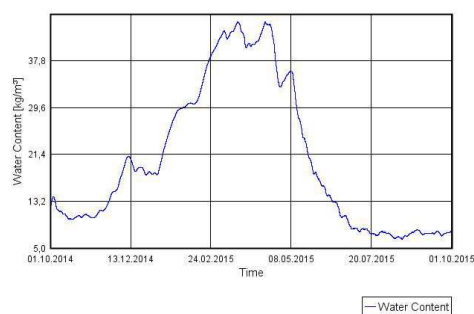
Rys. 5. Zawartość wilgoci w tynku zewnętrznym, ściana północna

Fig. 5. External plaster moisture amount, north wall



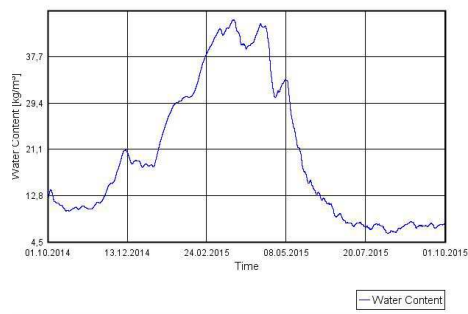
Rys. 6. Zawartość wilgoci w tynku zewnętrznym, ściana zachodnia

Fig. 6. External plaster moisture amount, west wall



Rys. 7. Zawartość wilgoci w tynku wewnętrznym, ściana północna

Fig. 7. Internal plaster moisture amount, north wall



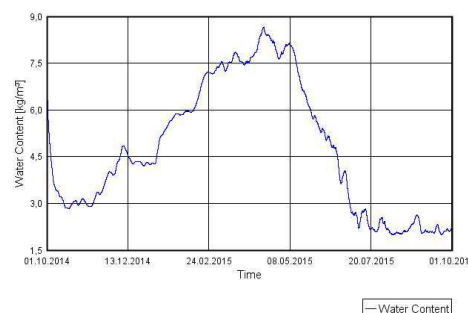
Rys. 8. Zawartość wilgoci w tynku wewnętrznym, ściana zachodnia

Fig. 8. Internal plaster moisture amount, west wall



Rys. 9. Zawartość wilgoci w bloczku betonowym, ściana północna

Fig. 9. Concrete block moisture amount, north wall



Rys. 10. Zawartość wilgoci w bloczku betonowym, ściana zachodnia

Fig. 10. Concrete block moisture amount, west wall

Dla rocznego okresu symulacji zaobserwować można tendencje zmian zawartości zawilgocenia warstw w poszczególnych miesiącach z przewidywanym kierunkiem migracji. W okresie jesiennym wpływ zewnętrznego klimatu uwiadcza się najmocniej w tynku zewnętrznym, w postaci przedstawionych na rys. 5 i 6, silnych i gwałtownych wahań wykresów. Dopiero od lutego zmniejsza się ich amplituda, ostatecznie ściana zachodnia, poddana silniej wpływom opadów atmosferycznych, wykazuje większą sprawność odsychania od ściany północnej. Jej usytuowanie sprawia, że poddawana zostaje nasłonecznieniu oraz większym wpływom wiatrów (główny kierunek wiatrów w tym rejonie). Część zawilgocenia migruje do środka przegrody. Poziom zawilgocenia muru wzrasta stopniowo, w zbliżonej postaci dla ściany północnej i zachodniej, aż do kwietnia, kiedy to następuje stopniowe ich odsychanie. Marzec i kwiecień to miesiące, w których zaobserwować można maksymalną zawartość wody w tynku wewnętrznym, podobną w obu przypadkach usytuowania ściany. Jednak w końcowej fazie okresu obliczeniowego poziom zawilgocenia w ścianie północnej jest nieznacznie wyższy niż w ścianie zachodniej. W warstwie ocieplenia wewnętrznego okres maksymalnego zawilgocenia przypada na miesiące od marca do maja, jednak jest on znacznie niższy niż w warstwie muru i tynku wewnętrznego. Mur ceglany zaczyna wyraźnie odsychać w maju, szczyt zawilgocenia izolacji wewnętrznej przypada na kwiecień, co może oznaczać, że na jego poziom w tym okresie ma wpływ migracja wilgoci z pomieszczeń. Ostateczne wartości określające zawartość wody w warstwie izolacji, po rocznym okresie symulacji dla obydwu usytuowań ścian, nie odbiegają znacznie od siebie. Nie dochodzi do niepokojącej kumulacji wilgoci wewnątrz przegrody ani na jej wewnętrznej powierzchni.

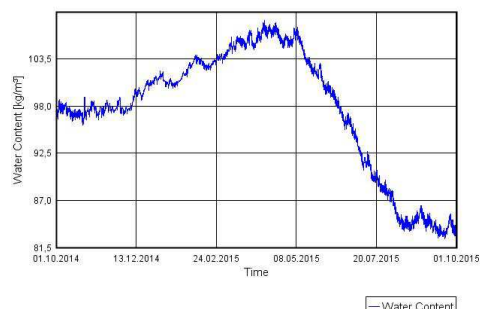
Z przedstawionych analiz wynika, że w przypadku cienkiej ściany z muru pruskiego, izolowanego od wewnątrz pomieszczeń materiałem izolacyjnym zapewniającym odpowiednią dyfuzyjność przegrody, większym zagrożeniem dla historycznego układu przegrody wydaje się być wpływ zmian higrotermicznych na drewno i miejsca połączeń słupków z materiałem ceramicznym. Choć poziom zawilgocenia drewna w okresie wczesnowiosennym (marzec-kwiecień) okresowo zwiększa się do poziomu ok. 107 kg/m^3 (16,5%, określanych w procentach wagowych w stosunku do suchej masy materiału), to jednak w kolejnych miesiącach wysycha do bezpiecznego poziomu ok. 83 kg/m^3 (ok. 13%). Niepokojący jednak wydaje się być wpływ odizolowania warstw zewnętrznych ściany od ciepłego wnętrza z powodu zastosowania wewnętrznej izolacji termicznej. Z rys. 13 i 14 wynika, że temperatura na powierzchni drewna, w styku z wewnętrznymi warstwami spada w okresie zimowym do kilku stopni poniżej zera. Największy wpływ warunków klimatu zewnętrznego zaobserwować można w miejscu styku drewna ze ścianą ceglana, w postaci występowania tam temperatur ujemnych ale także i wysokich dodatnich temperatur w okresie letnim. Rys. 13 obrazuje zmiany temperatur w zaznaczonych miejscach słupów drewnianych w jego wnętrzu i w miejscu połączenia z fragmentami ceglanymi. W pracy [4] autorzy

zwracali uwagę na występowanie znacznych różnic w gęstościach strumienia ciepła w miejscu połączeń tych materiałów i występowanie tam szczelin. Przeprowadzone symulacje stwarzają podstawę do przypuszczenia iż miejsca te należy brać pod szczególną uwagę, z punktu widzenia trwałościowego, projektując ocieplenie przegród po stronie pomieszczeń.



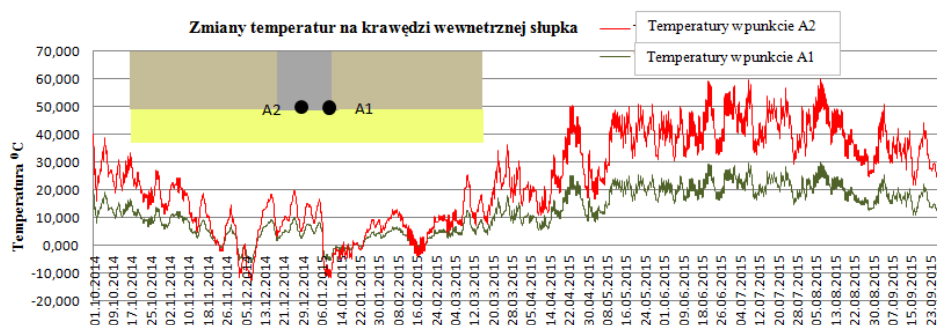
Rys. 11. Zawartość wilgoci w słupku drewnianym, ściana północna

Fig. 11. Timber column moisture amount, north wall



Rys. 12. Zawartość wody w słupku drewnianym, ściana zachodnia

Fig. 12. Timber column moisture amount, west wall



Rys. 13. Zmiany temperatur w zadanych punktach na krawędzi wewnętrznej słupka

Fig. 13. Column internal edge's temperature variations at the predetermined points

3. Wnioski końcowe

Projektowanie poprawy właściwości cieplnych budynków historycznych powinno być poprzedzone analizą w zakresie stanu istniejącego obiektu oraz szczegółową weryfikacją planowanych rozwiązań projektowych, w oparciu o dostępne narzędzia badawcze, zwłaszcza przy zastosowaniu izolacji termicznej od wewnątrz pomieszczeń. Analiza stanu istniejącego pozwala na ustalenie rozwiązań materiałowych oraz aktualnych właściwości termicznych i wilgotnościowych przegród.

Przeprowadzone symulacje obrazują tendencje zmian ciepłno wilgotnościowych w poszczególnych warstwach przegrody. W celu prognozowania procesów z zakresu przepływu ciepła i wilgoci oraz ich wpływu na trwałość historycznych, nietypowych dla środkowoeuropejskiego obszaru przegród z muru pruskiego niezbędnym wydaje się być określenie fizyko-mechanicznych danych materiałowych (jak porowatość, nasiąkliwość czy wytrzymałość). Wskazane jest także ustalenie rzeczywistych warunków klimatu wewnętrznego, zgodnego z aktualnym wykorzystaniem funkcjonalnym pomieszczeń, oraz przyjęcie dłuższego okresu obliczeniowego. W szczególności obserwacją należy ująć miejsca połączeń drewna z materiałem ceramicznym.

Literatura

- [1] Kozakiewicz P., Matejak M.: Klimat a drewno zabytkowe. Dawna i współczesna wiedza o drewnie, Warszawa, Wydawnictwo SGGW 2013.
- [2] Radoń J., Kuncel H., Olesiak J.: Problemy ciepłno-wilgotnościowe przy renowacji ścian budynków z muru pruskiego, Acta Scientiarum Polonorum, Architektura, Kraków 2006, s. 45-53.
- [3] Radoń J., Kuncel H.: Zalety stosowania paroizolacji wspierających proces wysychania. Warstwy dachy ściany, 4/2004, s. 98-103.
- [4] Szymanowska-Gwiżdż A., Steidl T.: Impact of building walls of historic objects from half-timbered wall in their state of thermal protection, Civil and Environmental Engineering Reports, 2016 nr 20 (1), s. 171-178.
- [5] WTA–Merkblatt 8-1-96-D. Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkfassaden.
- [6] WUFI – baza materiałowa programu komputerowego.

MOISTURE VARIATIONS OF HISTORICAL BUILDINGS DIVISION WALLS IN ADOPTED EXTERNAL CLIMATE CONDITIONS

Summary

Academic article contains brick nogged timber division wall's moisture conditions analysis, insulated from compartment side, elaborated on annual simulations prepared in WUFI software. Studies includes different division wall's site locations and adopted external local climate conditions. It was recorded in existing condition examination, regarding to moisture migration, atypical division wall construction and its consequences. Intense reaction areas for hygrothermic factors were indicated. In analyzed division wall there is no anxious continuous moisture accumulation in insulation layer and internal surface. As a analysis results, in thin brick nogged timber wall case, insulated from internal compartment side by material allowing coefficient layers diffusivity, there is a risk for historical division wall layer configuration caused by hygrothermical variation impact for wood and column with ceramic connection areas.

Keywords: brick nogged timber wall, internal insulation, moisture conditions, hygrothermal processes, historical buildings, division walls

DOI:10.7862/rb.2016.303

Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Wojciech TERLIKOWSKI¹
Martyna GREGORIOU-SZCZEPANIAK²
Ewa SOBCZYŃSKA³
Kacper WASILEWSKI⁴

DOKUMENTACJA SZCZEGÓŁOWA ZABYTKÓW STAROŻYTNYCH NA PRZYKŁADZIE OCENY STANU TECHNICZNEGO RZYMSKICH ZABUDOWAŃ W ALEKSANDRII

Artykuł ukazuje specyfikę oraz wymagania dotyczące szczegółowej dokumentacji badań starożytnych zabytków architektonicznych będących częścią stanowisk archeologicznych. Dokładna i usystematyzowana dokumentacja jest cennym źródłem informacji dla przyszłych badaczy danej budowli. Metody przygotowania dokumentacji rozwijały się na przestrzeni lat: od metody klasycznej - ręczne sporządzania rzutów, przekrojów oraz rysunków szczegółowych, przez wykorzystanie fotogrametrii, a obecnie skaningu laserowego. Zastosowanie tej ostatniej metody zostało przedstawione w poniższej pracy w oparciu o dokumentację rzymskich zabudowań w Aleksandrii. Konstrukcje te, to zespół korytarzy tworzących ortogonalną siatkę. Korytarze przekryte są sklepieniem beczkowym, które w miejscu ich krzyżowania tworzy sklepienie krzyżowe. Głównym materiałem konstrukcyjnym są ciosy wapienne. Stan zachowania konstrukcji jest zróżnicowany, niektóre fragmenty sklepień są zrujnowane, uszkodzone lub popękane. Diagnostyka tego typu konstrukcji wymaga wykonania dokładnej inwentaryzacji, do której wykorzystano skaningu laserowego. W początkowej fazie prac zajęto się analizą chmury punktów uzyskanej w wyniku skanowania obiektu z kilku stanowisk. Dane poddano obróbce w celu wydzielenia niezbędnych przekrojów i rzutów konstrukcji. Uzyskane obrazy posłużyły jako baza do odwzorowania pierwotnego kształtu konstrukcji korytarzowych, a szczególnie jej najbardziej uszkodzonej części sklepienia krzyżowego. Umożliwiły one również określenie grubości konstrukcji, jak również spoczywającej na niej warstwie drobnych kamieni na zaprawie, a ostatecznie wykonanie modelu numerycznego w programie Abaqus, który będzie podstawą do dalszej analizy.

Słowa kluczowe: archeologiczne zabytki architektoniczne, konstrukcje murowe, skaningu laserowy, sklepienia krzyżowe

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Wojciech Terlikowski, Politechnika Warszawska, Zespół Budownictwa Ogólnego i Zrównoważonego Rozwoju, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, tel. 602630513, w.terlikowski@il.pw.edu.pl

² Martyna Gregoriou-Szczepaniak, Politechnika Warszawska

³ Ewa Sobczyńska, Politechnika Warszawska

⁴ Kacper Wasilewski, Politechnika Warszawska

1. Wstęp

Jednym z podstawowych zagadnień związanych z konserwacją zabytków architektonicznych jest prawidłowa i kompletna dokumentacja obiektu. Szczególnie w przypadku obiektów starożytnych, które często wymagają prac odkrywkowych, istotnym jest zagadnienie standardów badań archeologicznych oraz dokumentacji wyników tych badań. Na podstawie poprawnie wykonanej dokumentacji możliwe jest przeprowadzenie identyfikacji materiałów i technologii wykonania konstrukcji, co jest podstawą do opracowania odpowiednich działań konserwatorskich [1]. Prace konserwatorskie przeprowadzane na obiektach, będących częścią wykopalisk archeologicznych najczęściej mają na celu przygotowanie konstrukcji do ekspozycji jako element parku archeologicznego w stanie trwałej ruiny, co dodatkowo wpływa na ich specyfikę [2][3].

2. Metody dokumentacji szczegółowej zabytków

W Polsce, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Kultury z dnia 9 czerwca 2004 r. *w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, restauratorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań architektonicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych* wraz załącznikami, wojewódzki konserwator zabytków w pozwoleniu na przeprowadzenie badań archeologicznych określa m.in. jaka dokumentacja musi zostać sporządzona w trakcie i po badaniach. Do najważniejszych elementów tej dokumentacji należą: plan sytuacyjno-wysokościowy zabytku archeologicznego, dokumentacja przebiegu badań, inwentaryzacja połowa zabytku, sprawozdanie z badań zgodne z ogólnopolską bazą danych o zabytkach archeologicznych (zawierające kartę stanowiska, kopię inwentarzy, mapę lokalizacji stanowiska w skali 1:10000, plan warstwiczny stanowiska w skali min 1:1000, rozplanowanie jednostek stratygraficznych w skali min 1:200, wykazy obiektów, charakterystykę faz zasiedlenia, dokumentację fotograficzną wybraną, wnioski i zalecenia konserwatorskie), opracowanie sposobu postępowania z zabytkiem po zakończeniu badań, a w przypadku zabytków ruchomych, miejsce jego przechowywania, opracowanie wyników badań (oprócz uzupełnionych o dodatkowe informacje map i materiałów występujących wcześniej w sprawozdaniu z badań, powinno zawierać wyniki ekspertyz przyrodniczych, fizykochemicznych i czasami historycznych, ilustracje – rysunki i fotografie oraz dane o stanowisku zarchiwizowane w ogólnopolskiej komputerowej bazie danych o zabytkach archeologicznych) a także bibliografię oraz zestawienie informacji o miejscu przechowywania dokumentacji poprzednich badań – jeżeli zabytek był już wcześniej badany [4][5].

W innych krajach np. Wielkiej Brytanii oraz Stanach Zjednoczonych wymagania dotyczące dokumentacji są zbliżone. Wymagane jest opracowanie planu badań oraz studium wcześniej przeprowadzonych prac, następnie szczegóło-

wej dokumentacji przebiegu badań – zarówno fotograficznej, rysunkowej jak i opisowej, a w rezultacie opracowanie wniosków dotyczących konserwacji, sposobu przechowywania lub prac, które należy podjąć w celu zabezpieczenia zabytku [6][7]. Dodatkowo wytyczne zarówno w Polsce jak i zagranicą, zwracają szczególną uwagę na archiwizację wyników badań. Opracowania powinny być przechowywane na trwałych nośnikach, w kilku kopiach (materialnych i elektronicznych), które umieszczone powinny być w różnych miejscach [5][6].

Przygotowanie dokumentacji zabytku, można realizować w różny sposób. Najstarszą i najbardziej klasyczną metodą jest założenie osnowy geodezyjnej i na podstawie pomiarów geodezyjnych rysowanie mapy sytuacyjnej, rzutów, przekrojów oraz rysunków szczegółowych.

Jeżeli badany obszar jest rozległy, należy podzielić go siatką pomiarową, a poszczególne działki pomiarowe ponumerować. Równocześnie z tworzeniem rzutu poziomego, powinno się prowadzić pomiary wysokościowe i rysować przekroje pionowe badanych elementów. Jeżeli jest taka możliwość niweletę należy założyć w oparciu o reper stały państwowej osnowy geodezyjnej.

Nowoczesne przyrządy pomiarowe umożliwiają cyfrowy zapis danych pomierzonych punktów i ich przetworzenie za pomocą oprogramowania komputerowego, mimo to metoda klasyczna jest pracochłonna i czasochłonna, także wrażliwa na błędy ludzkie i mało dokładna, dlatego w miarę rozwoju technologicznego opracowano metodę wykonywania dokumentacji zabytków za pomocą fotogrametrii.

Początkowo polegała ona na wykonywaniu zdjęć poziomych lub ukośnych za pomocą analogowych aparatów fotograficznych. Aby uzyskać szerokie pole obrazu używano drabin, balonów, a później także samolotów i helikopterów. Fotografie dawały obraz przebiegu badań, odwzorowywały dokładnie wygląd danego obszaru czy obiektu, ale ze względu na brak skali mogły być jedynie uzupełnieniem dokumentacji rysunkowej. Rozwój techniki cyfrowej pozwolił na skanowanie zdjęć wykonanych techniką analogową a następnie przetworzenie skanów już w środowisku cyfrowym na ortofotomapy.

Obecnie, dzięki zastosowaniu nowoczesnych aparatów cyfrowych, możliwe jest stworzenie pełnej inwentaryzacji obiektu za pomocą fotogrametrii. W przypadku obiektów przestrzennych, jakimi zwykle są budowle zabytkowe, należy posłużyć się fotogrametrią dwuobrazową. W tej metodzie podstawą do opracowania wyników są pary zdjęć pomiarowych, stereoskopowych. Przed wykonaniem tych zdjęć konieczne jest złożenie osnowy geodezyjnej i fotogrametrycznej składającej się z punktów o znanych, pomierzonych współrzędnych rzeczywistych, które znajdują się później na zdjęciach. Punkty te pozwalają na stworzenie w środowisku cyfrowym wektorowych planów, rzutów oraz przekrojów budowli o określonej skali.

Dostępne oprogramowanie, oprócz płaskich rysunków wektorowych, umożliwia również tworzenie modeli trójwymiarowych poprzez łączenie wykonanych zdjęć i ich obróbkę cyfrową.

Metoda fotogrametryczna jest szybsza i dokładniejsza od metody klasycznej. Pozwala na tworzenie cyfrowych obrazów wektorowych i rastrowych o dużej dokładności. Obrazy te w postaci map, rysunków lub barwnych modeli mogą być drukowane lub wykorzystywane do dalszych prac w środowisku komputerowym, co znacznie upraszcza sposób ich archiwizacji oraz stwarza szersze możliwości wykorzystania takiej dokumentacji niż w metodzie klasycznej [8] [9].

Obecnie coraz powszechniej wykorzystywany w diagnostyce konstrukcji, zwłaszcza zabytkowych jest naziemny skaning laserowy (TLS – Terrestrial Laser scanning). Zagadnienie to zostało opracowane w dostępnej literaturze m.in. [11], [12], [13], [14], [15], [16]. Jego działanie polega na pomiarze odległości oraz kąta pomiędzy urządzeniem a badanym obiektem, co pozwala na wyznaczenie zbioru współrzędnych X, Y, Z tworzących tzw. chmurę punktów. Reprezentują one powierzchnię skanowanego elementu, od którego odbija się wiązka promieniowania wysyłanego przez laser. Zwykle zachodzi konieczność, tak jak ma to miejsce w przypadku omawianych tu konstrukcji korytarzowych, wykonywania pomiaru z kilku stanowisk i następnie łączenia wykonywanych pomiarów. Daje to, tak jak w naszym przypadku zwiększoną dokładność pomiarów nawet do 1 mm. Specjalistyczne oprogramowanie wykorzystywane do przetwarzania chmury punktów pozwala na obróbkę wyników, wykonanie interesujących nas przekrojów a ostatecznie dokonania bezpośrednich pomiarów. Zastosowanie skaningu laserowego przedstawiono dokładnie w dalszej części artykułu [10].

3. Antyczne konstrukcje murowe w Aleksandrii w Egipcie

Szczegółowa dokumentacja konstrukcji zabytkowych ma bardzo duże znaczenie przy diagnozowaniu konstrukcji starożytnych, w których wszystkie badania należy wykonać „in situ”. Widać to bardzo wyraźnie na przykładzie badań prowadzonych w późno antycznych (z IV w. n.e.) budowlach podziemnych, znajdujących się na wykopaliskach na Kom-el-Dikka w Aleksandrii, w Egipcie. Długoletnie badania archeologiczne są prowadzone pod kierunkiem dr Grzegorza Majcherka z Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej Uniwersytetu Warszawskiego. Znajdują się tu ruiny zabudowań tworzących Uniwersytet Aleksandryjski, a także obiekty wcześniejsze. Przedmiotem badań diagnostycznych były, zachowane do dzisiaj, podziemne obiekty budowlane, będące zespołem podziemnych korytarzy, tworzących ortogonalną siatkę. Funkcja tych obiektów nie jest do końca jasna. Wykonane są one z ciosów wapiennych w kształcie kłińców, przekrytych sklepieniem beczkowym. W miejscach krzyżowania się korytarzy, sklepienie beczkowe przechodzi w sklepienie krzyżowe. Jest to układ wyjątkowy i oryginalny, niestosowany powszechnie w późnym antyku, niemający odniesienia do żadnych zachowanych konstrukcji. Stan techniczny tych konstrukcji oraz stopień zachowania jest zróżnicowany. Na dużym obszarze korytarze zostały zniszczone poprzez wybudowanie na nich, w późniejszym okresie, zabudowania łaźni rzymskiej. Fragmenty sklepień są zrujnowane, uszkodzone

i popękane. Widać wyraźne wyboczenia krzywizny łuków i miejscowe, nadmierne ugięcia. Diagnostyka tych konstrukcji, mająca na celu opracowanie programu ich zabezpieczenia, wzmocnienia i rekonstrukcji, wymagała bardzo dokładnej inwentaryzacji i analizy układu poszczególnych elementów murowych.

W pierwszej fazie wykonane zostały oględziny konstrukcji i badania makroskopowe, sporządzona została dokumentacja fotograficzna, uwzględniająca inwentaryzację największych uszkodzeń. Szerokość rys występujących w konstrukcji jest również bardzo zróżnicowana i waha się od kilku milimetrów do ponad jednego centymetra, w zależności od usytuowania. Miejscami konstrukcje są zniszczone mechanicznie, a także zdegradowane biologicznie, widoczne są wykwyty soli i destrukcja granularna elementów.

Przyczyną postępującej degradacji biologicznej konstrukcji jest zawilgoce nie, powodujące lokalnie silne wysolenia powierzchniowe i rozwarstwienia struktury kamieni. Ze względu na złożony kształt konstrukcji, w obszarach przenikania wzajemnie prostopadłych sklepień beczkowych, konieczna była dokładna analiza kształtu sklepienia, obszarów poszczególnych pól sklepiennych (tzw. wysklepków), ścian i elementów murowych. Zastosowano do tego skaniny laserowe 3d. Otrzymane wyniki, wraz z badaniami laboratoryjnymi określającymi parametry fizyczne i wytrzymałościowe elementów murowych i zaprawy, dają możliwość dokładnego przygotowania programu zabezpieczającego, konserwatorskiego i rekonstrukcji antycznych budowli podziemnych.

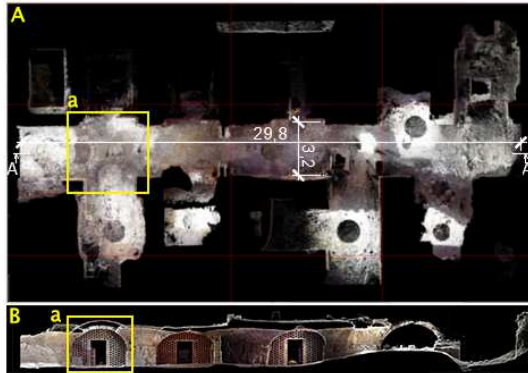
4. Diagnostyka laserowa konstrukcji korytarzowych w Aleksandrii w Egipcie

Na podstawie skaningu laserowego przeprowadzonych w czerwcu 2015 roku podjęto próbę odwzorowania pierwotnego kształtu konstrukcji korytarzowych. Częścią, która wzbudzała największe zainteresowanie było najbardziej zniszczone skrzyżowanie dwóch korytarzy - Rys. 1 fragment a oraz Rys. 2.

Na Rys. 2 wyraźnie widać uszkodzenie sklepienia krzyżowego w analizowanym segmencie. Ubytek fragmentu sklepienia obejmuje swoim zakresem także miejsca przenikania się sklepień łukowych. Może to stanowić zagrożenie dla stabilności układu.

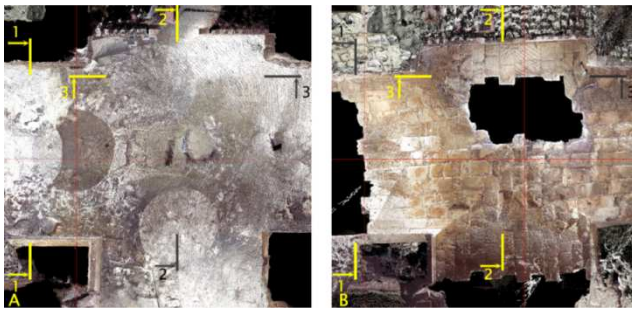
Jako odwzorowanie pierwotnej konstrukcji, na podstawie przekrojów otrzymanych ze skaningu laserowego możliwe było dopasowanie wycinka łuku kłowego o promieniu 1,65 m i strzałce 1,5 m (Rys. 3). Jak widać na przekrojach ten kształt sklepień jest zgodny z prawdopodobnym kształtem pierwotnym, natomiast wyraźnie widać odkształcenia sklepienia korytarza głównego o wartości od 0,2 m do 0,4 m. Może to świadczyć o prawdopodobnym przeciążeniu sklepienia, które mogło mieć miejsce w historii obiektu. Zdecydowanie większe odkształcenie krawędzi otworu jest prawdopodobnie skutkiem zarwania się sklepienia, przez co istniejąca część straciła podparcie.

Na podstawie przekroju z Rys. 3A można także ustalić grubości poszczególnych warstw sklepienia. Główna część konstrukcyjna wykonana z bloków



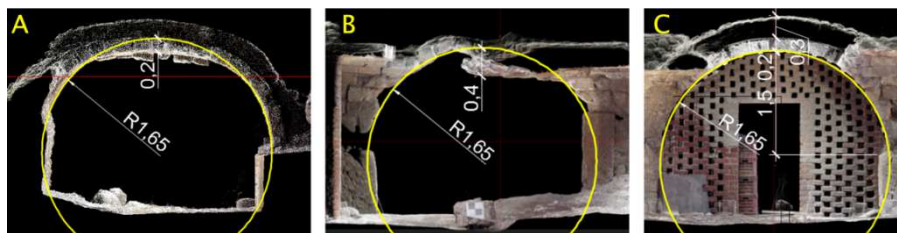
Rys. 1. Obrazy ze skaningu laserowego: rzut (A) i przekrój podłużny A-A (B) konstrukcji korytarzowych w Aleksandrii; a – analizowany segment

Fig. 1. Laser scanning images: horizontal projection (A) and longitudinal section A-A (B) of corridor structures in Alexandria; a – analysed segment



Rys. 2. Obrazy ze skaningu laserowego: rzut (A) i widok od dołu na sklepienie (B) analizowanego fragmentu oznaczonego na Rys. 1 wraz z oznaczonymi przekrojami

Fig. 2. Laser scanning images: horizontal projection (A) and view of the vaults from below (B) of the analysed segment marked on Fig. 1 with specified cross-sections



Rys. 3. Obrazy ze skaningu laserowego: przekrój 1-1 (A), przekrój 2-2 (B); przekrój 3-3 (C) zgodnie z oznaczeniami z Rys. 2

Fig. 3. Laser scanning images: cross-section 1-1 (A); cross-section 2-2 (B); cross-section 3-3 (C) based on marking from Fig. 2

kamiennych ma grubość ok. 0,2 m, natomiast warstwa zewnętrzna z drobniejszych kamieni na zaprawie ma grubość ok. 0,3 m.

Wykorzystując powyższe pomiary i założenia możliwe było stworzenie numerycznego modelu w celu przeprowadzenia analizy MES z wykorzystaniem programu Abaqus. Tego typu analiza może być wykorzystana między innymi do potwierdzenia hipotezy o nadmiernych odkształceniach sklepienia w wyniku jego przeciążenia. Jednak w celu zapewnienia wiarygodności wyników konieczne jest przeprowadzenie badań materiałowych umożliwiających ustalenie właściwości wytrzymałościowych muru, a w szczególności ich charakter w zakresie nieliniowym analizy.

5. Wnioski

Diagnostyka starożytnych obiektów zabytkowych wymaga dokładnej inwentaryzacji konstrukcji wraz z identyfikacją ustroju nośnego. Szczególnie istotne jest stworzenie dokładnej inwentaryzacji rys, uszkodzeń i odkształceń elementów tworzących ustrój nośny. Specyfiką obiektów starożytnych, będących częścią wykopalisk archeologicznych, jest okresowy dostęp i możliwość prowadzenia badań i pomiarów, co utrudnia to weryfikować wyniki wcześniej pozyskanych pomiarów i badań. W tego typu przypadkach konieczne jest wykonanie dokumentacji, która będzie możliwa do zweryfikowania bez dostępu do badanego obiektu. Wyjątkowo przydatnym narzędziem do tego typu zadań staje się, coraz częściej, skaning laserowy, który umożliwia szczegółową analizę kształtu badanych obiektów budowlanych oraz pomiary odkształceń i uszkodzeń sprzed ekranu monitora. Wyniki skaningu laserowego dają również podstawę do szybkiego i bardzo dokładnego sporządzenia modeli numerycznych, które mogą być podstawą dalszych analiz statyczno-wytrzymałościowych.

Literatura

- [1] Terlikowski, W. R.: Aspekty techniczne i inżynierskie konserwacji starożytnych konstrukcji murowych jako trwałej ruiny. *Materiały Budowlane*, (11), 2013, s. 116-118.
- [2] Terlikowski, W. R.: Identyfikacja materiałów i technologii wykonania historycznych konstrukcji murowych w procesie ich konserwacji i rehabilitacji. *Materiały Budowlane*, (11), 2015, s. 166-169.
- [3] Terlikowski, W. R., Wasilewski, K.: Ekspozycja zabytkowych obiektów architektury antycznej na podstawie własnych przykładów. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA, t. XXXII, z. 62 (2/15), 2014, s. 533-544, DOI:10.7862/rb.2015.82.
- [4] Dz.U. 2004 nr 150 poz. 1579 Rozporządzenie Ministra Kultury z dnia 9 czerwca 2004 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, restauratorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich i architektonicznych, a także innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków oraz badań architektonicznych i poszukiwań ukrytych lub porzuconych zabytków ruchomych.

- [5] Krajowy Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków, Standardy metodyczne i dokumentacyjne badań archeologicznych i opracowań ich wyników 2006.
- [6] The Chartered Institute for Archaeologists is incorporated by Royal Charter, Standard and guidance for the collection, documentation, conservation and research of archaeological materials 2014.
- [7] Idaho State Historic Preservation Office and Archaeological Survey of Idaho, Guidelines for documenting archaeological and historical surveys.
- [8] Boroń A., Rzonca A., Wróbel A.: Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków. Roczniki Geomatyki 2007, Tom V, Zeszyt 8.
- [9] Boroń A., Borowiec M., Wróbel A.: Rozwój cyfrowej technologii inwentaryzacji obiektów zabytkowych na przykładzie doświadczeń zakładu fotogrametrii i informatyki teledetekcyjnej AGH. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 19, 2009.
- [10] <https://www.igipz.pan.pl/zsigik-projekty-tls-wprowadzenie.html> {dostęp 02.05.2016}.
- [11] Kościuk J.: 3D scanning and modeling of the upper terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari as an example of architectural heritage documentation for restoration purposes (Skanowanie i modelowanie 3d górnego tarasu świątyni Hatshepsut w Deir el-Bahari jako przykład dokumentacji dla celów konserwatorskich). Wiadomości Konserwatorskie 26, 2009, s. 705-17.
- [12] Brykowska M., Metody pomiarów i badań zabytków architektury. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [13] Pesci A., Bonali E., Galli C., Boschi E.: Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case (Bologna, Italy). Journal of Cultural Heritage 13, 2012, s. 215-220.
- [14] Murphy M., McGovern E., Olwill R., Pavia S.: Identification of historic methods of construction using digital photogrammetry and laser scanning, in: S. Dequal (Ed.), Proceedings of CIPA, XX Symposium, Torino, Italy, September 26-01 October, 2005.
- [15] Gołębniak A.: Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich, Wiadomości Konserwatorskie - Journal of Heritage Conservation, 2014, Nr 40, s: 83-93.
- [16] Gładki M., Czajkowski K., Gołębniak A., Kadłuczka A., Morysiński T., Rulewicz J.: Zastosowane cyfrowych technik dokumentacyjnych przy badaniu zespołów zabytkowych jako proces interdyscyplinarny - zintegrowana dokumentacja, cele, możliwości, praktyka, [w:] Kongres Konserwatorów Zabytków, red. J. Jasieńko, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa, s. 91-99.

DETAILED DOCUMENTATION OF ANCIENT MONUMENTS: CASE STUDY OF ROMAN STRUCTURES IN ALEXANDRIA

S u m m a r y

The article shows the specificity and requirements for detailed documentation of researches on ancient architectural monuments that are part of the archaeological sites. Detailed and systematized documentation is a valuable source of information for future researchers of this structure.

Methods of preparation of documentation developed over the years: from the classical method - manual preparation of plans, sections and detailed drawings, through the use of photogrammetry and now laser scanning. The use of the last method is presented in this paper basing on the documentation of Roman buildings in Alexandria. These structures are corridors creating an orthogonal grid. The corridors are covered with barrel vaults, which at the point of crossing creates a cross vault. The main construction material are limestone blocks. The condition of the structure is diversified, some parts of the vaults are ruined, damaged or cracked. Diagnosis of this type of structure requires a thorough inventory, in which laser scanning was used. In the initial phase of work the analysis of the cloud of points obtained by scanning the object from several positions was carried out. The data were processed to isolate the necessary sections and plans of structure. The resulting images were used as the basis for mapping the original shape of corridors, and especially its most damaged part of the cross vault. It has also allowed to determine the thickness of the structure, as well the layer of tiny stones laying on it, and finally performing numerical model in Abaqus, which will be the basis for further analysis.

Keywords: archaeological architectural monuments, masonry structures, laser scanning, groin vaults

DOI:10.7862/rb.2016.304

Przesłano do redakcji: 08.12.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Ewa SOBCZYŃSKA¹
Kacper WASILEWSKI²
Martyna GREGORIOU-SZCZEPANIAK³

PROBLEMATYKA MODELOWANIA KONSTRUKCJI MUROWYCH NA PRZYKŁADZIE KAMIENICY PRZY ULICY SZAREJ W WARSZAWIE

W poniższej pracy zwrócono uwagę na szczególne znaczenie analizy konstrukcji w działaniach rewitalizacyjnych dotyczących obiektów zabytkowych będącej jednym z najważniejszych aspektów zrównoważonego budownictwa w dzisiejszych czasach. Zaprezentowano różne strategie wykorzystywane w analizie konstrukcji murowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES) – mikro i makro-modelowanie oraz stosowane metody homogenizacji stosowane dla kompozytów, do których zaliczamy mury. W celu zaprezentowania specyfiki analizy konstrukcji murowych stworzono makro-model nadproża murowego będącym fragmentem wielorodzinnego budynku mieszkalnego zlokalizowanego przy ul. Szarej 10 w Warszawie. Wartości parametrów mechanicznych materiału przyjętego do analizy numerycznej (moduł Younga oraz współczynnik Poissona) zostały ustalone z wykorzystaniem wybranych metod homogenizacji murów- Mieczysława Kuczmy i Krystyny Wybranowskiej oraz J. Lopeza, S. Ollera, E. Onate i J. Lubliner. Stosując powyższe założenia stworzono model fragmentu analizowanej ściany zawierającej analizowane nadproże i przeprowadzono analizę z wykorzystaniem programu ABAQUS, której wyniki zostały przedstawione w postaci map naprężeń oraz odkształceń plastycznych analizowanego fragmentu oraz porównania rzeczywistego zarysowania istniejącej konstrukcji z zarysowaniem otrzymanym w analizie numerycznej. W końcowych wnioskach sformułowano i omówiono specyfikę modelowania konstrukcji murowych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na problemy jemu towarzyszące. Przede wszystkim skoncentrowano się na licznych niewiadomych towarzyszących od początku tworzenia modelu, które wymagają poczynienia licznych założeń i przybliżeń oraz na konieczności ostrożnego podejścia do otrzymanych wyników.

Słowa kluczowe: konstrukcje murowe, modelowanie numeryczne, homogenizacja, zarysowanie

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Ewa Sobczyńska, Politechnika Warszawska, Zespół Budownictwa Ogólnego i Zrównoważonego Rozwoju, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa; tel. 694074563; esob@il.pw.edu.pl

² Kacper Wasilewski, Politechnika Warszawska

³ Martyna Gregoriou-Szczepaniak, Politechnika Warszawska

1. Wstęp

Działania mające na celu modernizację, adaptację lub naprawę istniejących obiektów budowlanych należą obecnie do grona najważniejszych zadań realizowanych w ramach zagadnień związanych ze zrównoważonym rozwojem w budownictwie. W szczególności dotyczy to obiektów, także zabytkowych, znajdujących się na obszarach kryzysowych, będących przedmiotem programów rewitalizacji [1]. Spośród wielu działań rewitalizacyjnych dotyczących budynków istotny element stanowi rehabilitacja ich konstrukcji. W przypadku istniejących budynków, zwłaszcza zabytkowych mamy zwykle do czynienia z technologią tradycyjną – murowaną, w której ściany wykonane są z cegły ceramicznej na zaprawie wapiennej, wapienno-cementowej lub cementowej. W celu prawidłowego przeprowadzenia rehabilitacji konstrukcji murowych należy zawsze poprzedzić ją właściwą diagnostyką, w wyniku której określony zostanie stan techniczny konstrukcji, a także przyczyny zaistniałych uszkodzeń [2][3]. W tym celu bardzo często wykorzystywane jest obecnie narzędzie modelowania numerycznego.

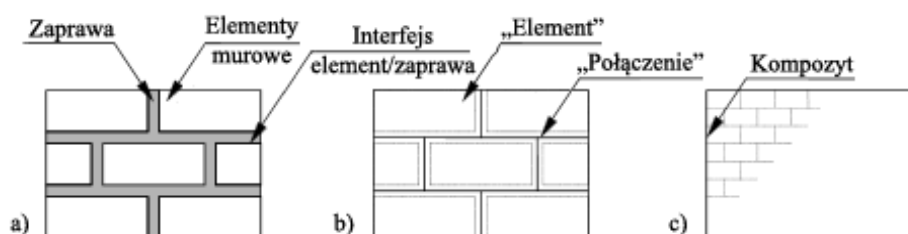
2. Modelowanie numeryczne konstrukcji murowych

Mur jako materiał złożony z elementu murowego oraz zaprawy należy do materiałów kompozytowych, którego właściwości ściśle zależą od właściwości i współpracy tych dwóch składników.

W modelowaniu numerycznym konstrukcji murowych za pomocą Metody Elementów Skończonych (MES) można wyróżnić dwa generalne podejścia - jedno zorientowane na oddzielnym modelowaniu poszczególnych składników muru oraz drugie, w którym mur modeluje się jako kompozyt [5][6]. W pierwszej metodzie, nazywanej mikro-modelowaniem lub modelowaniem heterogenicznym, można zastosować dwa stopnie szczegółowości. W szczegółowym mikro-modelu (Rys. 1a) należy ustalić moduł Younga, współczynnik Poissona i ewentualne charakterystyki nieliniowe oddzielnie dla elementów murowych oraz zaprawy. Ponadto należy zamodelować powierzchnię styku (interfejs), która będzie reprezentowała zjawiska zachodzące pomiędzy materiałami. W uproszczonym mikro-modelu (Rys. 1b) połączenia pomiędzy elementami i zaprawą oraz zaprawa sprowadzone są do pojedynczego interfejsu, a elementy murowe powiększone w taki sposób aby geometria konstrukcji pozostała niezmieniona. Tego typu rozwiązanie w znaczny sposób upraszcza i przyspiesza obliczenia jednak odbywa się to kosztem szczegółowości analizy. W drugiej metodzie (Rys. 1c), nazywanej makro-modelowaniem lub homogenicznym modelowaniem fenomenologicznym [5], materiał sprowadzony jest do homogenicznego materiału anizotropowego, nie uwzględniając podziału na składniki, zaprawę i elementy murowe. Właściwości mechaniczne w tej metodzie mogą być ustalone doświadczalnie, przez badanie całej konstrukcji murowej, lub za pomocą homogenizacji na podstawie właściwości mechanicznych elementów murowych i zaprawy oraz układu elementów w murze.

Każda z wymienionych powyżej metod modelowania jest odpowiednia do innego zastosowania. Wraz ze wzrostem szczegółowości modelu wzrasta dokładność obliczeń, co przekłada się bezpośrednio na czas trwania obliczeń oraz na konieczność ustalenia dodatkowych parametrów materiałowych. Mikro-modelowanie może być wykorzystywane do szczegółowej analizy lokalnych zachowań elementów murowych w niedużych fragmentach konstrukcji, natomiast makro-modelowanie wykorzystywane jest do zadań inżynierskich, na przykład gdy przeprowadza się analizę całego budynku.

W dalszej części pracy przedstawiono homogeniczny makromodel fragmentu istniejącego budynku murowanego.



Rys. 1. Sposoby modelowania konstrukcji murowych: a) szczegółowy mikro-model, b) uproszczony mikro-model i c) makro-model, na podstawie [4]

Fig. 1. Methods of modeling of masonry structures: a) detailed micro-model, b) simplified micro-model and c) macro-model, based on [4]

3. Przedstawienie obiektu i analizowanego obszaru

Analizowany obiekt to wielorodzinny budynek mieszkalny zlokalizowany przy ul. Szarej 10 w Warszawie. Budynek został zbudowany ok. 1908-1911, należał do Starokatolickiego Kościoła Mariawitów i stanowił część kompleksu ze stojącym w pobliżu kościołem pod wezwaniem Przenajświętszego Sakramentu. Pełnił funkcję mieszkalną dla członków parafii i mieścił szkołę elementarną.

Pierwotnie, przed wojną budynek, posiadał dwa skrzydła prostopadłe do ulicy Szarej, z których do dzisiaj zachowało się tylko jedno- prostopadłe do ulicy Szarej. Do wzniesienia budynku wykorzystano technologię tradycyjną - mury z cegły ceramicznej pełnej o wymiarach $27 \times 13 \times 6,5$ cm na zaprawie wapiennej. Budynek jest podpiwniczony, ma pięć kondygnacji nadziemnych o wysokości ok. 3,6 m oraz poddasze użytkowe. Ustrój nośny budynku stanowią ściany podłużne.

W dalszej części pracy przedstawiono analizę numeryczną zewnętrznej, południowo-zachodniej ściany budynku (Rys. 2). Ściana ma grubość 77 cm z licznymi wnękami [10].

3.1. Właściwości mechaniczne

W celu ustalenia właściwości mechanicznych materiału przyjętego do analizy numerycznej zastosowano dwa modele homogenizacji: Mieczysława Kuczmy i Krystyny Wybranowskiej oraz J. Lopeza, S. Ollera, E. Onate i J. Lublinera [8][9]. Trudność napotkano jednak w ustaleniu parametrów mechanicznych cegieł i zaprawy z których wykonano analizowany mur. Przyjęto cegły klasy 15. Na podstawie dostępnej literatury [6] określono, że wartości modułu sprężystości cegieł mieszczą się w granicach od 7500 do 15000 [MPa], a w przypadku analizowanych cegieł, biorąc pod uwagę ich średnią wytrzymałość, przyjęto wartość 9000 [MPa] oraz założono izotropową strukturę cegieł. Wartość modułu Younga zaprawy na podstawie literatury [7] założono w granicach 400 do 800 [MPa]. Wartości przyjętych modułów sprężystości i współczynników Poissona zaprezentowano w Tab. 1.

Tabela 1. Przyjęte wartości modułu Younga i współczynnika Poissona

Table 1. The values of Young's modulus and Poisson's ratio

Charakterystyka		Zaprawa	Cegła
Moduł Younga	Kierunek X	$E_{xM}=800$ MPa	$E_{xL} = E_{xL} = 9000$ MPa
	Kierunek Y	$E_{yM} = 800$ MPa	$E_{yL} = E_{yL} = 9000$ MPa
Współczynnik Poissona		$\nu_L=0,167$	$\nu_{M2}=0,167$

Na podstawie przyjętych powyżej parametrów oraz metody Mieczysława Kuczmy i Krystyny Wybranowskiej [8] określono wartości zhomogenizowanych parametrów mechanicznych modelowanego ośrodka murowego. Uzyskane wartości zaprezentowano w Tab. 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników uzyskanych z przeprowadzonej analizy

Table 2. Summary results obtained from the analysis

$\nu_x = \nu_y$	0,167
E_x	6050 [MPa]
E_y	4100 [MPa]
G_{xy}	2600 [MPa]

Warto porównać uzyskane wielkości z wartościami wyliczonymi z modelu J. Lopeza, S. Ollera, E. Onate i J. Lublinera. Według tego modelu [9] moduł sprężystości podłużnej w kierunku X wynosi $E_{xG}=5790,95$ [MPa], a moduł sprężystości w kierunku Y $E_{yG}=3827,93$ [MPa]. Wielkości te są zbliżone do uzyskanych z pierwszego modelu (błąd nie przekracza 4,5%). Wartości wykorzystane do wykonania modelu i analizy numerycznej przedstawiono w Tab. 3.

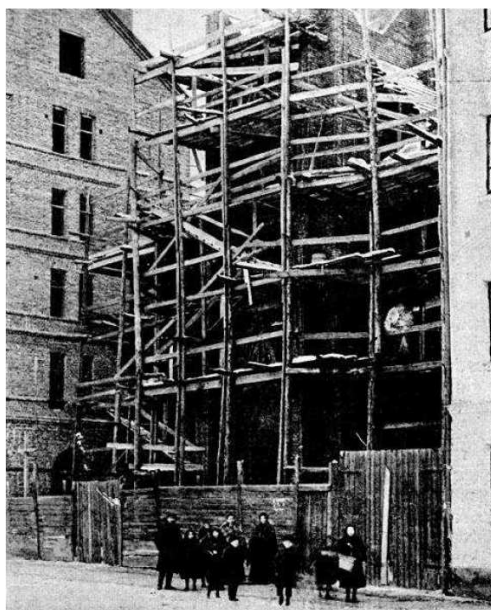
Tabela 3. Parametry przyjęte do modelowania
Table 3. The parameters adopted for modeling

E	5075 [MPa]
ν	0,167

3.2. Prezentacja modelu i wyników

Model fragmentu elewacji południowo-zachodniej (Rys. 4) budynku oznaczono na Rys. 3. W modelu uwzględniono także zamurwane obecnie fragmenty uszkodzonej ściany murowej aby zaprezentować ich ewentualny wpływ na kształt powstałych zarysowań.

Do modelowania wykorzystano dostępny w programie ABAQUS model materiału Concrete z zaimplementowanym mechanizmem opisu spękań wg rys rozmytych (ang. *smearred cracks*) dla materiałów kruchych. Ponadto pozwala on na opis zachowania materiału w sposób nieliniowy, co jest istotne w przypadku modelowania konstrukcji murowych. Ograniczenie stanowi brak możliwości opisu jego ortotropii.



Rys. 2. Budynek przy ul. Szarej 10 w Warszawie w trakcie budowy (r.1911) [10]

Fig. 2. Building at Szara Street 10 in Warsaw under construction (1911) [10]

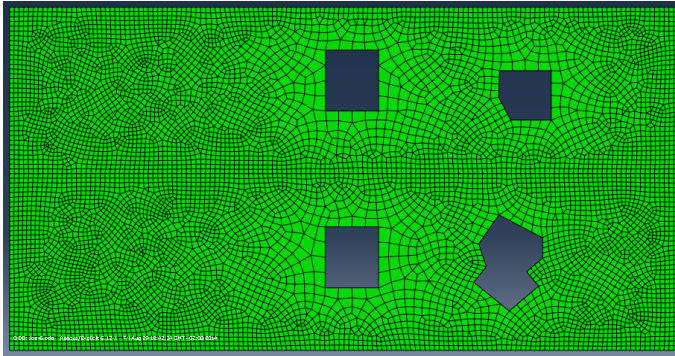


Rys. 3. Elewacja południowo-zachodnia z zaznaczonym modelowanym fragmentem ściany i nadprożem

Fig. 3. South-western elevation with selected part of the wall and lintel

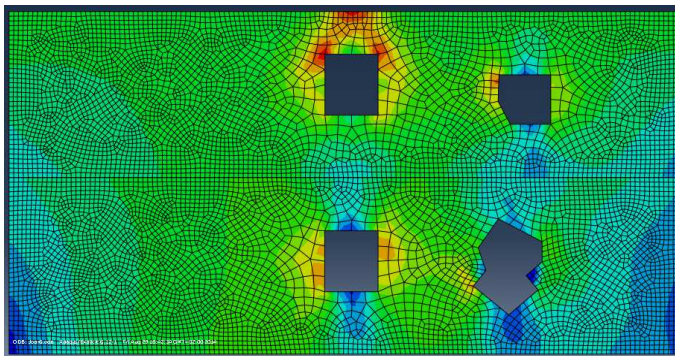
Gdy dominującym stanem naprężeń jest ściskanie, zachowanie muru opisano jako sprężysto-plastyczne, a jego charakterystyki zdefiniowane są za pomocą dwóch parametrów: współczynnika sprężystości podłużnej E oraz współczynnika Poissona ν (Tab. 3).

Ścianę zamocowano odbierając jej przesuw i obrót na dole modelowanego fragmentu. Obciążono ją w poziomie stropów (wartość obciążenia obliczono na 150kN/m) oraz zadano obciążenie ciężarem własnym. Na Rys. 5 przedstawiono rozkład naprężeń dla modelowanego fragmentu. W celu określenia czy w danym modelu powstają zarysowania należy przedstawić mapy rozkładu głównych odkształceń plastycznych. Rozciągające odkształcenia plastyczne należy interpretować jak miejsca pojawienia się zarysowania (Rys. 6).



Rys. 4. Model fragmentu elewacji

Fig. 4. Model of the part of the elevation

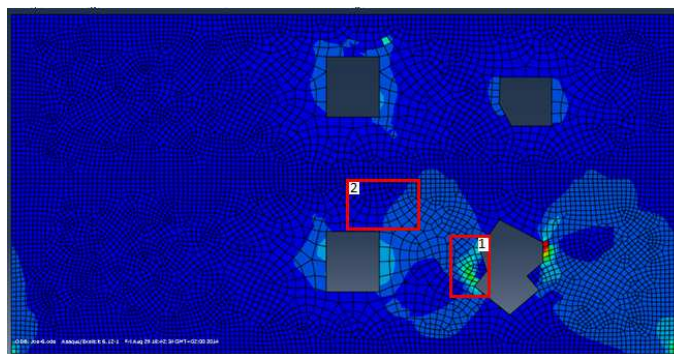


Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych Misesa

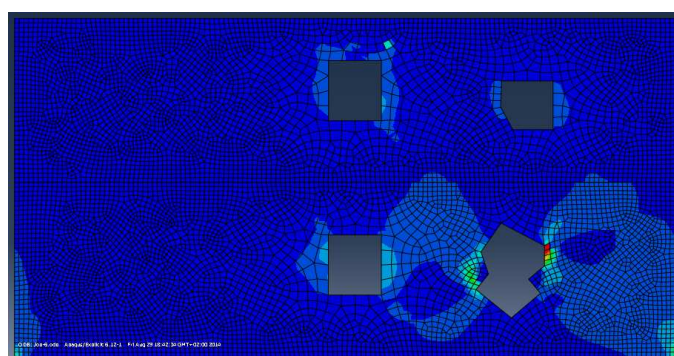
Fig. 5. Reduced Mises stresses distribution

3.3. Interpretacja wyników analizy numerycznej

Analizując mapę głównych odkształceń plastycznych (Rys. 6) możemy zauważyć, że miejsca pojawienia się zarysowania to na pewno obszary w pobliżu najbardziej nieregularnego otworu co zgadza się z zarysowaniami zaobserwowanymi na budynku (obszar 1, Rys. 7). Ponadto widoczne są obszary o nieco mniejszych ale istniejących odkształceniach plastycznych zlokalizowane pomiędzy otworami na niższej z zamodelowanych kondygnacji (obszar 2, Rys. 7). Granica tego obszaru pokrywa się z rysą w nadprożu. Możliwym jest więc, że zarysowanie te powstało w wyniku działania obciążeń statycznych. Z uwagi na fakt, że w modelu numerycznym nie otrzymano wszystkich istniejących na analizowanej ścianie zarysowań, przyjęc można przypuszczać, że istnieje inna przyczyna ich powstania, którą mogły być na przykład wybuchy albo pożar kościoła w pobliżu budynku.



Rys. 6. Mapy głównych odkształceń plastycznych dla materiału Concrete
Fig. 6. Maps of the main plastic deformation for the Concrete material



Rys. 7. Obszary zarysowań na analizowanym fragmencie ściany
Fig. 7. Areas of scratches on the analyzed part of the wall

4. Wnioski

Modelowanie numeryczne konstrukcji murowych jest tematem złożonym, skomplikowanym i w wielu przypadkach trudnym do zweryfikowania. Najistotniejszą kwestią jest szereg niewiadomych dotyczących istniejących konstrukcji, które wymuszają liczne przybliżenia. W wielu przypadkach, zwłaszcza gdy mamy do czynienia z obiektami zabytkowymi, niemożliwe jest pobranie próbek materiału z konstrukcji w celu określenia parametrów mechanicznych, czy nawet dokonanie szczegółowych badań morfologicznych. Wymusza to szacowanie wartości w oparciu o dostępną literaturę oraz o wiedzę dotyczącą technologii wykonywania konstrukcji, co w znacznym stopniu wpływa na wyniki analizy. Dotyczy to nie tylko wartości właściwości mechanicznych, ale również struktury muru oraz przyjętych warunków brzegowych modelu.

Kolejnym aspektem, który ma znaczący wpływ na modelowanie i wyniki analizy jest historia i aktualny stan konstrukcji. Zarówno elementy murowe jak i zaprawa są materiałami o właściwościach zmieniających się w czasie, często spotykane są ich ubytki lub skruszenie co wpływa na ich parametry fizyczne i wytrzymałościowe. Bardzo skomplikowanym zagadnieniem jest uwzględnienie w modelu numerycznym wpływu na konstrukcję oddziaływań wyjątkowych, takich jak pożary czy wybuchy w bezpośrednim sąsiedztwie.

Wybór odpowiedniej strategii przy analizie za pomocą MES jest także istotnym czynnikiem wpływającym na dokładność wyników. Najdokładniejsze wyniki uzyskać można przez zastosowanie szczegółowego mikro-modelu, jednak tego typu podejście wymaga nie tylko szczegółowych badań w celu ustalenia licznych właściwości mechanicznych materiału, ale także bardzo dużej mocy obliczeniowej w celu przeprowadzenia obliczeń. W związku z tym przy analizie większych modeli, takich jak duże fragmenty lub całe obiekty budowlane wykorzystuje się makro-modelowanie, co nie pozostaje bez wpływu na szczegółowość wyników.

Modelowanie konstrukcji murowych jest dziedziną wciąż rozwijającą się, jednak liczne modele i badania muszą zostać jeszcze wykonane aby wyniki były jak najbardziej zbliżone do rzeczywistości.

Literatura

- [1] Terlikowski W.: Rewitalizacja budynków użyteczności publicznej zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, Miesięcznik Materiały Budowlane 5'2013 (nr 489), Warszawa 2013.
- [2] Terlikowski W.: Rola badań w procesie rewitalizacji budynków zabytkowych, Miesięcznik Materiały Budowlane 8' 2013 (nr 492), Warszawa 2013.
- [3] Terlikowski W.: Diagnozowanie konstrukcji budynków zabytkowych pod kątem ich adaptacji do współczesnych wymagań konstrukcyjno-użytkowych i zmiany funkcji, Czasopismo Materiały Budowlane 9' 2013, Warszawa 2013.

- [4] Lourenço P.: Recent Advances In Masonry Modelling: Micromodelling And Homogenisation, 14th International Brick and Block Masonry Conference, Australia, 2008.
- [5] Jemioło S., Małyszko L.: MES i modelowanie konstytutywne w analizie zniszczenia konstrukcji murowych T.1., Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2013.
- [6] Małyszko L., Orłowicz R.: Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy, Wydawnictwo UWM, Olsztyn 2000.
- [7] Sieczkowski J., Szkołomicki J.: Określanie wytrzymałości złożonych konstrukcji murowych, Konferencja Naukowo-Techniczna. Konserwacje, wzmacnianie i modernizacja budowlanych obiektów historycznych i współczesnych, Kielce 2001.
- [8] Kuczma M., Wybranowska K.: Numerical homogenization of elastic brick masonry, Civil and Environmental Engineering Reports T.1, 2005, s. 135-152.
- [9] Lopez J., Oller S., Onate E., Lubiner J.: A homogeneous constitutive model for masonry, Numerical Methods in Engineering, 1999.
- [10] Bukowski M., Kalinowski M., Terlikowski W.: Ekspertyza techniczna stanu technicznego budynku mieszkalnego wielorodzinnego przy ul. Szarej 10 w Warszawie.

ISSUES OF MODELING OF MASONRY STRUCTURES: CASE STUDY OF TENEMENT HOUSE AT SZARA STREET IN WARSAW

Summary

This paper highlights the particular importance of structural analysis in the revitalization of historical buildings, which is one of the most important aspects of sustainable development of buildings. Different strategies in the analysis of masonry structures using finite element method (FEM) were presented - micro and macro-modelling together with homogenization methods used for composites such as masonry. In order to show the issues of the analysis of masonry structures authors present a macro-model of masonry lintel which is a part of a multi-family dwelling building at Szara street in Warsaw. The values of mechanical parameters of material adopted for numerical analysis (Young's modulus and Poisson's ratio) were determined using the selected methods of homogenization of masonry - Mieczysław Kuchma and Krystyna Wybranowska and J. Lopez, S. Oller, J. and E. Onate Lubliner. Using those assumptions, the model of the analyzed part of the wall containing the lintel was developed. The analysis were performed using the ABAQUS program and the results were presented as maps of stresses and plastic deformation of the analyzed part as well as correlation studies of existing cracks with those received in numerical analysis. In the final conclusions issues of masonry structures modelling were formulated and discussed. Mainly focused on the many unknowns, which appears from the beginning of creation of the model what requires making some assumptions and approximations and result with need of cautious approach to the results.

Keywords: masonry structures, numerical modeling, homogenization, cracks

DOI:10.7862/rb.2016.305

Przesłano do redakcji: 08.12.2016 r.

Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.

Informacje dodatkowe

1. Lista recenzentów współpracujących będzie opublikowana w czwartym numerze *Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*: 63(4/16) oraz na stronie internetowej:
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/
(dotychczasowa nazwa: *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*), strona internetowa:
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/budownictwo-i/
2. Zasady recenzowania są udostępnione na stronie internetowej:
www.oficyna.prz.edu.pl/zasady-recenzowania/
3. Informacje dla autorów artykułów są udostępnione na stronie internetowej:
[oficyna.prz.edu.pl/informacje-dla-autorów/](http://oficyna.prz.edu.pl/informacje-dla-autorow/)
4. Formularz recenzji jest udostępniony na stronie internetowej:
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/
5. Instrukcja dla autorów omawiająca szczegółowo strukturę artykułu, jego układ, sposób przygotowywania materiału ilustracyjnego i piśmiennictwa jest zamieszczona na stronie internetowej:
[www.oficyna.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorów/](http://www.oficyna.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorow/)
oraz
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/ w zakładce „Instrukcja dla autorów”
6. Dane kontaktowe do redakcji czasopisma, adresy pocztowe i e-mail do przesyłania artykułów oraz dane kontaktowe do wydawcy są podane na stronie internetowej (Komitet Redakcyjny):
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/

Zasady recenzowania, informacje dla autorów, formularz recenzji, instrukcja dla autorów i dane kontaktowe do redakcji czasopisma i wydawcy będą również opublikowane w czwartym numerze *Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, z. 63 (4/2016).