

ZESZYTY NAUKOWE
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

FOLIA SCIENTIARUM
UNIVERSITATIS TECHNICAЕ RESOVIENSIS

NR 283

BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

Kwartalnik

zeszyt **59** (nr 2/2012/II)

(Tom II)



WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA
I INŻYNIERII ŚRODOWISKA
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. inż. Leonard ZIEMIAŃSKI

Rada Naukowa
prof. Mohamed Eid (Francja), prof. David Valis (Czechy)
prof. Nadežda Številová (Słowacja)
prof. Antonio João Carvalho de Albuquerque (Portugalia)
prof. Volodymyr V. Cherniuk (Ukraina)
prof. João Antonio Saraiva Pires da Fonseca (Portugalia)
prof. Dušan Katunsky (Słowacja), prof. Vincent Kvočak (Słowacja)
prof. Zinviy Blikharsky (Ukraina), prof. Tomasz Winnicki (Polska)
prof. Czesława Rosik-Dulewska (Polska), prof. Krzysztof Knapik (Polska)
prof. Janusz A. Tomaszek (Polska), prof. Jerzy Ziółko (Polska)
prof. Ryszard L. Kowalczyk (Polska), prof. Stanisław Kuś (Polska)

Komitet Redakcyjny
redaktor naczelny
dr hab. inż. Piotr KOSZELNIK, prof. PRz
redaktorzy tematyczni
prof. dr hab. inż. Aleksander KOZŁOWSKI
prof. dr hab. inż. Janusz RAK
redaktor statystyczny
dr hab. inż. Szczepan WOLIŃSKI, prof. PRz
sekretarz redakcji
mgr inż. Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK
członkowie
dr inż. Renata GRUCA-ROKOSZ, dr inż. arch. Anna SIKORA
dr inż. Zdzisław PISAREK, dr inż. Lucjan ŚLĘCZKA

p-ISSN 0209-2646

Wersja drukowana Kwartalnika jest wersją pierwotną

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Nakład 140 + 50 egz. Ark. wyd. 31,26. Ark. druk. 27,0. Papier offset. 70g B1.
Oddano do druku w marcu 2012 r. Wydrukowano w marcu 2012 r.
Drukarnia Oficyny Wydawniczej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
Zam. nr 12/2/12

SPIS TREŚCI

Tom I

ADAMCZYK Jerzy R. Możliwość wykorzystania przewymiarowanej sieci ciepłowniczej jako akumulatora ciepła.....	13
ADAMCZYK Jerzy R., OLCHOWIK Jan M. TOMASZEWSKI Robert Orientacja kolektorów słonecznych a uzysk energetyczny	21
AHMAD Mohamed Badania możliwości otrzymania betonów zwykłych na kruszywach recyklingowych.....	27
BAJOREK Grzegorz, KIERNIA-HNAT Marta, KOKOSZKA Wanda, SKRZYPCZAK Izabela Rekultywacja terenów zdegradowanych w wyniku odkrywkowej eksploatacji kruszyw budowlanych.....	39
BAJOREK Grzegorz, KIERNIA-HNAT Marta, KOKOSZKA Wanda, SKRZYPCZAK Izabela Woda dla celów przemysłowych i ludności a ochrona środowiska	47
BAJOREK Grzegorz, KIERNIA-HNAT Marta, SKRZYPCZAK Izabela Aspekty technologiczne zastosowania betonu architektonicznego na przykładzie wybranego obiektu budowlanego	53
BAJOREK Grzegorz, KIERNIA-HNAT Marta, SKRZYPCZAK Izabela Rola betonu architektonicznego w realizacji obiektów budowlanych	61
BIEDROŃSKA Joanna, FIGASZEWSKI Jarosław Graficzna interpretacja metod gospodarowania energią w budynkach bioklimatycznych.....	69
BOCHENEK Magdalena Próżniowe panele izolacyjne (VIPs) w budownictwie.....	79
BUKOWSKA Maria Anna Kamera termowizyjna narzędziem diagnostycznym w budownictwie	87
BURMISTRZ Michał Optymalizacja wybranych rozwiązań architektonicznych w oparciu o trajektorię słońca.....	93

BURMISTRZ Monika	
Zielony dach a architektura energooszczędna.....	101
CHALAMOŃSKI Mariusz	
Analiza efektywności energetycznej kolektorów słonecznych	109
CHMIEŁOWSKI Adam, GEDYMIN Michał	
Wtórne wykorzystanie energii z powietrza usuwanego z kurnika do ogrzewania szklarni	115
CHWIEDUK Dorota A.	
Wybrane aspekty stosowania materiałów zmiennofazowych w przegrodach zewnętrznych w polskich warunkach klimatycznych.....	123
CIEŚLAK Krystian, GUŁKOWSKI Sławomir, OLCHOWIK Jan, KOZAK Barbara, WIŚNIEWSKI Mateusz	
Detekcja kanałów bocznikujących w cienkowarstwowych ogniwach fotowoltaicznych z wykorzystaniem badań termowizyjnych.....	131
CZEKAŁSKI Dariusz, OBSTAWSKI Paweł	
Problemy termicznej jakości wody dostarczanej przez system odnawialnych źródeł energii.....	137
CZEKAŁSKI Dariusz, OBSTAWSKI Paweł	
Ocena wydajności wielkopowierzchniowej słonecznej instalacji grzewczej w DPS w Mieni	143
DĘBSKA Bernardeta, LICHOLAŁ Lech	
Badanie możliwości wykorzystania modyfikowanych zapraw epoksydowych w procesach naprawczych betonów. Cz.1. Oznaczanie właściwości wytrzymałościowych, absorpcji wody oraz odporności chemicznej.....	149
DĘBSKA Bernardeta, LICHOLAŁ Lech	
Badanie możliwości wykorzystania modyfikowanych zapraw epoksydowych w procesach naprawczych betonów. Cz.2. Oznaczenie przyczepności.....	161
DRYGAŁA Aleksandra	
Teksturowanie powierzchni krzemu polikrystalicznego z wykorzystaniem lasera Nd:YAG.....	169
DUDZIK Iwona	
Czasy burmistrzostwa dra Adolfa Dietziusa 1891-1919.....	173
FIEDUCIK Jolanta, GAWROŃSKI Adam, MATUSZCZAK Ryszard	
Metody przekształcania osadu ściekowego na przykładzie instalacji oczyszczalni ścieków „Łyna” w Olsztynie	185
FIEDUCIK Jolanta, GODLEWSKI Jan	

Diody termiczne - potencjalne możliwości wykorzystania diod termicznych w technice	195
GARBALIŃSKA Halina, STRZAŁKOWSKI Jarosław	
Badania współczynników wyrównania temperatury betonów różnego rodzaju	203
GARBALIŃSKA Halina, STRZAŁKOWSKI Jarosław	
Wpływ techniki dozowania domieszki napowietrzającej na parametry wytrzymałościowe i cieplne betonu lekkiego	209
GEDYMIN Michał, CHMIEŁOWSKI Adam	
Możliwości odzyskiwania energii cieplnej w procesie doju krów	219
GIL Iwona, BIENIECKI Marek, MOCEK Piotr A	
Metoda godzinowego podziału rocznego zapotrzebowania na ciepło grzewcze w celu efektywnego wykorzystania energii słonecznej	225
GIL Stanisław, GRADOŃ Bogusław, BIALIK Wojciech, OCHMAN Józef, ROZPONDEK Maciej	
Możliwości wykorzystania energii słonecznej dla pozyskiwania ciepła i chłodu w warunkach klimatycznych Polski	235
GNATOWSKA Renata	
Zastosowanie metod modelowych w ocenie komfortu wiatrowego i bezpieczeństwa ludzi przebywających w sąsiedztwie struktur architektonicznych	243
GNATOWSKA Renata, GNATOWSKI Adam	
Wpływ promieniowania UV na właściwości wybranych materiałów polimerowych stosowanych w budownictwie	249
GONTAR Zbigniew H.	
Centrum usług wspólnych a wdrażanie systemów Smart Grid Analytics..	257
GOSZTYŁA Marek, MOTYL Bogdan Witold	
Pierwsze realizacje Stylu Zakopiańskiego na Podkarpaciu	265
GÓRSKI Michał, PISAREK Karol, GRYGIEL Piotr, REMIZOWICZ Stanisław	
Eksperymentalne i numeryczne badania autonomicznej instalacji kolektorów słonecznych.....	279
GRZELAKOWSKI Tomasz	
Przykładowe kierunki zrównoważonego projektowania architektonicznego w kontekście certyfikacji wielokryterialnej.....	289
GULKOWSKI Sławomir, CIEŚLAK Krystian, OLCHOWIK Jan M., PAPROTA Marcin, SYROKA Maciej, GŁOWIENKA Radosław	
Badanie kinetyki wzrostu epitaksjalnych warstw lateralnych dla zasto-	297

sowań fotowoltaicznych.....	
GUMUŁA Stanisław, PIASKOWSKA-SILARSKA Małgorzata	
Czy energetyka oparta na spalaniu ma wpływ na efekt cieplarniany?.....	303
GUMUŁA Stanisław, STANISZ Katarzyna	
Autonomiczne systemy elektroenergetyczne dla budynków jednorodzinnych oparte na konwersji promieniowania słońca i energii kinetycznej wiatru	309
GUMUŁA Stanisław, WOŹNIAK Agnieszka	
Technologie energetyczne oparte na odnawialnych źródłach energii i możliwościach wykorzystania w budownictwie rozproszonym	317
GWIZDAŁA Jerzy	
Banki komercyjne w finansowaniu inwestycji w ochronę atmosfery	323
HAJTO Marek	
Zasoby oraz możliwości zagospodarowania wód geotermalnych w Karpatkach Zachodnich - od Cieszyna po Gorlice.....	331
JAGIEŁA Beata	
XIX – wieczna restauracja kościoła i klasztoru oo. Bernardynów w Leżajsku – przyczynek do studium tematu	341
JAGIEŁA Beata	
Zygmunt Hendel i jego niezrealizowane projekty adaptacji Zamku Lubomirskich w Rzeszowie dla potrzeb więziennictwa.....	349
KALDA Galina, PIETRUCHA-URBANIK Katarzyna, STUDZIŃSKI Andrzej	
Możliwości zastosowania ogniw fotowoltaicznych w budownictwie.....	361
KALDA Galina, PIETRUCHA-URBANIK Katarzyna, STUDZIŃSKI Andrzej	
Możliwości zastosowania powietrznych kolektorów słonecznych w gospodarce polskiej.....	365
KĘSEK Zbigniew	
Nowe tendencje w projektowaniu a rozwój zrównoważony.....	373
KLEIN Maciej, SAWCZAK Mirosław, ZALAS Maciej, BARBUCHA Robert	
Badanie wpływu spawania laserowego złącza TiO ₂ :FTO na rezystancję wewnętrzną oraz sprawność ogniwa słonecznego uczulonego barwnikiem	381
KOBYLARCZYK Justyna	
Ocena jakości środowiska mieszkaniowego małego miasta a współczesne zagrożenia.....	389
KONARZEWSKA Bogusława	

Historyczne próby stworzenia fasady wydajnej energetycznie jako inspiracji dla rozwiązań współczesnych	397
KONARZEWSKA Bogusława, NYKA Lucyna	
Hybrydowe fasady aktywne – od cech wizualnych po zyski środowiskowe zintegrowanych rozwiązań organicznych	407
KONKOL Janusz, KOBIAŁKA Paweł	
Właściwości wytrzymałościowe betonów wykonanych z jednoczesnym zastosowaniem dwóch dodatków pylastych: pyłu krzemionkowego i popiołu fluidalnego	415
KONKOL Janusz, PROKOPSKI Grzegorz	
Wpływ wieku betonu na właściwości wytrzymałościowe betonów modyfikowanych dodatkiem popiołu fluidalnego	423
KOWAL Zbigniew, PIOTROWSKI Rafał, SZYCHOWSKI Andrzej	
Przystosowanie hal przekrytych strukturą do pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego	431
KUPIEC-HYŁA Danuta	
Współczesne holenderskie kierunki kreacji architektonicznej inwestycji mieszkaniowych związanych z wodą	439
LICHOŁAI Lech, SZYSZKA Jerzy	
Badania symulacyjne efektywności energetycznej szczelinowej przegrody kolektorowo-akumulacyjnej (SPKA)	445
MAGIERA Janusz, PATER Sebastian, NEUPAUER Krzysztof	
Instalacja hybrydowa z odnawialnymi źródłami energii pracująca na Ukrainie w formie laboratorium na odległość	455
MIŚNIAKIEWICZ Elżbieta	
Wykorzystanie wentylacji grawitacyjnej w budynku wielorodzinnym	463
MOCEK Piotr A., GIL Iwona, NIEMOTKO Katarzyna	
O dynamice kolektora solarnego z zasobnikiem/pompą ciepła	471

Tom II

NIEMIEC Witold, STACHOWICZ Feliks, SZEWCZYK Mariusz, TRZEPIECIŃSKI Tomasz,	
Technologia wykorzystania biomasy w gospodarstwach małoobszarnych	493
NOCH Tadeusz	
Wybrane zagadnienia efektywności pomp ciepła w energetyce cieplnej	501
NOWAK Katarzyna, ROJEWSKA-WARCHAŁ Małgorzata	

Wpływ przeszklenia i modernizacji budynku sakralnego na zyski słoneczne i komfort cieplny	515
OBSTAWSKI Paweł, CZEKAŁSKI Dariusz	
Wpływ wydajności pompy cyrkulacyjnej na parametry eksploatacyjne płaskiego kolektora słonecznego	525
OBSTAWSKI Paweł, CZEKAŁSKI Dariusz	
Zastosowanie pakietu Matlab i Simulink do analizy stanów termicznych płaskiego kolektora cieczowego	533
OBSTAWSKI Paweł, CZEKAŁSKI Dariusz	
Zastosowanie programu Scada do wizualizacji i monitoringu pracy hybrydowego systemu zasilania.....	541
OLCHOWIK Jan M.	
Ewolucja świadomości ekologicznej mieszkańców Lubelszczyzny na temat odnawialnych źródeł energii	549
OLCHOWIK Jan M.	
Fotowoltaika w kontekście innych źródeł energii na Lubelszczyźnie	557
OLCHOWIK Jan M., TARŁOWSKI Jan J., MAZUR Paweł Ł., WOLIŃSKI Rafał, KALAMON Katarzyna	
Analiza numeryczna efektywności pracy naziemnych farm fotowoltaicznych dla wybranych lokalizacji.....	563
OLCHOWIK Jan M., TATARCZAK Jarosław	
Algorytm optymalizujący uzysk energii w stacjonarnych farmach fotowoltaicznych	571
PIASKOWSKA-SILARSKA Małgorzata, GUMUŁA Stanisław,	
Tradycyjne i nowoczesne źródła energii w budownictwie jednorodzinnym i rolniczym	579
PIOTROWSKI Jerzy Z., STROY Anatoly, OLENETS Marianna	
Procesy wymiany ciepła w konstrukcjach z fasadami wentylowanymi w okresie letnim.....	583
PISAREV Vyacheslav, NOWAK Krzysztof	
Analiza techniczna i ekonomiczna pracy gruntowej pompy ciepła na gruntach różnej wilgotności	589
PISAREV Vyacheslav, NOWAK Krzysztof	
Analiza techniczna i ekonomiczna ogrzewania wody z wykorzystania pompy ciepła do podlewania zieleńców i ogrodów	599
PISAREV Vyacheslav, RYBAK-WILUSZ Elżbieta, SAWICKA Paulina	
Analiza wielowariantowa zintegrowanego systemu zaopatrzenia bu-	611

dynku w energię.....	
PISAREV Vyacheslav, ZIEMNIAK Natalia	
Analiza basenowych central klimatyzacyjnych z trzystopniowym odzyskiem ciepła w okresie zimowym	625
PROSZAK- MIĄSIK Danuta, RABCZAK Sławomir	
Ekonomiczne aspekty systemów wytwarzania ciepłej wody wspomaganie energią słoneczną dla budynków jednorodzinnych	637
PYTEL Krzysztof, KŁOS Agnieszka	
Opłacalność wykorzystania słonecznej instalacji grzewczej ciepłej wody użytkowej w budynku jednorodzinym	645
PYTEL Krzysztof, TWOREK Małgorzata	
Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii na przykładzie biogazowni .	653
RABCZAK Sławomir, PROSZAK-MIĄSIK Danuta	
Real working condition of natural ventilation	659
RYBAK-WILUSZ Elżbieta, PRUC Krzysztof	
Efektywność ekonomiczna zwiększenia grubości izolacji przewodów ogrzewania powietrznego	669
RYBKA Adam, SZPYTMA Magdalena, SZPYTMA Cezary	
Różne skale - różne metody. Zrównoważony rozwój na wybranych przykładach polskiej architektury	677
SIUTA-OLCHA Alicja	
Efektywność energetyczna eksperymentalnej instalacji słonecznej ciepłej wody użytkowej	685
SIUTA-OLCHA Alicja	
Potencjał energii promieniowania słonecznego w województwie lubelskim.....	693
SIWIŃSKA Agata, GARBALIŃSKA Halina	
Wpływ zawilgocenia na cieplne parametry materiałów budowlanych	699
SOCHA Anna	
Jarosławskie budynki użyteczności publicznej XIX wieku	705
SORNEK Krzysztof, TOMSKI Michał, FILIPOWICZ Mariusz	
Wykorzystanie biomasy w nowoczesnych, domowych systemach poligeneracyjnych	717
STARZOMSKA Mariola, PIOTROWSKI Jerzy Z., SZEWCZYK Stanisław	
Innowacyjne wykorzystanie energii słuza wody	725
STEFANIAK Justyna, ŻELAZNA Agnieszka	
Analiza środowiskowa wykorzystania chłodziarki absorpcyjnej zasilanej	733

gazem do wytwarzania wody lodowej	
STĘCHŁY Jadwiga	
Stolarka drzewiowa w Jarosławiu z lat 1850-1939. Cz. I.....	739
STĘCHŁY Jadwiga	
Problemy ochrony konserwatorskiej stolarki drzewiowej w Jarosławiu z lat 1850-1939. Cz. II.	747
SZUBEL Mateusz	
Ogniwa paliwowe zasilane wodorem produkowanym z biomasy.	755
SZYMCZUK Dariusz, GEMBARZEWSKI Olaf, GOŁYGA Andrzej, ZDROJEWSKA Agata	
Fotowoltaika w Bułgarii.	763
TANNENBERG Grzegorz, TANNENBERG Krzysztof	
Ocena możliwości naturalnego wysuszenia balotów słomy przeznaczonej do produkcji peletów.....	769
TOMKOWICZ Bartłomiej, PEŁCZYŃSKI Janusz	
Problemy modernizacji obiektów położonych w strefie ochrony konserwatorskiej na przykładzie przebudowy budynku mieszkalnego przy ul. Piekarskiej 13 w Kolbuszowej.....	777
TOMSKI Michał A., SORNEK Krzysztof, FILIPOWICZ Mariusz	
Nowoczesne technologie zgazowania biomasy na potrzeby zintegrowanych układów energetycznych.....	789
URUSZCZAK Michał	
Zabytkowe założenie rezydencjonalno-ogrodowe w Udorzu. Stan obecny i perspektywy rewaloryzacji.....	797
WACHOWICZ-PYZIK Anna	
Możliwości zastosowania instalacji solarnej dla basenu kąpielowego.	803
WACHTA Henryk	
Kreowanie przestrzennego postrzegania obiektów zabytkowych w oświetleniu sztucznym na przykładzie parlamentu prowincji Alberta w Kanadzie.	811
WACHTA Henryk	
Odwzorowanie graficzne antycznego kompleksu sakralnego w Jerozolimie z wykorzystaniem komputerowych aplikacji wizualizacyjnych.	823
WACHTA Henryk	
Wykorzystanie metody kontrastu barwowego w iluminowaniu strefowym obiektów zabytkowych na przykładzie Bazyliki Santa Maria Maggiore w Rzymie.....	829
WACHTA Henryk, BARAN Krzysztof, LEŚKO Marcin	
Uwarunkowania termiczne instalowania reflektorów doziemnych	837

w budownictwie.....	
WILCZKIEWICZ Małgorzata Z.	
Budowanie krajobrazu nowym kierunkiem w architekturze Nowego Jorku.....	847
WILK-SŁOMKA Beata	
Wpływ zastosowania pasywnych systemów pozyskiwania energii słonecznej na charakterystykę energetyczną budynku jednorodzinnego.....	855
WŁODARCZYK Anna Marta	
Elementy fotowoltaiczne w krajobrazie Polski.....	863
WŁODARCZYK Anna Marta	
Energoozczędność w krajobrazie miasta – przykład europejski: Berlin ..	871
WRÓBEL Krystyna, KUBISZYN Wiesław	
Wpływ zmian technologicznych w instalacji odprowadzania spalin na trwałość kominów stalowych.....	877
ZALEWSKI Wojciech	
Pompa ciepła powietrze-woda z parowaczem typu „sopel lodu”.....	885
ZDYB Agata	
Perspektywy zastosowań barwnikowych ogniw słonecznych w Polsce	891
ŻARSKI Kazimierz	
Bilans cieplny kolektora słonecznego w roku porównawczym	899
ŻELAZNA Agnieszka, STEFANIAK Justyna, PAWŁOWSKI Artur	
Aspekty środowiskowe wykorzystania urządzeń do konwersji energii słonecznej	907

Witold NIEMIEC, dr hab. inż., prof. PRz

Feliks STACHOWICZ, prof. dr hab. inż.

Mariusz SZEWCZYK, dr inż.

Tomasz TRZEPIECIŃSKI, dr inż.

Politechnika Rzeszowska

al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

e-mail: wniemiec@prz.edu.pl, stafel@prz.edu.pl,

szewmar@prz.edu.pl, tomtrz@prz.edu.pl

TECHNOLOGIA WYKORZYSTANIA BIOMASY W GOSPODARSTWACH MAŁOBSZAROWYCH

STRESZCZENIE

Produkcja biomasy drzewnej na własne potrzeby w gospodarstwie o niewielkim areale wymaga zastosowania maszyn agrotechnicznych dostosowanych do skali produkcji. Rozwiązania techniczne takich maszyn zostały opracowane i opatentowane w Politechnice Rzeszowskiej. Przedstawiono wybrane możliwości wykorzystania energii biomasy oraz technologię produkcji roślin energetycznych dla gospodarstw małoobszarowych. Szczególnie interesujące dla przedsięwzięć w takiej skali są rozwiązania oparte na kotle bezpośredniego spalania sprzężonego z silnikiem Stirlinga zasilane zrębkami lub sieczką drzewną.

1. WPROWADZENIE

Tradycyjne źródło energii zawartej w drewnie aktywowane jest najczęściej poprzez pozyskiwanie ciepła albo zamianę nośnika energii w procesie zgazowania lub pirolizy. W przypadku pozyskiwania energii dla potrzeb gospodarstw małoobszarowych w dotychczasowej praktyce ciepło uzyskiwane jest najczęściej w procesach spalania drewna w piecach lub rzadziej w specjalnych konstrukcjach pieców z wykorzystaniem procesu zgazowania a następnie spalania otrzymanego gazu. Realizowana polityka gospodarki energią ze wrastającym udziałem OZE, dobrze wpisuje się w potrzeby i możliwości tanich sposobów zaopatrzenia w ciepło gospodarstw indywidualnych oddalonych od możliwości zaopatrywania się w energię ze zbiorczych źródeł jak to ma miejsce np. w miastach. Politechnika Rzeszowska od kilku lat prezentuje rozwiązania konstrukcyjne środków technicznych do produkcji, i przerobu biomasy zdrewniałych części roślin, z wykorzystaniem

niebezpiecznych odpadów (komunalne osady ściekowe) jako nawozu na zakładanych plantacjach.

2. KRYTERIA DOBORU ŹRÓDŁA ENERGII ODNAWIALNEJ

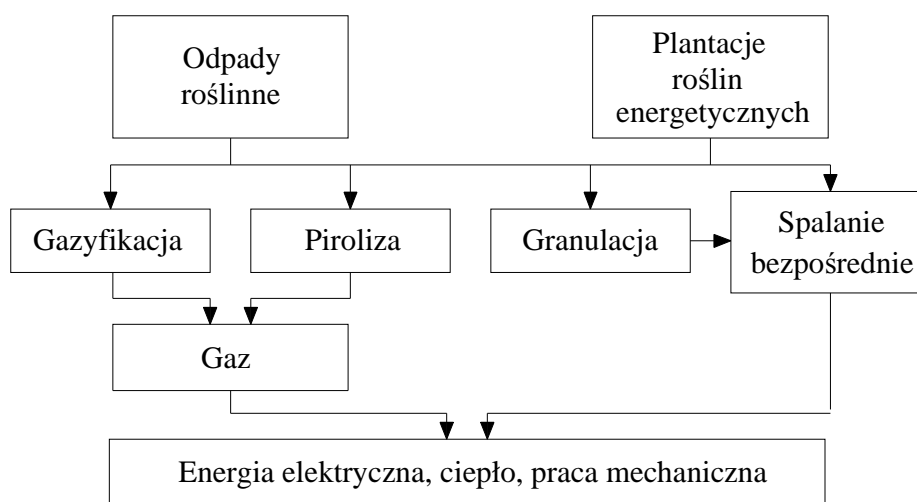
Rozpatrując efektywności zastosowania energii pochodzącej z biomasy w gospodarstwie małoobszarowym przyjąć należy kilka założeń. Przede wszystkim odnośnie wielkości gospodarstwa, a w konsekwencji zapotrzebowania na energię oraz stopnia dostępności do tradycyjnych źródeł i nośników energii. Z punktu widzenia możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii najciekawszy jest przypadek, wynikający z przyczyn lokalizacyjnych lub założeń ekologicznych, braku dostępu do tradycyjnych nośników energii bezpośredniej, w szczególności sieciowych. Prowadzić to może do konieczności zapewnienia samowystarczalności energetycznej tak pod względem dostaw energii elektrycznej jak i energii cieplnej. Dla gospodarstwa samowystarczального energetycznie podstawowe źródło energii powinno charakteryzować się przede wszystkim:

- wysoką dyspozycyjnością, rozumianą tutaj jako zdolność do dostarczenia energii w wymaganej ilości i postaci niezależnie od pory roku, pory dnia i warunków pogodowych,
- wysoką efektywnością czy to w postaci źródła substancji czy to w postaci źródła energii termicznej, aby możliwe było wytwarzanie energii mechanicznej (elektrycznej) z sensowną sprawnością,
- dostępnością w miejscu wykorzystania lub niedalekiej odległości od niego – warunek samowystarczalności; dostarczanie nośników energii z większych odległości stawia pod znakiem zapytania sensowność substytucji konwencjonalnych nośników energii nośnikami energii odnawialnej,
- niskimi jednostkowymi kosztami pozyskiwanej energii w kontekście zarówno kosztów inwestycyjnych jak i kosztów eksploatacyjnych oraz czasu życia instalacji.

3. WYBRANE TECHNOLOGIE ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA BIOMASY W UKŁADACH KOGENERACYJNYCH

W przypadku energii biomasy trudności z dostępnością źródła energii są, w porównaniu z innymi wysokoenergetycznymi źródłami energii odnawialnej, stosunkowo niewielkie. Cały obszar Polski posiada warunki do produkcji biomasy, a zatem każde gospodarstwo posiadające dostateczny areal może zapewnić sobie niezbędną ilość energii w postaci energii chemicznej zgromadzonej w biomacie. Rolnictwo jest podstawowym źródłem energii odnawialnej w postaci biomasy, ponieważ na plantacjach energetycznych odnawialność tego zasobu waha się od kilku miesięcy do 2 lat [1]. Przykład technologii produkcji energii z biomasy przedstawiono na rys. 1. Pierwszym etapem przetworzenia energii chemicznej jest, analogicznie jak w przypadku nieodnawialnych paliw chemicznych, proces spalania przekształcający ją w wysokotemperaturową energię termiczną. Może ona być bezpośrednio wykorzystywana tylko w tej postaci, ale dzięki wysokiej efektywności może zostać również z zadawalającą sprawnością przekształcona w energię elektryczną umożliwiając kogeneracyjne wytwarzanie energii elektrycznej i termicznej. Takie rozwiązanie jest możliwe, ponieważ biomasa, jak zdecydowana większość nośników energii chemicznej, ma bardzo dobre właściwości magazynowania co gwarantuje wysoką dys-

pozycyjnosc układów energetycznych opartych na biomase. Z technologii kogeneracyjnego wykorzystywania energii biomasy, które mogłyby spełnić wymagania rozważanej klasy zastosowań, takich jak: fermentacja beztlenowa i spalanie biogazu w silniku spalania wewnętrznego, rozkład termiczny i wykorzystanie gazu syntezowego do napędu silnika wewnętrznego lub zewnętrznego spalania, bezpośrednie spalanie biomasy i wykorzystanie uzyskanej energii termicznej do napędu silnika zewnętrznego spalania na szczególną uwagę zasługuje ostatnie rozwiązanie. Charakteryzuje się ono bowiem bardzo dobrą skalowalnością szczególnie w stronę instalacji małych, prostotą rozwiązania układu transformacji energii chemicznej na termiczną, możliwość prawie całkowitej automatyzacji procesu, wysokie resursy wszystkich elementów układu.



Rys. 1. Systemy produkcji energii wykorzystujące biomase.

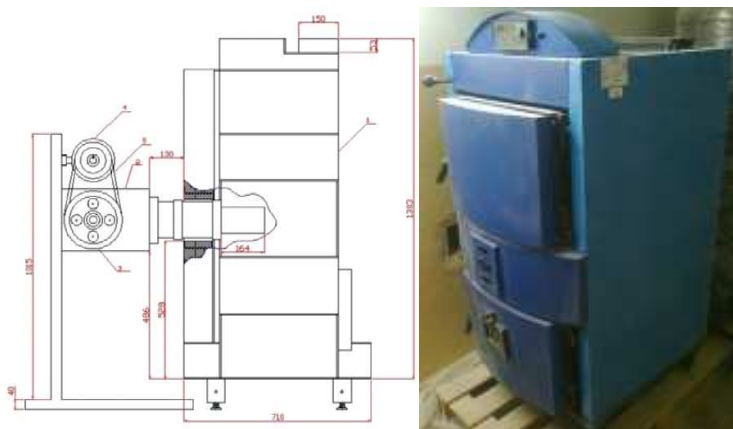
Fig. 1. Systems of energy production utilizing biomass.

Rozwój konstrukcji silników Stirlinga, które w wersji bezkorbowej z prądnicami liniowymi charakteryzują się sprawnością przewyższającą 20 % i okresami bezobsługowej pracy wynoszącej 20 i więcej lat [2], pozwala na prognozowanie pomyślnych efektów zastosowania tej technologii w układach kogeneracyjnych zasilanych biomasą, szczególnie w obszarze małych mocy. Szeroki przegląd rozwiązań układów energetycznych wykorzystujących silniki Stirlinga, również w układach biomasowych, badanych i przygotowywanych do komercyjnej sprzedaży lub będących już w komercyjnej sprzedaży przedstawiono np. w [3]. Silniki Stirlinga, pomimo tego, że są powszechnie znane i uznawane za proste do wykonania, są jednak prawie niedostępne na rynku. Wyjątkiem łamiącym tę niemal powszechną regułę jest firma GenoaStirling [4], której najmocniejszy aktualnie model o mocy 3 kWe, zaprezentowany na rys. 2., zakupiono w celu przeprowadzenia badań nad zasilanym biomasą drzewną układem kogeneracyjnym z silnikiem Stirlinga.

Zarówno efektywne wytwarzanie energii mechanicznej jak i wymagania eksploatacyjne silników Stirlinga wskazują że temperatura pracy silnika powinna być jak najwyższa. Minimalna temperatura pracy wynosząca około 500 °C jak i wysoka maksymalna temperatura wynosząca, ze względu na zastosowane na gorący wymiennik materiały



Rys. 2. Dwucylindrowy silnik Stirlinga typu β GENOA03 produkcji GenoaStirling.
Fig. 2. Two-cylinder, β -type Stirling engine GENOA03 by GenoaStirling.



Rys. 3. Od lewej: schemat montażu silnika Stirlinga w kotle zasilanym sieczką drzewną oraz kocioł ze zgazowaniem przewidziany do pierwszego etapu badań układu kogeneracyjnego z silnikiem Stirlinga.

Fig. 3. From left: diagram of a Stirling engine mounted in the boiler fed with wood chips, gasification boiler intended for first stage tests of cogenerative system with Stirling engine.

żaroodporne, ok. 1100 °C [4], zakupionego silnika pozwalają na jego skojarzenie zarówno z kotłami rusztowymi jak i z kotłami ze zgazowaniem. W obu przypadkach dostępne są kotły o mocach wymaganych przez rozważany zakres zastosowań.

Na rys 3. przedstawiono rozwiązanie systemu kogeneracyjnego w oparciu o kocioł rusztowy z zasobnikiem przykotłowym i automatyką dozowania paliwa o mocy cieplnej ok. 50 kW oraz kocioł ze zgazowaniem o mocy ok. 20 kW na którym przeprowadzony zostanie pierwszy etap badań. Wysoka, rzędu 1000 ÷ 1300 °C, maksymalna temperatura spalin w kotle ze zgazowaniem pozwala się spodziewać że 15% sprawność wytwarzania energii elektrycznej zostanie osiągnięta i silnik będzie pracował z pełną mocą. Pewnym ograniczeniem zastosowań na obecnym etapie rozwoju technologii silników Stirlinga są ich znaczne w stosunku do mocy rozmiary co ogranicza skalowanie w dół lub wymusza ograniczenie udziału mocy elektrycznej w bilansie. Utrudnia to umieszczenie silnika w komorze spalania kotła o mocy 50 kWt, który charakteryzuje się niższą średnią temperaturę w komorze spalania. W przypadku tych badań ciekawym zagadnieniem może się okazać optymalizacja umieszczenia silnika w stosunku do rusztu oraz optymalizacja procesu spalania w takim układzie kogeneracyjnym.

4. PRODUKCJA BIOMASY

Podstawą wykorzystania jakiegokolwiek źródła energii jest jego dostępność. W przypadku niektórych technologii biomasowych można się oprzeć na jej źródłach naturalnych lub odpadach produkcyjnych. Nie wszystkie jednak technologie tolerują każdą postać biomasy, a niezbyt duża w porównaniu z innymi technologiami pozyskiwania energii promieniowania słonecznego sprawność fotosyntezy, powoduje konieczność zakładania specjalistycznych plantacji roślin energetycznych.

Opracowana w Politechnice Rzeszowskiej technologia zakładania plantacji roślin energetycznych, pozyskania plonu i jego obróbki z wykorzystaniem komunalnych osadów ściekowych, bazuje na specjalistycznych maszynach zaprojektowanych i zastrzeżonych patentami oraz wzorami użytkowymi. Charakterystyczną cechą wspólną zaproponowanych rozwiązań jest dostosowanie ich dla potrzeb agrotechnicznych niewielkich gospodarstw południowej Polski. Przedstawiona technologia produkcji biomasy jest ciągle doskonała, a postęp w rozwoju technologii jest opisywany sukcesywnie w publikacjach [5-8] i prezentowany na konferencjach naukowych [9] w kraju i za granicą. Dotychczasowe kluczowe osiągnięcia w budowaniu technologii, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie maszyn i urządzeń wchodzących w skład technologii produkcji roślin energetycznych.

Table 1. The list of machines and devices component to technology of the energy plants production.

Rodzaj operacji	Miejsce i sposób wykonania czynności	Uwarunkowania prawne
Obróbka osadu: -stabilizacja -zagęszczanie -higienizacja	Oczyszczalnia ścieków	Realizowana w oczyszczalni technologia oczyszczania ścieków
Transport osadów na użytki rolnicze	Drogi: - publiczne - prywatne	Prawo o Ruchu Drogowym, Kodeks Drogowy

Dawkowanie nawozów pod zakładaną plantację	Przygotowanie i nawożenie użytków rolnych: - powierzchniowe - iniekcyjne ^{a, b}	Ustawy, rozporządzenia, Dobra praktyka rolnicza
Badanie oddziaływania na ludzi i środowisko przyrodnicze	Elementy ekosystemu badane w otoczeniu założonej plantacji: - gleby ^c - wody ^c	Ustawy, rozporządzenia, decyzje
Produkcja i przechowywanie zrzesów	Teren gospodarstwa - produkcja zrzesów ^d	Warunki BHP oraz wymogi przechowywania sadzonek
Sadzenie, sianie	Areality uprawne ^e	Dobra praktyka rolnicza i wymogi żywieniowe roślin
Pielęgnacja i ochrona plantacji	Areality uprawne, praca: - ręczna - mechaniczna	Program ochrony i pielęgnacji zgodny z dobrą praktyką rolniczą
Zbiór wyprodukowanej biomasy	Na plantacji: - ręczny - mechaniczny ^{f, g}	Zgodnie z celem zagospodarowania
Wstępna obróbka zebranej biomasy	Na plantacji lub w jej pobliżu: - ręczna - mechaniczna ^{f, h, i, j, k}	Zgodnie z celem zagospodarowania

gdzie

^a Urządzenie do iniekcyjnego dawkowania do gleby sypkich nawozów organicznych i mineralnych, P 382062 (2007).

^b Urządzenie do wprowadzenia cieczy pod powierzchnię gleb i łąk, P 242124 (1983).

^c Urządzenie do zbierania i pomiaru infiltrującej wody w warunkach polowych, W 116896 (2007).

^d Urządzenie do produkcji zrzesów, P 384427 (2008).

^e Sadzarka zrzesów roślin o zdrewniałych pędach, W-119940 (2011).

^f Kombajn do zbioru i rozdrabniania zdrewniałych pędów roślin oraz gałęzi, W 119895 (2011).

^g Kosiarka do drzewiastych roślin, P 386842 (2010).

^h Sieczkarnia do drewna, W 116926 (2007).

ⁱ Podajnik ciętego materiału w sieczkarni do drewna, W-119154 (2010).

^j Mobilny kombajn do pozyskiwania biomasy z roślin o zdrewniałych pędach, W120576 (2011).

^k Kombajn do zbioru i rozdrabniania zdrewniałych pędów roślin energetycznych, W120965 (2012).

Tanie źródła energii do praktycznego i samodzielnego wykorzystania są poszukiwane w całym świecie. Posiadanie własnych arealów upraw przy wzrastających problemach związanych ze sprzedażą plonów oraz możliwościami uzyskania dopłat do produkcji

roślin energetycznych wzmaga zainteresowanie energetycznym wykorzystaniem drewna wyprodukowanego we własnym gospodarstwie. Ekonomicznie uzasadniona produkcja oraz wykorzystanie we własnym gospodarstwie roślin energetycznych, obwarowane jest wieloma aspektami. Podczas analizy możliwości produkcji w małoobszarowym gospodarstwie należy brać pod uwagę, że wydajność produkcji roślin energetycznych uwarunkowana jest zastosowaną agrotechniką, a zatem jakością i kolejnością wykonywanych zabiegów przy uprawie roli i pielęgnacji roślin w celu uzyskania obfitych plonów wysokiej jakości. Właściwości fizyko-chemiczne gleb, ich skład mechaniczny, hipsografia terenu, warunki klimatyczne i budowa hydrogeologiczna, to podstawowa wiedza o przydatności arealu do produkcji rolniczej. Analiza możliwych do wykorzystania źródeł energii odnawialnej powinna uwzględniać różnorodne źródła energii. Wybór pozornie duży, w praktyce znacznie ograniczony i sprowadzający się do wykorzystania energii słońca w ograniczonych przyrodniczo terminach, energii wiatru, przepływającej wody i biomasy najczęściej drewna lub słomy.

5. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie biomasy w celu zaspokojenia potrzeb energetycznych samowystarczального energetycznie gospodarstwa małoobszarowego wymaga przeprowadzenia specjalistycznych badań rozwiązań technicznych zastosowanych w urządzeniach do produkcji i przerobu biomasy drzewnej oraz urządzeniach do spalania biomasy opartych na biomasowym układzie kogeneracyjnym. Biomasa pozyskiwana z plantacji biomasy drzewnej charakteryzuje się wysoką zawartością wilgoci w związku z czym wymaga poduszania w zadaszonym magazynie do którego to procesu można wykorzystać energię promieniowania słonecznego. Zdaniem autorów, pod określeniem kompleksowe wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w gospodarstwach małoobszarowych należy rozumieć sytuacje występujące w konkretnych przypadkach w terenie w warunkach sprzyjających do uzyskania różnych postaci energii z kilku źródeł zaliczanych do OZE, np. biomasy, słońca, wody, wiatru, energii termicznej otoczenia, wyjątkowo - zasobów geotermalnych lub gazu wyprodukowanego w procesie fermentacji metanowej biomasy.

6. LITERATURA

- [1] Baza Danych Odnawialnych Źródeł Energii Województwa Podkarpackiego; <http://www.baza-oze.pl/>.
- [2] Infinia Corporation; <http://www.infiniacorp.com/>.
- [3] Stirling Engine Assessment – final report; Electric Power Research Institute, Inc., Palo Alto, 2002.
- [4] Genoastirling S.r.l; <http://www.genoastirling.com/>.
- [5] Niemiec W., Zamorska J.; Zarys technologii zagospodarowania niebezpiecznych odpadów organicznych; *Ekologia i Technika* Vol.XIV, nr 6, 224-228, (2006).
- [6] Niemiec W.; Nowe maszyny do utylizacji osadów ściekowych i innych odpadów organicznych w uprawach roślin energetycznych; *Ekologia i Technika* Vol. XV, nr 5, 168-172, (2007).

- [7] Niemiec W., Stachowicz F., Szewczyk M., Trzpieciński T. ; Technological progress in production, logging and processing of the biomass, SSP – Journal of Civil Engineering, Vol.6, s. 85-92 (2011).
- [8] Niemiec W.; Wybrane problemy upraw roślin energetycznych na małych plantacjach; Nowa Energia, (71-74), nr 1, 2008.
- [9] Niemiec W., Sobolewska P.; Technologia produkcji roślin energetycznych z wykorzystaniem komunalnych osadów ściekowych; II Konferencja Solina 2008 Energia odnawialna. Innowacyjne Rozwiązania Materiały i Technologie dla Budownictwa, Zeszyty Naukowe PRz, nr 252, (281-286), Rzeszów, 2008.

TECHNOLOGY OF BIOMASS UTILIZATION IN SMALL-SIZED FARMS

SUMMARY

Production of wood biomass for the own needs of the small-sized farm require the application of agricultural machines adjusted to the scale of production. Technique solutions of such machines was developed and patented in Rzeszow University of Technology. The selected possibilities of biomass energy utilization and technology of energetic plants production for small-sized farms were presented. Especially in an interesting manner for small scale of such undertakings are solutions based on the direct-combustion boiler coupled with chips and pellets fired Stirling engine.

Tadeusz NOCH, doc.

Gdańska Szkoła Wyższa
Katedra Nauk Technicznych
ul. Wydmy 3, 80-656 Gdańsk
e-mail: gsw@gsw.gda.pl

WYBRANE ZAGADNIENIA EFEKTYWNOŚCI POMP CIEPŁA W ENERGETYCE CIEPLNEJ

STRESZCZENIE

W opracowaniu wybrane zagadnienia efektywności pomp ciepła w energetyce cieplnej zaprezentowano podział i wykorzystanie pomp ciepła. Przedstawiono ekonomiczną efektywność układów ogrzewania z pompą ciepła. Omówiono zastosowanie pomp ciepła do hybrydowego układu ogrzewania. W pracy uwzględniono występujące możliwości technologiczno-techniczne pompy ciepła. Scharakteryzowano dane techniczne wybranej pompy ciepła.

1. WPROWADZENIE

Podziału pomp ciepła dokonuje się pod względem zastosowania, wydajności cieplnej (wielkości) oraz rodzaju dolnego i górnego źródła ciepła. Rodzaj użytej energii napędowej odgrywa istotną rolę w klasyfikacji pomp ciepła. Rozróżnia się pompy ciepła typu: woda-woda, woda-powietrze, powietrze-woda, powietrze-powietrze, grunt-woda, grunt-powietrze. Możliwy jest też podział na urządzenia [10]:

- wykorzystujące odnawialne źródła ciepła, np. powietrze zewnętrzne, wody powierzchniowe i podziemne, grunt, promieniowanie słoneczne;
- wykorzystujące ciepło odpadowe, np. ciepło wód odpadowych, ciepło powietrza usuwanego z pomieszczeń klimatyzowanych.

W przypadku pomp ciepła możliwe jest jednoczesne wykorzystywanie mocy grzania i mocy ziębienia, jak również alternatywne wykorzystanie raz grzania, a raz chłodzenia. Warianty rozwiązań przedstawiają się w następujący sposób [10]:

1. Zmiana czynnika przepływającego przez wymiennik, np. w parowaczu: w lecie zimna woda do klimatyzacji, w zimie woda gruntowa jako źródło ciepła; w skraplaczu: zimna woda z chłodni w lecie i ciepła woda do ogrzewania pomieszczeń w zimie.

2. Zmiana obiegu czynnika roboczego w ten sposób, że wymiennik ciepła pracujący w lecie jako skraplacz, a w zimie parowacz, tj. w lecie oddaje ciepło wodzie gruntowej, a w zimie odbiera od niej ciepło. Drugi wymiennik w lecie pracuje jako parowacz i chłodzi, np. wodę do celów klimatyzacyjnych, w zimie jako skraplacz podgrzewający wodę do ogrzewania.

Pompy ciepła stosowane są powszechnie na całym świecie. W Europie największą popularność zyskały w krajach skandynawskich, głównie w Szwecji oraz Niemczech [1], [2]. W Polsce stworzono również pewne preferencje dla użytkowników pomp ciepła.

2. EKONOMICZNA EFEKTYWNOŚĆ UKŁADÓW OGRZEWANIA Z POMPĄ CIEPŁA

Pompy ciepła przepompowują ciepło w kierunku przeciwnym do naturalnego biegu [1]. Można określić, że pompy nie są źródłem ciepła, tylko przemieszczają je w miejsce, gdzie jest efektywnie wykorzystane [3].

Zauważalne korzyści ekonomiczne w przypadku pomp ciepła i innych źródeł niekonwencjonalnych dają się zaobserwować w dłuższym okresie czasowym. W tym przypadku przy obliczeniach mają zastosowanie różne metody obliczeń ekonomicznych, również metody dyskontowe. Do tych metod zalicza się m.in. metodę kosztów rocznych [4]. Przy wyborze wariantów układu ogrzewania należy wybrać wariant o najniższych kosztach wytwarzania ciepła. Dla porównywanych wariantów efekty produkcyjne muszą być takie same. Gdy porównywane są jednostkowe koszty produktu, tj. ciepła, wybiera się wariant o najniższych kosztach jednostkowych.

Metoda kosztów rocznych pozwala obliczyć koszty wytwarzania ciepła. Do nich wlicza się koszty bieżące, tj. eksploatacyjne oraz koszty rocznego zwrotu nakładów inwestycyjnych. W skład kosztów rocznych wchodzi [5]:

- koszty zwrotu kapitałowego (koszty rozszerzanej reprodukcji) – K_{rrpc} ;
- koszty eksploatacyjne stałe (koszty utrzymania) – K_{estpc} ;
- koszty eksploatacyjne zmienne (koszty energii i materiałów ruchomych) – K_{ezmpc} .

Koszty roczne instalacji pomp ciepła odnoszą się do okresu czasowego N lat. Poszczególne składniki w równaniu (1) muszą być także odniesione do N lat jako wartości dyskontowe średnie roczne. Przyjmując, że cena energii elektrycznej podczas eksploatacji obiektu ulega zmianie, zakłada się, że będzie systematyczny wzrost wartości tej ceny i kosztów utrzymania (eksploatacyjnych, stałych).

Ponieważ cena energii elektrycznej ulega zmianie, to w równaniu (1) jest ona przyjęta jako wartość średnia dyskontowa. Koszty roczne wytwarzania ciepła w instalacji pompy ciepła wynoszą [5]:

$$\begin{aligned}
 K_{ipc} &= K_{rrpc} + K_{estpc} + K_{ezmpc} = \\
 &= K_{inwpc} \cdot (r + r_{ce}) + \left(\frac{Q_{ipc} \cdot T_{ipc}}{\varphi \cdot \eta_{sil}} \cdot k_{mr} + E_{elruch} \right) \cdot c_{el}
 \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie:

- K_{rpc} – koszty roczne wytwarzania ciepła w instalacji pompy ciepła, zł/a,
- K_{rrpc} – koszty rozszerzonej reprodukcji (zwrotu kapitału), zł/a,
- K_{estpc} – koszty eksploatacyjne stałe, zł/a,
- K_{ezmpc} – koszty eksploatacyjne zmienne, zł/a,
- K_{invpc} – nakłady inwestycyjne na instalację pompy ciepła, zł,
- Q_{ipc} – moc zainstalowana pompy ciepła, kW,
- T_{ipc} – czas użytkowania mocy zainstalowanej pompy ciepła, h/a,
- k_{mr} – współczynnik kosztów materiałów ruchomych,
- E_{elruch} – dodatkowe zużycie energii elektrycznej przez urządzenia w instalacji pompy ciepła, kWh/a,
- φ – współczynnik wydajności pompy ciepła,
- η_{sil} – sprawność silnika napędzającego sprężarkę pompy ciepła,
- r – rata zwrotu kapitałowego,
- r_{ce} – rata stałych kosztów eksploatacyjnych,
- c_{el} – cena energii elektrycznej, zł/kWh.

Przy planowaniu rozważane są warianty rozwiązań technicznych z pompami ciepła. Metodą porównania wariantów jest obliczenie i porównanie jednostkowych kosztów wytwarzania ciepła. Jako najlepszy jest wariant o najniższych jednostkowych kosztach ciepła. Występuje jako iloraz kosztu rocznego (K_{rpc}) i dostarczonego w ciągu roku ciepła użytecznego (Q_{apc}).

Jednostkowy koszt wytwarzania ciepła – zależność ogólna:

$$q_{pc} = \frac{K_{rpc}}{Q_{apc}} \quad (2)$$

gdzie:

- q_{pc} – jednostkowy koszt wytwarzania ciepła, zł/GJ,
- Q_{apc} – ilość rocznie wytworzonego ciepła użytecznego, GJ/a

$$Q_{apc} = \frac{Q_{ipc} \cdot T_{ipc}}{277,78}.$$

Podstawiając zależność (1) do (2), z zastosowaniem finalnego współczynnika wydajności pompy ciepła φ_f , otrzymuje się jednostkowy koszt wytwarzania ciepła, czyli wariant 2:

$$q_{pc} = 277,78 \cdot \left(\frac{K_{invpc} \cdot (r + r_{ce})}{T_{ipc}} + \left(\frac{k_{mr}}{\varphi_f} + \frac{E_{elruch}}{Q_{ipc} \cdot T_{ipc}} \right) \cdot c_{el} \right) \quad (3)$$

gdzie:

- liczba 277,78 – przelicznik jednostek z GJ na kWh,
- φ_f – finalny współczynnik wydajności pompy ciepła

$$\varphi_f = \frac{Q_{pc}}{P_{sil}} \cdot \eta_{sil} = \varphi \cdot \eta_{sil},$$

Q_{pc} – chwilowa moc cieplna pompy ciepła, kW,

P_{sil} – moc mechaniczna (na wale) silnika napędzającego sprężarkę, kW.

Wzór (3) wyraża zależności, gdzie jednostkowy koszt wytwarzania ciepła zależy od ceny energii elektrycznej zużywanej przez pompę ciepła. Jej wzrost powoduje wzrost bieżących kosztów wytwarzania ciepła. Koszt wytwarzania ciepła jest redukowany przez finalny współczynnik wydajności pompy ciepła – patrz wzór (3) [5].

Model ekonomiczno-finansowy

W obliczeniach efektywności ekonomicznej stosować można metodę kosztów narastających (MKN) oraz metodę wartości bieżącej netto (NPV). Metodę NPV sformułowano w taki sposób, aby zachodziła pełna kompatybilność z metodą kosztów narastających (MKN). W metodzie wartości bieżącej netto (NPV) przyjęte do obliczeń przychody są rozumiane jako zmniejszenie wydatków pieniężnych wynikające ze zmniejszenia zużycia paliwa konwencjonalnego po zastosowaniu pomp ciepła. Zmniejszenie kosztów paliwa w tak zdefiniowanej metodzie NPV jest równe różnicy kosztów wariantów ogrzewania w metodzie MKN. Opisana wersja dotyczy wytwarzania ciepła wyłącznie na pokrycie zapotrzebowania użytkownika, bez sprzedaży odbiorcom zewnętrznym [6].

W modelu ekonomiczno-finansowym ujęto 45 wariantów obliczeniowych. Poszczególne warianty charakteryzują nakłady inwestycyjne pomp ciepła dla 5 założeń w zależności od mocy pompy ciepła. Przeprowadzone badania obejmują następujące nakłady inwestycyjne:

- $K_{inpc} = 150$ tys. zł przy mocy pompy ciepła $Q_{inst} = 13,5$ kW;
- $K_{inpc} = 220$ tys. zł przy mocy pompy ciepła $Q_{inst} = 27,0$ kW;
- $K_{inpc} = 280$ tys. zł przy mocy pompy ciepła $Q_{inst} = 40,5$ kW;
- $K_{inpc} = 340$ tys. zł przy mocy pompy ciepła $Q_{inst} = 54,0$ kW;
- $K_{inpc} = 400$ tys. zł przy mocy pompy ciepła $Q_{inst} = 67,5$ kW.

W obliczeniach uwzględniono temperaturę źródła górnego pompy ciepła $T_g = 50^\circ\text{C}$, 55°C , 60°C oraz temperaturę źródła dolnego pompy ciepła $T_d = 1^\circ\text{C}$, 3°C , 5°C . W założeniach przyjęto temperaturę kończącą sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$, 15°C , 17°C . Model ekonomiczno-finansowy pokazuje wartość dodatnią uzyskaną w okresie eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła $N+ = 9$. rok ÷ 45. rok oraz osiągnięta wartość bieżąca netto NPV. W dwudziestym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła $NPV_{20} = -116,6$ tys. zł ÷ $+586,1$ tys. zł.

Zestawienie wariantów obliczeniowych wartości bieżącej netto NPV oraz szacowany przychód w poszczególnych latach eksploatacji pompy ciepła

Obliczenia przeprowadzono dla 45 wariantów. Podstawowe dane do obliczeń zawiera specyfikacja. W obliczeniach uwzględniono nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 150$ tys. zł, 220 tys. zł, 280 tys. zł, 340 tys. zł, 400 tys. zł w zależności od mocy pompy ciepła $Q_{instpc} = 13,5$ kW; 27,0 kW; 40,5 kW; 54,0 kW; 67,5 kW. Zestawienie w tabeli 1 wyników

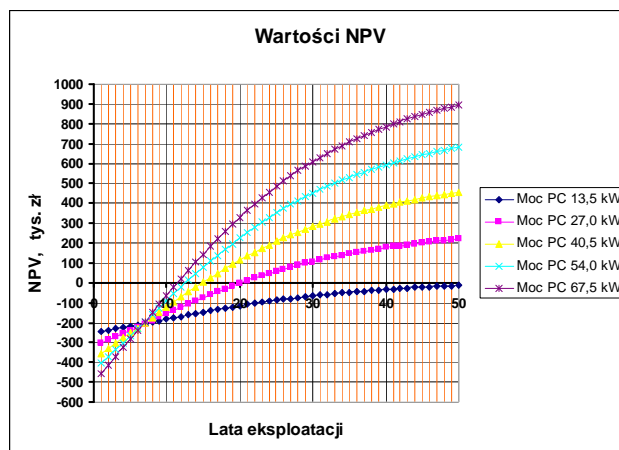
obliczeniowych dla każdego z wariantów oraz ich wielkości w ujęciu graficznym stanowią podstawę do wyboru optymalnego wariantu obliczeniowego. W pracy pokazano wybrany wariant obliczeniowy z przyjętą temperaturą kończącą sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^{\circ}\text{C}$ oraz temperaturę źródła górnego pompy ciepła $T_g = 55^{\circ}\text{C}$.

Specyfikacja danych do obliczeń, wspólnych dla wszystkich obliczeniowych wariantów

1. Dane pompy ciepła.
 - Obciążenia stałe.
 - Cena energii do napędu silnika PC – $C_{elpc} = 0,58$ zł/kWh.
 - Temperatura kończąca sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^{\circ}\text{C}$.
 - Temperatura źródła górnego pompy ciepła $T_g = 55^{\circ}\text{C}$
 - Temperatura źródła dolnego pompy ciepła $T_d = 1^{\circ}\text{C}, 3^{\circ}\text{C}, 5^{\circ}\text{C}$.
2. Dane instalacji ogrzewania hybrydowego.
 - Obciążenia stałe.
 - Nakład inwestycyjny $K_{inkh} = 100$ tys. zł.
 - Wkład własny $K_{wkh} = 100$ tys. zł.
3. Dane instalacji porównawczej.
 - Obciążenia stałe.
 - Nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 0$ zł.
 - Wkład własny $K_{wipc} = 0$ zł.
 - Cena paliwa do kotła porównawczego $C_{palko} = 75,61$ zł/GJ.
4. Dodatkowe opłaty za energię dla źródła hybrydowego.
 - Obciążenia stałe.
 - Stawka za zamówioną moc elektryczną $K_{mocel} = 12,32$ zł (kW x mies.).
 - Opłata manipulacyjna $K_{manip} = 28,67$ zł/mies.

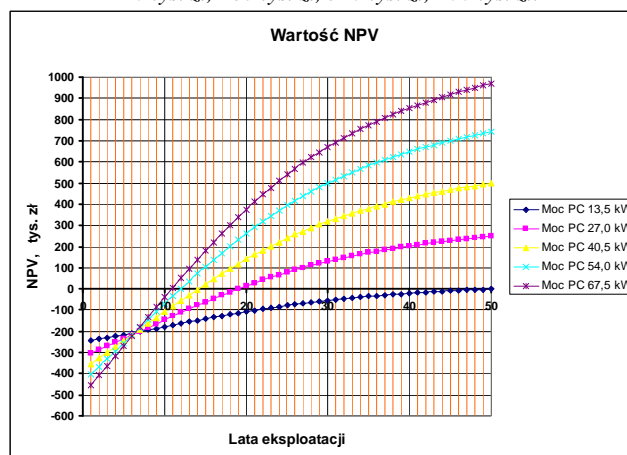
Wybrany wariant obliczeniowy

1. Dane pompy ciepła.
 - Moc pompy ciepła $Q_{inst} = 67,5$ kW (5 x 13,5 kW).
 - Nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 400$ tys. zł.
 - Wkład własny $K_{wipc} = 400$ tys. zł.
2. Dodatkowe opłaty za energię dla źródła hybrydowego.
 - Elektryczna moc zamówiona $P_{elzam} = 28,00$ kW.
3. Wartość dodatnia dla okresu eksploatacji pompy ciepła oraz wartość bieżąca netto NPV.
 - Wartość dodatnia uzyskana w roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła $N+ = 11.$ rok ÷ 12. rok.
 - Wartość NPV w dwudziestym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła $NPV_{20} = +328,8$ tys. zł ÷ +416,0 tys. zł.



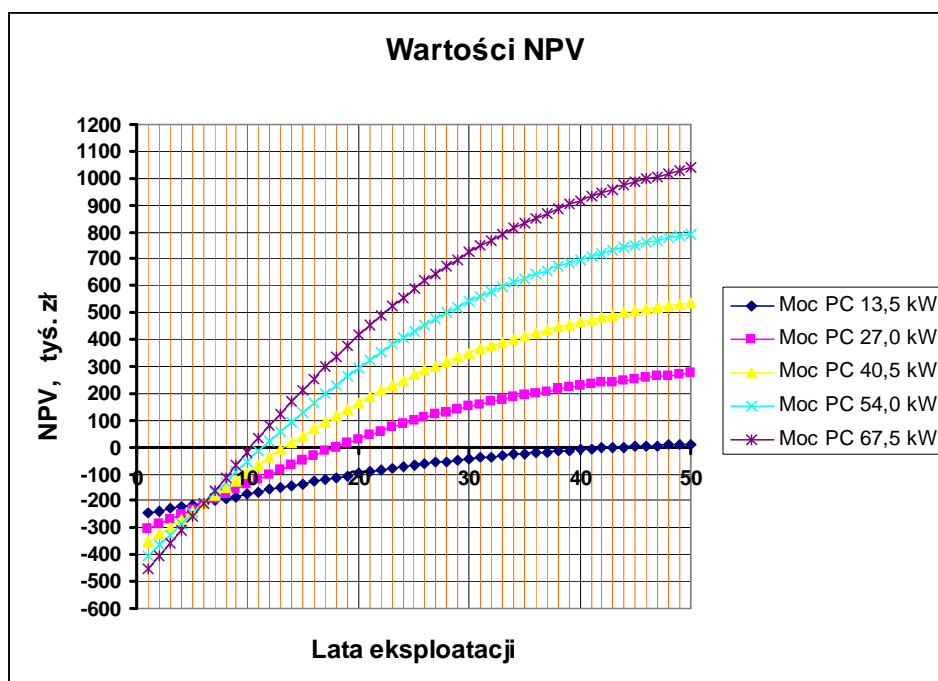
Rys. 1. Wartości bieżące netto NPV oraz szacowany przychód w poszczególnych latach eksploatacji. Moc PC 13,5 kW; 27,0 kW; 40,5 kW; 54,0 kW; 67,5 kW. Temp. kończąca sezon grzewczy 12°C. Temp. górna PC 55°C. Temp. dolna PC 1°C. Nakład inwestycyjny 150 tys. zł, 220 tys. zł, 280 tys. zł, 340 tys. zł, 400 tys. zł.

Fig. 1. Net present value (NPV) and estimated income in individual years of the exploitation. Power PC 13,5 kW; 27,0 kW; 40,5 kW; 54,0 kW; 67,5 kW. The final temperature of the heating season 12°C. The higher temperature PC 55°C. The lower temperature PC 1°C. The investment effort 150 tys. zł, 220 tys. zł, 280 tys. zł, 340 tys. zł, 400 tys. zł.



Rys. 2. Wartości bieżące netto NPV oraz szacowany przychód w poszczególnych latach eksploatacji. Moc PC 13,5 kW; 27,0 kW; 40,5 kW; 54,0 kW; 67,5 kW. Temp. kończąca sezon grzewczy 12°C. Temp. górna PC 55°C. Temp. dolna PC 3°C. Nakład inwestycyjny 150 tys. zł, 220 tys. zł, 280 tys. zł, 340 tys. zł, 400 tys. zł.

Fig. 2. Net present value (NPV) and estimated income in individual years of the exploitation. Power PC 13,5 kW; 27,0 kW; 40,5 kW; 54,0 kW; 67,5 kW. The final temperature of the heating season 12°C. The higher temperature PC 55°C. The lower temperature PC 3°C. The investment effort 150 tys. zł, 220 tys. zł, 280 tys. zł, 340 tys. zł, 400 tys. zł.



Rys. 3. Wartości bieżące netto NPV oraz szacowany przychód w poszczególnych latach eksploatacji. Moc PC 13,5 kW; 27,0 kW; 40,5 kW; 54,0 kW; 67,5 kW. Temp. kończąca sezon grzewczy 12°C . Temp. górna PC 55°C . Temp. dolna PC 5°C . Nakład inwestycyjny 150 tys. zł, 220 tys. zł, 280 tys. zł, 340 tys. zł, 400 tys. zł.

Fig.3. Net present value (NPV) and estimated income in individual years of the exploitation. Power PC 13,5 kW; 27,0 kW; 40,5 kW; 54,0 kW; 67,5 kW. The final temperature of the heating season 12°C . The higher temperature PC 55°C . The lower temperature PC 5°C . The investment effort 150 tys. zł, 220 tys. zł, 280 tys. zł, 340 tys. zł, 400 tys. zł.

Wykresy na rys. 1-3 charakteryzują w ujęciu graficznym wielkości otrzymanych wyników obliczeniowych poszczególnych wariantów w zależności od mocy zainstalowanej pompy ciepła. Każdy rysunek stanowi pięć charakterystyk. Dolny pierwszy wykres dotyczy wariantu 1 z uwzględnieniem mocy pompy ciepła $Q_{pc} = 13,5\text{ kW}$ o nakładzie inwestycyjnym $K_{inpc} = 150\text{ tys. zł}$ oraz kolejno w górę badanych wariantów: wariant 2 – moc PC $Q_{pc} = 27,0\text{ kW}$ – nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 220\text{ tys. zł}$; wariant 3 – moc PC $Q_{pc} = 40,5\text{ kW}$ – nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 280\text{ tys. zł}$; wariant 4 – moc PC $Q_{pc} = 54,0\text{ kW}$ – nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 340\text{ tys. zł}$; wariant 5 – moc PC $Q_{pc} = 67,5\text{ kW}$ – nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 400\text{ tys. zł}$. Wykresy pokazują wartości bieżące netto NPV [tys. zł] oraz szacowany przychód w poszczególnych latach eksploatacji w odniesieniu do temperatury źródła dolnego pompy ciepła $T_d = 1^{\circ}\text{C}$, 3°C , 5°C oraz dla temperatury źródła górnego pompy ciepła $T_g = 55^{\circ}\text{C}$ przy temperaturze kończącej sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^{\circ}\text{C}$.

Sporządzone wykresy umożliwiają przeprowadzenie analizy wyników i wybór optymalnego wariantu obliczeniowego.

3. ANALIZA EKONOMICZNYCH WARIANTÓW OBLICZENIOWYCH

W badaniach istotną rolę stanowi wartość dodatnia dla danego okresu eksploatacji pompy ciepła oraz wartość bieżąca netto NPV. Poszczególne warianty obliczeniowe przedstawiono w ujęciu tabelarycznym i graficznym. Zestawienie wyników obliczeniowych zawiera tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeniowych

Table 1. The list of computational research findings

Wyszczególnienie wariant-założenie	$T_g = 50^\circ\text{C}$			$T_g = 55^\circ\text{C}$			$T_g = 60^\circ\text{C}$		
	$T_d = 1^\circ\text{C}$	$T_d = 3^\circ\text{C}$	$T_d = 5^\circ\text{C}$	$T_d = 1^\circ\text{C}$	$T_d = 3^\circ\text{C}$	$T_d = 5^\circ\text{C}$	$T_d = 1^\circ\text{C}$	$T_d = 3^\circ\text{C}$	$T_d = 5^\circ\text{C}$
Moc pompy ciepła $Q_{instpc} = 13,5 \text{ kW}$; nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 150 \text{ tys. zł}$; temperatura kończąca sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$									
N_+			45			44			44
NPV_{20}	-116,6	-108,1	-100,4	-115,7	-107,2	-99,4	-115,7	-107,2	-99,4
Moc pompy ciepła $Q_{instpc} = 27,0 \text{ kW}$; nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 220 \text{ tys. zł}$; temperatura kończąca sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$									
N_+	21	19	19	21	20	19	21	20	19
NPV_{20}	-6,0	11,2	26,8	3,4	14,0	29,8	3,4	14,0	29,8
Moc pompy ciepła $Q_{instpc} = 40,5 \text{ kW}$; nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 280 \text{ tys. zł}$; temperatura kończąca sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$									
N_+	16	15	14	15	15	14	15	15	14
NPV_{20}	+108,4	+134,5	+158,2	+113,6	+140,1	+164,2	+113,6	+140,1	+164,2
Moc pompy ciepła $Q_{instpc} = 54,0 \text{ kW}$; nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 340 \text{ tys. zł}$; temperatura kończąca sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$									
N_+	13	13	12	13	13	12	13	13	12
NPV_{20}	+217,0	+252,2	+284,2	+225,5	+261,5	+294,1	+225,5	+261,5	+294,1
Moc pompy ciepła $Q_{instpc} = 67,5 \text{ kW}$; nakład inwestycyjny $K_{inpc} = 400 \text{ tys. zł}$; temperatura kończąca sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$									
N_+	12	12	11	12	11	11	12	11	11
NPV_{20}	+315,6	+360,1	+400,5	+328,8	+374,5	+416,0	+328,8	+374,5	+416,0

N_+ – wartość dodatnia uzyskana w roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła [rok]

NPV_{20} – wartość NPV w 20. roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła [tys. zł]

T_g – temperatura źródła górnego pompy ciepła [$^\circ\text{C}$]

T_d – temperatura źródła dolnego pompy ciepła [$^\circ\text{C}$]

Przeprowadzone badania wykazały, że dla przyjętej w założeniach mocy pompy ciepła $Q_{instpc} = 67,5 \text{ kW}$ (5 x 13,5kW) o nakładzie inwestycyjnym $K_{inpc} = 400 \text{ tys. zł}$ przy temperaturze kończącej sezon grzewczy $T_{grzew} = 17^\circ\text{C}$ dla wariantów, w których tempe-

ratura źródła górnego pompy ciepła $T_g = 55^\circ\text{C}$ i 60°C , a temperatura źródła dolnego pompy ciepła $T_d = 5^\circ\text{C}$, najwcześniej zostanie uzyskana wartość dodatnia NPV w dziewiątym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła ($N_+ = 9$. rok). W tym wariantcie występuje najwyższa wartość NPV w dwudziestym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła $NPV_{20} = 586,1$ tys. zł.

Badany obiekt znajduje się w pierwszej strefie klimatycznej. Temperatura kończąca sezon grzewczy wynosi $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$. Przyjęta została w założeniach moc pompy ciepła $Q_{instpc} = 67,5$ kW (5 x 13,5 kW) o nakładzie inwestycyjnym pompy ciepła $K_{mpc} = 400$ tys. zł dla wariantu, w którym temperatura źródła górnego pompy ciepła $T_g = 55^\circ\text{C}$, a temperatura źródła dolnego pompy ciepła $T_d = 3^\circ\text{C}$. Wartość dodatnia NPV zostanie uzyskana w jedenastym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła ($N_+ = 11$. rok). Natomiast wartość NPV w dwudziestym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła $NPV_{20} = 374,5$ tys. zł (patrz tabela 1).

Wyniki dokonanych badań wskazują na możliwość wyboru wariantu obliczeniowego wskaźników ekonomicznych. Z analizowanych wariantów dotyczących obliczeń wartości netto NPV oraz szacowany przychód w poszczególnych latach eksploatacji pompy ciepła wybrano wariant 5 zawarty w pracy, gdzie temperatura źródła górnego i dolnego pompy ciepła wynosi odpowiednio $T_g = 55^\circ\text{C}$ i $T_d = 3^\circ\text{C}$, o łącznej mocy pomp ciepła $Q_{instpc} = 67,5$ kW (5 x 13,5 kW), przy temperaturze kończącej sezon grzewczy $T_{grzew} = 12^\circ\text{C}$. Dla wybranego wariantu nakład inwestycyjny pomp ciepła wynosi $K_{mpc} = 400$ tys. zł.

4. ZASTOSOWANIE POMP CIEPŁA DO HYBRYDOWEGO UKŁADU OGRZEWANIA

Gdy zapotrzebowanie na ciepło i zimno różni się znacząco, niezbędne jest zastosowanie dodatkowego źródła wytwarzania ciepła lub zimna. Wiąże się to często z instalacją dodatkowego kotła, zwłaszcza gdy niedobór występuje po stronie ogrzewania [7]. Do hybrydowego układu ogrzewania obiektów GSW wybrano pompy ciepła typu, każda o mocy znamionowej $Q = 13,5$ kW. Łączna moc zastosowanych pomp ciepła, w zależności od wariantu, wynosi:

- $Q_c = 67,5$ kW dla układu 5 x 13,5 kW;
- $Q_c = 54,0$ kW dla układu 4 x 13,5 kW;
- $Q_c = 40,5$ kW dla układu 3 x 13,5 kW;
- $Q_c = 27,0$ kW dla układu 2 x 13,5 kW;
- $Q_c = 13,5$ kW dla układu 1 x 13,5 kW.

Wybrano pompy ciepła typu solanka / woda, współpracujące z wbudowanym zasobnikiem ciepłej wody użytkowej WPC 13. Urządzenia te mają konstrukcję w wykonaniu kompaktowym, do ustawienia wewnątrz budynku, z metalową obudową lakierowaną w kolorze białym. W części przedniej znajduje się automatyka sterująca WPM II, w dolnej części – zintegrowany emaliowany zasobnik ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Woda jest grzana w układzie bezpośrednim poprzez wbudowaną wewnątrz węzownicę, co znacznie skraca czas grzania oraz zwiększa komfort użytkowania. Wbudowana grzałka elektryczna o mocy 6,6 kW umożliwi eksploatację w systemie biwalentnym. Pozwala na osiągnięcie wysokich temperatur ciepłej wody użytkowej i zapewnia ochronę przed legionellą.

Pompa ciepła wyposażona jest w elementy zabezpieczające: czujniki wysokiego i niskiego ciśnienia, trzy czujniki temperatur: zasilania, powrotu i dolnego źródła, zabezpieczenie przed zamrażaniem oraz ogranicznik prądu rozruchowego. Pompa ciepła posiada ponadto:

- pompę obiegową UPS 25-60, służącą do ładowania zbiornika buforowego centralnego ogrzewania (c.o.) oraz zasobnika ciepłej wody użytkowej (c.w.u.);
- trzydrogowy zawór pozwalający załączać pompę obiegową dolnego źródła.

Zakres wyposażenia obejmuje także regulator pogodowy WPM II i grupę bezpieczeństwa, składającą się z zaworu bezpieczeństwa 3 bar, manometru 4 bar i automatycznego odpowietrznika. W systemach biwalentnych maksymalna temperatura wody grzewczej przepływającej przez urządzenie będące w stanie spoczynku nie może przekraczać $+75^{\circ}\text{C}$.

5. DANE TECHNICZNE WYBRANEJ POMPY CIEPŁA

Współczynnik wydajności pompy ciepła w funkcji temperatury źródeł górnego i dolnego w zestawieniu tabelarycznym przedstawia tabela 2. Wyniki aproksymacji wykresów empirycznych opisano wzorem (4) [10] oraz zestawiono w tabeli 2 i zilustrowano na rys. 4.

$$\varphi = \frac{Q_k}{L} = \frac{\dot{Q}_k}{N} \quad (4)$$

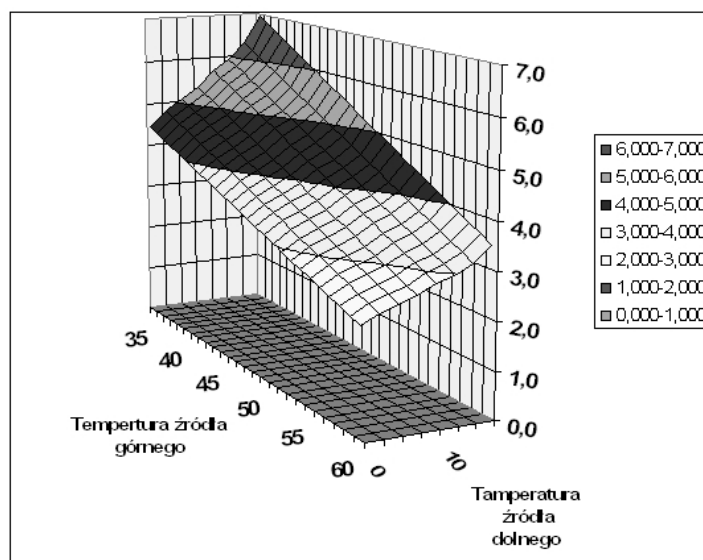
gdzie:

- φ – współczynnik wydajności cieplnej,
- Q_k – energia cieplna oddana do środowiska ogrzewanego,
- L – energia napędowa urządzenia,
- \dot{Q}_k – wydajność cieplna,
- N – moc napędowa

Tabela 2. Współczynniki wydajności pompy ciepła PC w funkcji temperatur źródeł górnego i dolnego

Table 2. PC heat pump efficiency factors in the higher and the lower source temperature function

Lp.	Temperatura źródła górnego t_g [°C]	Temperatura źródła dolnego t_d [°C]							
		0	3	5	7	10	12	15	20
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
1	35	4,465	4,840	5,090	5,340	5,715	5,965	6,340	6,965
2	36	4,376	4,743	4,988	5,233	5,600	5,845	6,213	6,825
3	37	4,286	4,646	4,886	5,126	5,486	5,726	6,086	6,686
4	38	4,197	4,550	4,784	5,019	5,372	5,607	5,959	6,546
5	39	4,108	4,453	4,683	4,913	5,257	5,487	5,832	6,407
6	40	4,019	4,356	4,581	4,806	5,143	5,368	5,705	6,267
7	41	3,930	4,260	4,479	4,699	5,029	5,249	5,578	6,128
8	42	3,841	4,163	4,378	4,592	4,914	5,129	5,451	5,988
<i>9</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
9	43	3,752	4,066	4,276	4,486	4,800	5,010	5,324	5,849
10	44	3,663	3,970	4,174	4,379	4,686	4,890	5,197	5,709
11	45	3,574	3,873	4,073	4,272	4,572	4,771	5,071	5,570
12	46	3,484	3,776	3,971	4,165	4,457	4,652	4,944	5,430
13	47	3,395	3,680	3,869	4,059	4,343	4,532	4,817	5,290
14	48	3,306	3,583	3,767	3,952	4,229	4,413	4,690	5,151
15	49	3,217	3,486	3,666	3,845	4,114	4,294	4,563	5,011
16	50	3,128	3,390	3,564	3,738	4,000	4,174	4,436	4,872
17	51	3,039	3,293	3,462	3,632	3,886	4,055	4,309	4,732
18	52	2,950	3,196	3,361	3,525	3,771	3,936	4,182	4,593
19	53	2,861	3,100	3,259	3,418	3,657	3,816	4,055	4,453
20	54	2,772	3,003	3,157	3,311	3,543	3,697	3,928	4,314
21	55	2,682	2,906	3,055	3,205	3,428	3,578	3,801	4,174
22	56	2,593	2,810	2,954	3,098	3,314	3,458	3,674	4,035
23	57	2,504	2,713	2,852	2,991	3,200	3,339	3,548	3,895
24	58	2,415	2,616	2,750	2,884	3,085	3,220	3,421	3,756
25	59	2,326	2,520	2,649	2,778	2,971	3,100	3,294	3,616
26	60	2,237	2,423	2,547	2,671	2,857	2,981	3,167	3,477



Rys. 4. Wykres współczynnika wydajności pompy ciepła w funkcji temperatury źródła górnego i dolnego (COP)
 Fig. 4. The chart presenting heat pump efficiency factor in the higher and the lower source temperature function (COP)

Analizując dane zawarte w tabeli 2 dotyczące współczynników wydajności pompy ciepła w funkcji temperatury źródeł górnego i dolnego stwierdza się, że współczynniki te kształtują się w przedziale od 2,237 do 6,965. Współczynniki wydajności pompy ciepła uzależnione są od temperatury źródła górnego – w granicach od 35°C do 60°C oraz od temperatury źródła dolnego – w granicach od 0°C do 20°C. W ujęciu graficznym wykres współczynnika wydajności pompy ciepła w funkcji temperatury źródła górnego i dolnego pokazano na rys. 4.

6. PODSUMOWANIE

Zagadnienia ekonomicznych wariantów obliczeniowych zostały scharakteryzowane w niniejszym opracowaniu. Model ekonomiczno-finansowy obejmuje 45 wariantów obliczeniowych. Uzależniony jest od nakładów inwestycyjnych poniesionych na zainstalowanie mocy pompy ciepła Q_{inst} . W każdym wariantcie występuje 9 założeń w zależności od temperatury źródła dolnego i górnego pompy ciepła (T_d , T_g , PC). Wyniki dokonanych badań pomagają na możliwość wyboru wariantu obliczeniowego wskaźników ekonomicznych.

Z obliczeń wartości netto NPV oraz szacowanego przychodu w poszczególnych latach eksploatacji pompy ciepła wybrano wariant 5 zawarty w pracy, gdzie temperatura źródła górnego i dolnego pompy ciepła wynosi odpowiednio $T_g = 55^\circ\text{C}$ i $T_d = 3^\circ\text{C}$, o łącznej mocy pomp ciepła $Q_{instpc} = 67,5 \text{ kW}$ ($5 \times 13,5 \text{ kW}$), przy temperaturze kończącej sezon

grzewczy $T_{grzew} = 12^{\circ}\text{C}$. Dla wybranego wariantu nakład inwestycyjny pomp ciepła wynosi $K_{inpc} = 400$ tys. zł. Wartość dodatnia NPV zostanie uzyskana w jedenastym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła ($N_+ = 11$. rok). Natomiast wartość NPV w dwudziestym roku eksploatacji zainstalowanej pompy ciepła $NPV_{20} = 374,5$ tys. zł. Zmienność wartości NPV dla tego wariantu obliczeniowego jest przedstawiona na wykresie (rys. 2).

Warunki wyboru wariantu obliczeniowego zestawu urządzeń dla poprawy efektywności technicznej i ekonomicznej instalacji grzewczej to między innymi: najkrótszy czas osiągnięcia dodatniej wartości NPV, czas trwania sezonu grzewczego i czas użytkowania mocy zainstalowanej kotłowni oraz istniejące rozwiązania konstrukcyjne sieci ciepłowniczej i dostępna powierzchnia terenu na zainstalowanie wymienników niskotemperaturowych pompy ciepła, a także lokalizacja obiektu i uwarunkowania dotyczące ochrony środowiska.

Najkrótszy czas osiągnięcia dodatniej wartości NPV jest równy 9 lat. Przy założeniu, że sezon grzewczy kończy się z temperaturą powietrza 17°C . Temperatura ta wydłuża sezon grzewczy co w rezultacie spowoduje wzrost zużycia paliwa w kotłowni oraz zużycie energii elektrycznej do obsługi instalacji grzewczej. Konsekwencją tego jest wzrost zanieczyszczenia środowiska. W celu ograniczenia wyżej wymienionych czynników wzięto pod uwagę krótszy sezon grzewczy wyznaczony temperaturą powietrza 12°C . Temperatura ta jest zwyczajowo przyjmowana w systemach ciepłowniczych w regionie.

Wybrane do zastosowania pompy ciepła zostały scharakteryzowane z uwzględnieniem uwarunkowań technologiczno-technicznych tego urządzenia. Współczynnik wydajności wybranej pompy ciepła w funkcji temperatury źródeł górnego $T_g = 55^{\circ}\text{C}$ i dolnego $T_d = 3^{\circ}\text{C}$ wynosi 2,906 (patrz tabela 2). Wskazane przy współczynniku wydajności wielkości temperatur źródeł górnego i dolnego odpowiadają wybranemu wariantowi obliczeniowemu wskaźników ekonomicznych.

Przedstawiona problematyka wybranych zagadnień efektywności pomp ciepła w energetyce ciepłej ma istotny wpływ na uwarunkowania ekonomiczne i ekologiczne. W rozwoju nowych technologii wdrażanych w ciepłownictwie udział biorą również źródła energii odnawialnych. Ekonomiczna efektywność układów ogrzewania z pompą ciepła stanowi znaczący element w systemie energetyki ciepłej.

7. LITERATURA

- [1] Brodowicz K., Dyakowski T.: Pompy ciepła, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1990.
- [2] Chwieduk D.: Odnawialne źródła energii źródłem ciepła dla pomp ciepła, Materiały Ogólnopolskiego Forum „Mała energetyka”, Chańcza, maj 1996.
- [3] Klugmann E., Klugmann-Radziemska E.: Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2005.
- [4] Kopecki K.: Materiały i Studia. Tom V. Zasady ekonomicznego rachunku. Część I. Ogólne założenia i metodyka rachunku gospodarczego w pracach planowo-projektowych w elektroenergetyce, Wydawnictwo PAN Komitet Elektryfikacji Polski, Warszawa 1960.
- [5] Kusto Z.: Uwarunkowania ekonomicznej efektywności pomp ciepła, Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2006.

- [6] Kusto Z.: Współpraca pomp ciepła ze źródłem konwencjonalnym. Algorytmy obliczania bilansu energetycznego i efektywności ekonomicznej, Wyd. GWSA, Gdańsk 2009.
- [7] Recknagel H., Sprenger E., Hönnmann W., Schramek E.R.: Ogrzewanie i klimatyzacja. Poradnik, Wydawnictwo EWF, Gdańsk 1994.
- [8] Stiebel Eltron: Kotły z agregatem sprężarkowym solanka / woda z wbudowanym zasobnikiem ciepłej wody użytkowej WPC 5/7/10/13. Wydawnictwo TS – 09/2005.
- [9] Stiebel Eltron: Osprzęt kotłów grzewczych z agregatem sprężarkowym. Wydawnictwo TS – 09/2005.
- [10] Zalewski W.: Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Wydawnictwo IPPU „MASTA”, Gdańsk 2001.

SELECTED ASPECTS OF HEAT PUMPS EFFECTIVENESS IN THERMAL INDUSTRY

SUMMARY

The work concerns the selected aspects of heat pumps effectiveness in the thermal industry; it presents the classification and use of heat pumps. It shows the efficiency of heating systems with heat pumps and describes the use of heat pumps in hybrid heating systems. The work considers the existing technological and technical opportunities of the PC Stiebel Eltron heat pump. The work presents the technical parameters of the selected heat pump.

Katarzyna NOWAK, dr inż.
Małgorzata ROJEWSKA-WARCHAŁ, mgr inż.

Politechnika Krakowska
Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli
ul. Warszawska 24, 30-155 Kraków
kaskanowa@poczta.onet.pl
m_rojewska@wp.pl

WPŁYW PRZESZKLENIA I MODERNIZACJI BUDYNKU SAKRALNEGO NA ZYSKI SŁONECZNE I KOMFORT CIEPLNY

STRESZCZENIE

W referacie przedstawione zostaną wyniki całosezonowych obliczeń symulacyjnych dla modernizowanego budynku sakralnego. Uwzględnione zostaną zyski słoneczne jakie mogą zostać osiągnięte w zależności od rodzaju oszklenia stosowanego w otworach okiennych budynku kościoła. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Design Builder. Program ten jest narzędziem pozwalającym na symulację budynku oraz jego wnętrza przy użyciu programu Energy Plus. Dla polskich warunków klimatycznych przeprowadzone zostały symulacje pozwalające na ocenę zysków wewnętrznych zarówno dla wariantu przed jak i po modernizacji kościoła. Celem przeprowadzonych analiz było również określenie w jaki sposób rozwiązania termomodernizacyjne wpływają na mikroklimat obiektu sakralnego.

1. WPROWADZENIE

Dominującym kryterium podczas modernizacji budynków zarówno mieszkalnych jak i użyteczności publicznej jest poprawa charakterystyki energetycznej tych obiektów. W celu zmniejszenia ponoszonych kosztów na utrzymanie budynków podejmowane są inwestycje mające na celu przede wszystkim poprawę izolacyjności cieplnej przegród oraz sprawności instalacji ogrzewania.

Przedmiotem badań i analiz symulacyjnych jest Kościół parafialny w Szczawnicy. Został on wybudowany w latach 1882 – 1892 wg projektu Stanisława Eliasza – Radzikowskiego w stylu neogotyckim. Bryła kościoła wzniesiona jest z kamienia pienińskiego tzw. andezytu pienińskiego oraz piaskowca magurskiego. W zarysie został zachowany plan krzyża

łacińskiego. Pierwotnie kościół pokryty był gontem a od 1909 roku blachą. W latach 80 – tych zostały wprawione szyby zewnętrzne w okna witrażowe. W roku 2006 ściany kościoła zostały ocieplone.

Celem przeprowadzonych prac modernizacyjnych była poprawa warunków ciepłno- wilgotnościowych wewnątrz obiektu oraz poprawa warunków komfortu cieplnego wiernych podczas mszy.

Dominującym kryterium podczas modernizacji budynków zarówno mieszkalnych jak i użyteczności publicznej jest poprawa charakterystyki energetycznej tych obiektów. W celu zmniejszenia ponoszonych kosztów na utrzymanie budynków podejmowane są inwestycje mające na celu przede wszystkim poprawę izolacyjności cieplnej przegród oraz sprawności instalacji ogrzewania.

Wymagania zawarte w Prawie Budowlanym dotyczące wykonania charakterystyki energetycznej budynków nie są stosowane między innymi do budynków "użytkowanych jako miejsce kultu i do działalności religijnej". Podjęte w omawianym kościele działania termomodernizacyjne nie podlegają więc ocenie w aspekcie spełnienia wymagań zawartych w Warunkach Technicznych.

Efektywność tych działań oceniona może być przez obniżenie kosztów ogrzewania obiektu oraz przez poprawę parametrów komfortu cieplnego.

Oceniając komfort cieplny pomieszczeń nie wolno zapominać, że stworzony w budynku mikroklimat wnętrza jest rezultatem nie tylko działalności pracy projektowej, wykonawczej ale również sposobu eksploatacji pomieszczeń.

Komfort cieplny definiowany jako stan, w którym człowiek czuje, że jego organizm znajduje się w stanie zrównoważonego bilansu cieplnego oceniany jest najczęściej dopiero na etapie użytkowania budynków. Takie też prace zostały podjęte dla opisanego kościoła.

Określanie uczucia komfortu cieplnego w całym pomieszczeniu jest problematyką dosyć indywidualną i subiektywną.

Do oceny komfortu cieplnego pomieszczeń potrzebna jest znajomość szeregu czynników: aktywności fizycznej ludzi, izolacyjności odzieży oraz informacje związane z parametrami otoczenia: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość przepływu powietrza oraz wilgotność względna powietrza.

Na podstawie normy europejskiej [...] oceny komfortu cieplnego dokonuje się między innymi na podstawie wartości wskaźników PMV.

Wskaźnik określający odczuwanie ciepła przez ludzi PMV (statystyczny wskaźnik odczuwania ciepła) wyrażany jest w siedmiostopniowej skali ocen: od wartości -3 do wartości +3. Zalecane jest aby wartość powyższego wskaźnika mieściła się w zakresie $-0,5 < PMV < +0,5$.

Ocena komfortu cieplnego za pomocą normowych wskaźników PMV i PPD posługuje się metodą Fanger'a, określoną równaniem:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,306 \cdot M) + 0,028] \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} (3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)) \quad (2)$$

gdzie:

- M – wielkość metabolizmu W/m^2 ;
W – jest gęstością utraty energii w postaci pracy mechanicznej, W/m^2 ;
 I_{cl} – izolacyjność odzieży, m^2K/W
 f_{cl} – powierzchnia ubrania;
 t_a – temperatura powietrza, $^{\circ}C$;
 t_r – średnia temperatura promieniowania, $^{\circ}C$;
 t_{cl} – temperatura powierzchni ubrania, $^{\circ}C$;

Tak duża ilość parametrów wpływających na wskaźniki komfortu oraz dyskomfortu cieplnego utrudnia projektantom zadanie oceny tych parametrów oraz zadanie analizy wpływu właściwości zewnętrznych przegród budynku na komfort cieplny projektowanych pomieszczeń.

Zastosowanie programów symulacyjnych pozwala na wrażliwą ocenę wpływu poszczególnych wariantów rozwiązań projektowych i modernizacyjnych na zapotrzebowanie cieplne obiektów oraz na jakość warunków klimatu wewnętrznego.

2. PRZEDMIOT OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Całkowita powierzchnia kościoła parafialnego w Szczawnicy wynosi $621,57 m^2$, natomiast ogrzewane jest $508,32 m^2$. Powierzchnia ścian zewnętrznych obiektu wynosi $1312,43 m^2$, a powierzchnia przeszkleń zewnętrznych $213,8m^2$, co stanowi 14,0% powierzchni elewacji.

Zanim podjęte zostały prace modernizacyjne parametry cieplne przegród były następujące: Kamienne ściany budynku - współczynnik przenikania ciepła $U=1,718 [W/m^2K]$, Okna witrażowe - współczynnik przenikania ciepła $U=5,778 [W/m^2K]$, SHGC=0,602 Podłoga na gruncie- współczynnik przenikania ciepła $U=1,20 [W/m^2K]$.

Prace modernizacyjne przeprowadzane były etapowo. Początkowo poprawiono izolacyjność okien, przez zamontowanie dodatkowego bezbarwnego przeszklenia po stronie zewnętrznej okien witrażowych.

Analizy symulacyjne współczynnika przenikania ciepła dla okien zarówno przed jak i po modernizacji dokonano przy użyciu programu „Therm6.3” oraz „Window6.3” opracowanych przez Lawrence Berkley National Laboratory. Programy umożliwiają wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła ram, zestawów szybowych oraz całkowitego współczynnika U dla okien, uwzględniając właściwości cieplne i transmisyjne stosowanych szyb, ram okiennych oraz rodzaj gazu zastosowanego pomiędzy przeszklzeniami. Obliczenia przeprowadzono dla rzeczywistych wymiarów okien, podziałów szyb, uwzględniając właściwości zastosowanych przeszkleń oraz ram. Dla modernizowanego okna w którym wstawiono dodatkowe bezbarwne przeszklenie w odległości 5 cm od barwionych szyb witrażowych, uzyskano niższą wartość współczynnika przenikania ciepła ale również o 20% niższy współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego.

Osiągnięte parametry cieplne przegród po modernizacji:

Ściany budynku - współczynnik przenikania ciepła $U=0,383 [W/m^2K]$,

Okna witrażowe - współczynnik przenikania ciepła $U=2,665 [W/m^2K]$, SHGC=0,478

Podłoga na gruncie- współczynnik przenikania ciepła $U=1,20 [W/m^2K]$.

Budynek posiada tylko wentylację grawitacyjną, ogrzewanie powietrzne przy zastosowaniu kotła olejowego. Ze względu na okresowe użytkowanie obiektu system ogrzewania włączany jest okresowo według następującego harmonogramu:

- dni powszednie: 5⁰⁰-6⁰⁰ oraz 16⁰⁰-17⁰⁰,

- niedziela : 5⁰⁰-12⁰⁰ oraz 16⁰⁰-17⁰⁰.



Rys.1 Wizualizacja obiektu
Fig. 1. Building visualization

Wykonano symulacyjne obliczenia przy użyciu programu Design Builder v.3. Jest to program służący do całorocznej, dynamicznej symulacji budynków wraz z instalacjami, zawierający moduł obliczeniowy EnergyPlus, moduł CFD do analizy rozkładu temperatury i ruchu powietrza oraz moduł do wizualizacji danych wejściowych i wyników

Korzystając z danych klimatycznych bazy programu Energy Plus symulacje obliczeniowe wykonane zostały dla lokalizacji w Nowym Sączu. Celem analiz było wyznaczenie temperatury powietrza wewnętrznego, temperatury operatywnej zarówno w okresie letnim jak i zimowym. W wyznaczaniu rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania uwzględniono bilanse zysków i strat przez poszczególne przegrody oraz istotne w tego typu obiektach zyski ciepłe od ludzi. Dominującym aspektem obliczeń była ocena komfortu cieplnego. Dla okresu lata przyjęto izolacyjność odzieży $clo = 0,7$ a dla okresu zimy $clo = 1,8$.

3. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH ANALIZ

Analizy symulacyjne przeprowadzone zostały dla obiektu na różnych etapach jego modernizacji.

Przyjęto cztery podstawowe warianty do obliczeń:

I wariant – budynek kościoła przed modernizacją,

II wariant - budynek kościoła po modernizacji okien,

III wariant – budynek kościoła po modernizacji ścian zewnętrznych,

IV – wariant - budynek kościoła po modernizacji ścian zewnętrznych oraz okien

Roczne zestawienia zapotrzebowania na energię do celów grzewczych oraz oświetleniowych przedstawiono w tabeli 1.

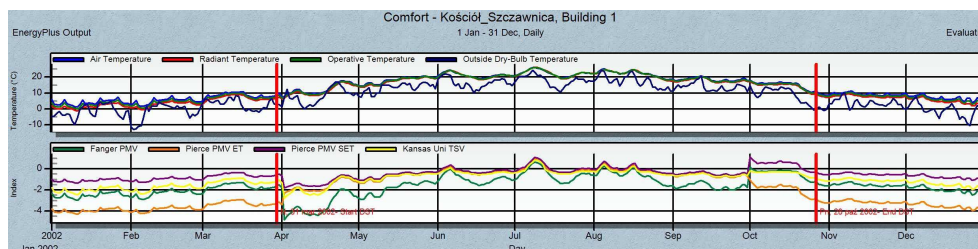
Tabela 1. Zestawienie bilansu rocznego dla poszczególnych wariantów modernizacyjnych:
Table 1. Summary of annual accounts for the different options of modernization.

	Zapotrzebowanie na energię [kWh/m ²]	Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania [kWh/m ²]	Zapotrzebowanie na energię na oświetlenie [kWh/m ²]
Wariant I	54,07	39,6	14,5
Wariant II	52,6	38,1	14,5
Wariant III	38,0	23,5	14,5
Wariant IV	35,8	21,3	14,5

Modernizację kościoła rozpoczęto od poprawy izolacyjności elementów przeszklonych poprzez zamontowanie dodatkowej szyby na zewnątrz okien witrażowych (wariant II). Wpłynęło to na zmniejszenie zysków od promieniowania słonecznego o około 21% dla obiektu. W całościowym bilansie jednak znaczna poprawa izolacyjności okien (z wartości $U=5,77$ [W/m²K] do wartości $U=2,665$ [W/m²K]) wpłynęła korzystnie nie tylko na zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania (spadek o 3,7%) ale również w niewielkim stopniu poprawiła wskaźniki komfortu cieplnego.

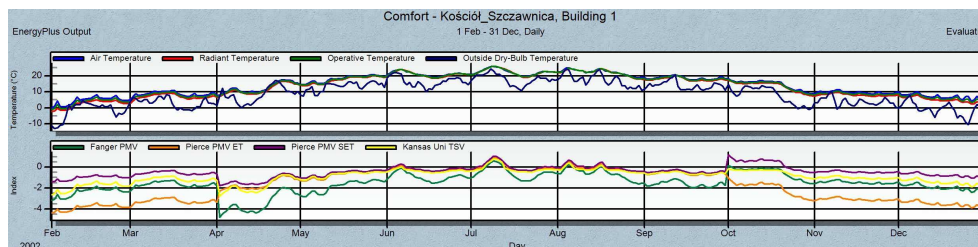
Wyjściowe obliczenia przeprowadzono dla kościoła na etapie przed pracami modernizacyjnymi, czyli dla nieocieplonych ścian i okien bez dodatkowej warstwy szyby.

Wyniki niestety nie pozwalają na pozytywną ocenę komfortu cieplnego (rys.2).

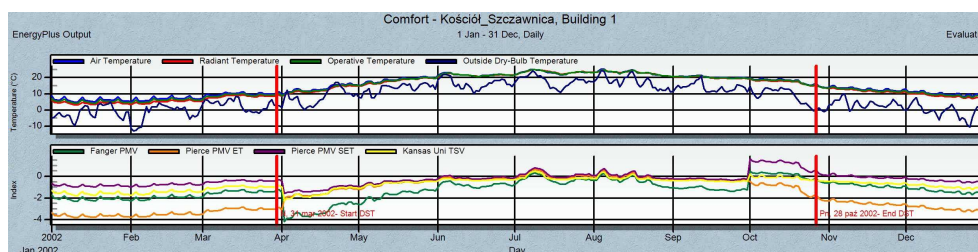


Rys.2 Wykresy dla wariantu I: .a) Roczny rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b) Roczny rozkład wartości wskaźnika PMV.

Fig. 2. Building-option I a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor



Rys.3 Wykresy dla wariantu II: .a) Roczny rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b) Roczny rozkład roczny wartości wskaźnika PMV.
Fig. 3. Building-option II a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor



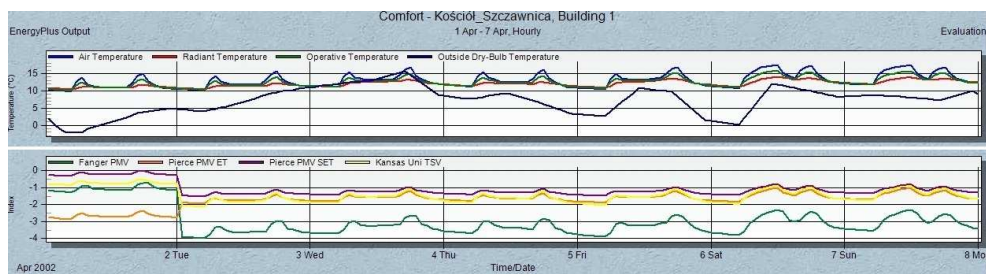
Rys.4 Wykresy dla wariantu IV: .a) Roczny rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b) Roczny rozkład roczny wartości wskaźnika PMV.
Fig. 4. Building-option IV a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor

Na podstawie rocznych wartości wskaźników komfortu cieplnego PMV (rys. 2.3.4.) można zaobserwować, iż jego wartość przez większą część jest ujemna. W miesiącach zimowych (XI – II) wartość ta jest pomiędzy -1,9 a -1,3, co wskazuje na zbyt chłodne warunki panujące w badanym kościele.

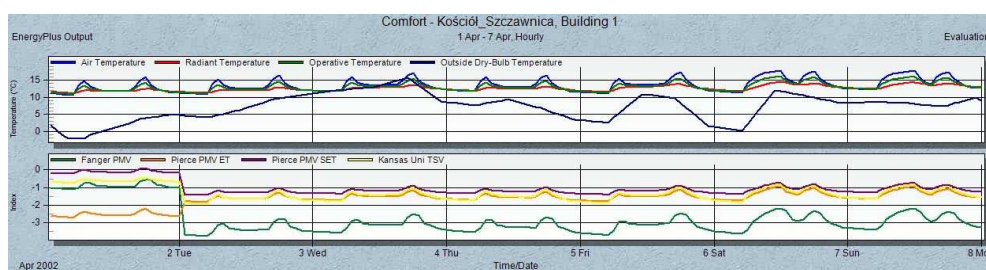
Takie warunki mikroklimatu panującego w budynku znacznie przekraczają optymalną wartość wskaźnika $-0,5 < PMV < +0,5$.

Miesiące letnie (VI-IX) dla wariantu I oraz II charakteryzują się średnią wartością wskaźnika PMV oscylującą ok. wartości -0,5 a więc już warunkami ocenianymi jako komfortowe.

Na podstawie przedstawionych diagramów (rys.2, 3, 4) można zauważyć, że bardzo neralgicznymi okresami pod względem stabilności warunków są miesiące przejściowe, czyli kwiecień oraz październik. W kwietniu występują najniższe wartości wskaźników komfortu, spadające nawet poniżej wartości -3. Wyłączenie grzania w tym miesiącu, mimo wzrastającej temperatury powietrza zewnętrznego nie powoduje szybkiego wzrostu ani temperatury powietrza wewnętrznego ani temperatury operatywnej. Taka sytuacja występuje we wszystkich czterech analizowanych przypadkach. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na tak nagłe obniżenie wskaźnika PMV w tym miesiącu ma fakt, iż osoby przychodzące do kościoła mają już na sobie lżejsze ubiory. Wykresy (rys. 5 i 6) przedstawiają szczegółowe rozkłady temperatury oraz wskaźników komfortu cieplnego w pierwszym tygodniu kwietnia dla wariantu I oraz IV.

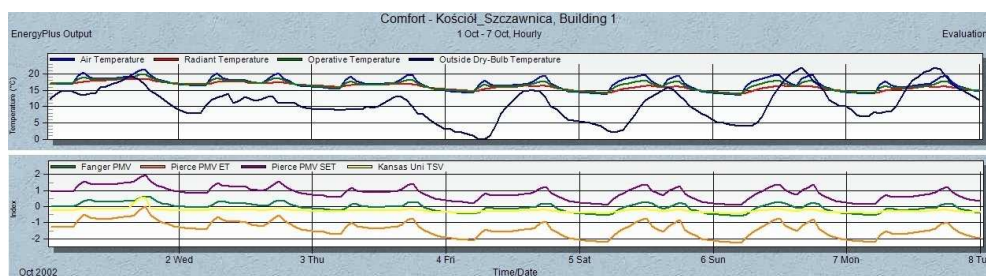


Rys.5 Wykresy dla wariantu I w miesiącu kwietniu: .a) Rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b)Rozkład wartości wskaźnika PMV.
 Fig. 5. Building -option I-april a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor

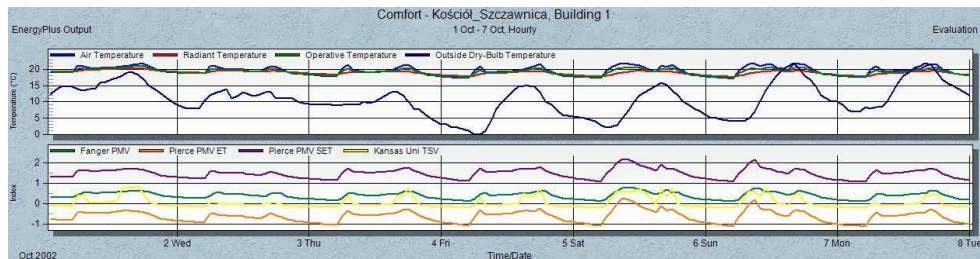


Rys.6 Wykresy dla wariantu IV w miesiącu kwietniu: .a) Rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b)Rozkład wartości wskaźnika PMV.
 Fig. 6. Building-option IV- april a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor

Odwrotna sytuacja występuje w miesiącu październiku. Jest on najkorzystniejszym w roku miesiącem pod względem komfortu cieplnego. (rys.7)



Rys.7 Wykresy dla wariantu I w miesiącu październiku: .a) Rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b)Rozkład wartości wskaźnika PMV.
 Fig. 7. Building -option I- October a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor

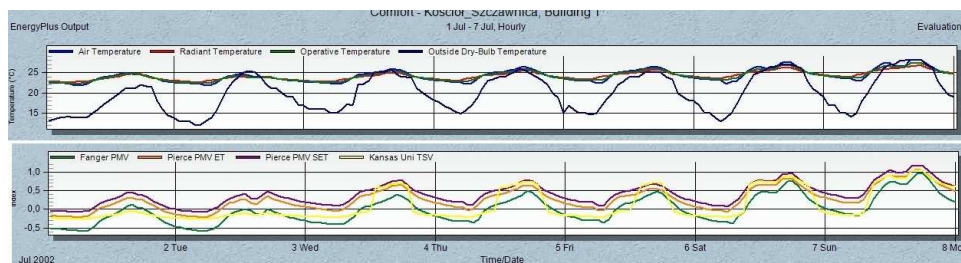


Rys.8 Wykresy dla wariantu IV w miesiącu październiku: .a) Rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego;
b)Rozkład wartości wskaźnika PMV.

Fig. 8. Building-option IV – October a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor

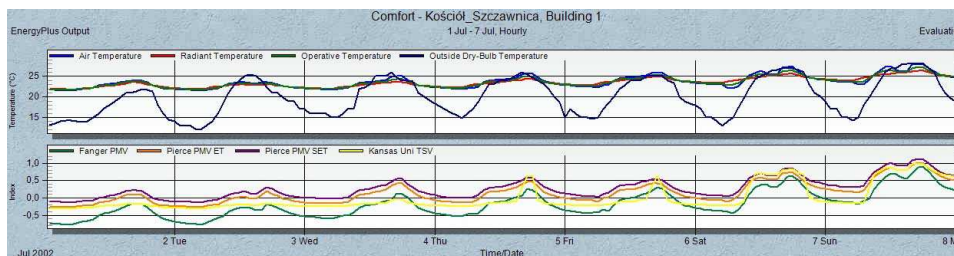
Dla wariantu IV wartość wskaźników PMV w kwietniu i październiku wynoszą odpowiednio: -2,78 i 0,248.

Ze względu na maszyną obudowę kościoła słoneczne zyski ciepłe uzyskiwane w okresie letnim nie powodują chwilowych dużych wzrostów temperatury, a przyczyniają się do dużej stabilności zarówno temperatury wewnętrznej jak i operatywnej, mimo dobowych wahań temperatury powietrza zewnętrznego (rys. 9, 10, 11), czego nie można zaobserwować dla okresu zimowego.

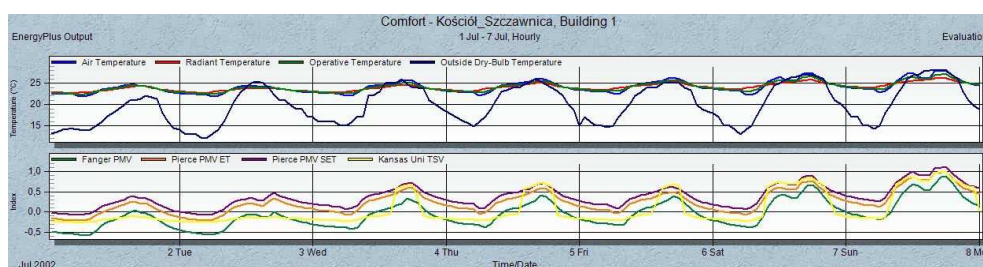


Rys.9 Wykresy dla wariantu I w miesiącu lipcu: .a) Rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b)Rozkład wartości wskaźnika PMV.

Fig. 9. Building-option I a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor



Rys.10 Wykresy dla wariantu II w miesiącu lipcu: .a) Rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b)Rozkład wartości wskaźnika PMV.
Fig. 10. Building -option II – july: a) - air temperature inside, outside, b) - PMV comfort factor



Rys.11 Wykresy dla wariantu IV w miesiącu lipcu: .a) Rozkład temperatury operatywnej, powietrza wewnętrznego oraz zewnętrznego; b)Rozkład wartości wskaźnika PMV.
Fig. 11. Building -option IV- july: a) - air temperature inside, outside,b) - PMV comfort factor

4. PODSUMOWANIE

Zamontowanie dodatkowej szyby na zewnątrz okien witrażowych, wpłynęło na zmniejszenie zysków od promieniowania słonecznego o około 21% dla obiektu. W całościowym bilansie jednak poprawa izolacyjności okien o ponad 50% wpłynęła korzystnie nie tylko na zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania (spadek o 3,7%) i poprawę wskaźników wskaźniki komfortu cieplnego.

Istotny wpływ na całkowite zapotrzebowanie na energię do ogrzewania miała całkowita modernizacja, polegająca na poprawie parametrów cieplnych zarówno stolarki okiennej jak i przegród zewnętrznych. Pomimo to przeprowadzone prace termomodernizacyjne, przy zachowanym sposobie ogrzewania nie pozwalają na uzyskanie w pełni komfortowych warunków cieplnych w całym okresie użytkowania.

Warunki komfortowe uzyskiwane są częściowo w miesiącach letnich oraz w pierwszym miesiącu sezonu grzewczego – październiku.

5. LITERATURA

- [1] PN –EN ISO 7730 „Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu cieplnego.
- [2] Budownictwo Ogólne tom2. Fizyka Budowli. Praca zbiorowa pod kierunkiem P. Klemma, Warszawa 2005r.

IMPACT OF GLASS AND THERMAL MODERNIZATION OF CHURCH BUILDING ON SOLAR PROFITS AND THERMAL COMFORT

SUMMARY

The paper presents the results of simulation for upgraded building. Calculations were performed using Design Builder. This program is a tool for simulation of the building and its interior by using Energy Plus. For the Polish climate simulations have been carried out to assess the conditions for thermal comfort of the church building in a different variants of modernization. The aim of the analysis was also define how the thermo modernization affect the microclimate of church object.

Paweł OBSTAWSKI, dr inż.
Dariusz CZEKALSKI, dr inż.

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Zakład Gospodarki Energetycznej
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: pawel_obstawski@sggw.pl
e-mail: dariusz_czekalski@sggw.pl

WPLYW WYDAJNOŚCI POMPY CYRKULACYJNEJ NA PARAMETRY EKSPLOATACYJNE PŁASKIEGO KOLEKTORA SŁONECZNEGO

STRESZCZENIE

W artykule podjęto próbę oceny wpływu prędkości masowego przepływu czynnika przez kolektor na jego parametry eksploatacyjne wyznaczane na podstawie charakterystyki sprawności. Testy kolektora przeprowadzono w warunkach polowych metodą stanu ustalonego dla dwóch przepływów masowych wynoszących 1.0 dm³/min oraz 2.5 dm³/min. Uzyskane wyniki pomiarowe porównano z charakterystyką sprawności sporządzoną w warunkach laboratoryjnych.

1. WPROWADZENIE

Właściwości eksploatacyjne płaskiego kolektora słonecznego określane są głównie na podstawie eksperymentalnie wyznaczonej charakterystyki sprawności. Charakterystyka sprawności zwana również charakterystyką cieplną lub normalną umożliwiającą również ocenę jakościową kolektora wyznaczana jest na podstawie eksperymentu, którego algorytm określa norma PN-EN12957:2 [4]. Charakterystyka sprawności określa jedynie właściwości statyczne kolektora przedstawiając sprawność kolektora w funkcji temperatury zredukowanej umożliwiając zarazem określenie mocy użytecznej kolektora oraz strat ciepła w zależności od punktu pracy kolektora. Norma określa bardzo szczegółowo warunki zarówno odnośnie budowy hydraulicznej stanowiska badawczego jaki i warunków meteorologicznych jakie powinny być spełnione podczas eksperymentu min.: stałą bardzo wysoką dawkę natężenia promieniowania słonecznego, stałą wartość przepływu przepływ czynnika oraz stałą wartość temperatury wlotowej czynnika. Należy zauważyć jednak, że badania

normatywne przeprowadzane są jedynie dla jednej wartości masowego natężenia przepływu, natomiast w warunkach eksploatacyjnych przepływ masowy czynnika może być inny od przepływu podczas badań normatywnych. W niniejszym artykule podjęta zostanie próba oceny wpływu zmian masowego przepływu czynnika na właściwości statyczne płaskiego kolektora słonecznego.

2. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI CIEPLNEJ KOLEKTORA W STANACH USTALONYCH

Norma PN-EN 12957:2 dopuszcza wyznaczenie charakterystyki sprawności kolektora zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i polowych [4]. W warunkach polowych charakterystykę można wyznaczyć dwiema metodami: metodą stanu ustalonego, oraz metodą QDT opracowaną przez Amer'a [1]. W niniejszym artykule przedstawione zostaną wyniki uzyskane podczas wyznaczania charakterystyki sprawności płaskiego kolektora słonecznego metodą stanu ustalonego w warunkach polowych.

Norma PN-EN 12957:2 [4] bardzo dokładnie precyzuje zarówno instalację pomiarową, klasy dokładności sposób montażu oraz typ aparatury pomiarowej, kąt nachylenia kolektora, wielkości fizyczne jakie powinny być rejestrowane podczas testu oraz warunki atmosferyczne jakie powinny panować podczas wykonywania testu. Norma dopuszcza wykonywanie testu w instalacji wykonanej jako układ zamkniętym jak również możliwe jest wykonywanie testu w instalacji wykonanej w układzie otwartym. Do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego należy zastosować piranometr klasy I lub wyższej zgodny z normą ISO 9060. Norma nie uściśla typu czujników temperatury. Wymaga jedynie żeby pomiar temperatury czynnika był dokonywany zarówno na wlocie jak i wylocie z rozdzielczością $\pm 0,02\text{K}$ w zakresie temperatur 0°C - 100°C ze standardową niepewnością $0,1\text{K}$. Czujniki pomiaru temperatury powinny być zamontowane w odległości nie większej niż 200mm od króćców kolektora. Wymaga się aby różnica temperatury pomiędzy temperaturą wyjściową a wejściową czynnika była mierzona z niepewnością $< 0,05\text{K}$. Podobnie jest odnośnie czujnika do pomiaru temperatury otoczenia. Norma nie precyzuje typu czujnika, wymaga jedynie aby pomiar dokonywany był z niepewnością $0,5\text{K}$, a czujnik nie powinien znajdować się w odległości większej niż 10m od kolektora. Pomiar przepływu czynnika powinien być dokonywany za pomocą przepływomierza o niepewności $\pm 1\%$, a prędkość przepływu czynnika powinna wynosić $0,02\text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$. Podczas wykonywania testów kolektora zarówno w warunkach zewnętrznych jak i laboratoryjnych niezbędny jest pomiar prędkości wiatru, natomiast pomiar kierunku nie jest wymagany. Pomiar prędkości wiatru powinien odbywać się z niepewnością $0,5\text{m/s}$. Przy prowadzeniu testów w warunkach zewnętrznych można dokonywać pomiaru prędkości wiatru za pomocą ręcznego anemometru w wysokości od 10mm - 50mm od płaszczyzny frontowej kolektora. W przypadku testów laboratoryjnych ze względu na stałą prędkość wiatru można użyć anemometr ręczny i podobnie jak w przypadku warunków zewnętrznych dokonać pomiaru prędkości wiatru w odległości od 10mm - 50mm od płaszczyzny frontowej kolektora. Czynnikiem roboczym może być zarówno woda jak czynnik rekomendowany przez producenta kolektora, jednakże pojemność cieplna czynnika powinna być znana z dokładnością $\pm 1\%$.

Norma zawiera również szczegółowe wytyczne odnośnie instalacji hydraulicznej montażu pompy cyrkulacyjnej, symulatora promieniowania słonecznego oraz urządzeń kontrolno pomiarowych

3. PROCEDURA BADAWCZA SPRAWNOŚCI KOLEKTORA W STANIE USTALONYM

Test należy przeprowadzić przy natężeniu promieniowania słonecznego $>700\text{W/m}^2$. Jeżeli test wykonywany jest w warunkach zewnętrznych wymaga się aby udział promieniowania rozproszonego był mniejszy od 30% w promieniowaniu całkowitym [4]. Norma narzuca również orientację badanego kolektora względem słońca. Kolektor musi ustawiony być w takiej pozycji aby modyfikator kąta padania promieniowania słonecznego nie zmieniał się więcej jak $\pm 2\%$. Dla kolektorów z pojedynczą pokrywą szklaną warunek jest spełniony jeśli kąt padania promieni słonecznych na płaszczyznę absorbera nie zmienia się więcej jak o 20° podczas eksperymentu.

Eksperyment należy przeprowadzić dla co najmniej 4 wartości temperatury wejściowej, dla których należy wyznaczyć co najmniej cztery niezależne punkty pomiarowe otrzymując łącznie 16 punktów. Temperatury powinny być możliwie równomiernie rozłożone w przedziale nominalnej pracy kolektora przy czym norma zaleca jeśli to możliwe aby jedna wartość temperatury wlotowej czynnika była tak dobrana, aby średnia wartość temperatury czynnika w kolektorze wynosiła $\pm 3\text{K}$ temperatury otoczenia. Wówczas możliwe jest wyznaczenie sprawności optycznej kolektora η_0 . Norma zaleca również w przypadku stosowania wody jako czynnika by temperatura wejściowa na była wyższa niż 80°C .

Test powinien być poprzedzony okresem w którym następuje stabilizacja warunków pomiarowych. Czas stabilizacji powinien trwać przynajmniej cztery krotności zastępczej stałej czasowej kolektora. Jeśli stała czasowa kolektora jest nieznaną wówczas okres ten powinien wynosić co najmniej 15 minut. Po ustabilizowaniu warunków pomiarowych można przystąpić do przeprowadzenia testu, który powinien trwać co najmniej cztery razy dłużej niż zastępcza stała czasowa. Jeśli stała czasowa nie jest znana test powinien trwać co najmniej 10 minut. Należy traktować, że podczas przeprowadzania testu kolektor znajdował się w warunkach ustalonych jeśli wartość: natężenia promieniowania słonecznego znajdowało się w przedziale $\pm 50\text{W/m}^2$, temperatury otoczenia $\pm 1\text{K}$, przepływu czynnika $\pm 1\%$, temperatury wlotowej czynnika do kolektora $\pm 0,1\text{K}$. W celu ustalenia czy warunki podczas trwania testu można przyjąć za ustalone wyniki pomiarów z okresu 30 sekund należy porównywać ze średnią wartością z poprzedniego okresu pomiarowego.

Sprawność kolektora dla poszczególnych punktów pomiarowych wyznacza się z zależności 1.

$$\eta = \frac{Q}{A \cdot G} [\%] \quad (1)$$

gdzie :

Q - strumień ciepła uniesiony przez czynnik

A - powierzchnia absorbera

G - natężenie promieniowania słonecznego

Strumień ciepła uniesiony przez czynnik oblicza się z zależności 2.

$$Q = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad (2)$$

gdzie:

\dot{m} - masowe natężenie przepływu [dm^3/s]

c_p - ciepło właściwe czynnika [J/kgK]

$\Delta T = T_{wy} - T_{we}$ [$^{\circ}\text{C}$]

Gdzie :

T_{wy} - temperatura wylotowa czynnika [$^{\circ}\text{C}$]

T_{we} - temperatura wlotowa czynnika [$^{\circ}\text{C}$]

Charakterystykę sprawności wyznacza się z zależności 3 będącej zarazem modelem kolektora.

$$\eta = \eta_0 - a_1 * T_m - a_2 * G * (T_m^2) \quad (3)$$

gdzie: T_m - średnia temperatura zredukowana obliczana jako

$$T_m = \frac{t_m - t_a}{G} \quad (4)$$

gdzie:

$$t_m = T_{we} + \left(\frac{T_{we} + T_{wy}}{2} \right) \quad (5)$$

t_a - temperatura otoczenia [$^{\circ}\text{C}$]

Współczynniki a_1 oraz a_2 są wyznaczone statystycznie za pomocą metody najmniejszych kwadratów do funkcji wielomianowej drugiego rzędu. Charakterystykę należy wyznaczyć dla natężenia promieniowania $G=1000 \text{ W}/\text{m}^2$.

4. STANOWISKO BADAWCZE

Badania przeprowadzone zostały na stanowisku wolnostojącym, wykonanym z profili aluminiowych (rys. 1) [3]. Stanowisko zostało tak skonstruowane zarówno pod względem budowy hydraulicznej jak i pomiarowym, że umożliwi eksperymentalne sporządzenie zarówno charakterystyki sprawności kolektora jak i przeprowadzenie badań eksploatacyjnych instalacji słonecznej złożonej z dwóch kolektorów. Segment słoneczny może być złożony z jednego lub dwóch kolektorów połączonych szeregowo lub równolegle obciążonych zasobnikiem o objętości 100dm^3 . Podczas eksperymentu wyznaczania charakterystyki sprawności zbiornik pełni funkcję magazynu ciepłej wody umożliwiającego utrzymanie stałej temperatury wlotowej czynnika. Utrzymanie stałej temperatury jest możliwe ze względu na fakt, iż zasobnik wyposażony jest on w grzałkę elektryczną o mocy nominalnej 4kW , której moc regulowana jest poprzez regulator mocy. Przepływ czynnika przez instalację realizowany jest poprzez pompę cyrkulacyjną z możliwością płynnej regulacji wydajności. Stanowisko zostało opomiarowane. Pomiaru temperatury w zależności od wymagań przeprowadzanego eksperymentu można dokonać za pomocą czujników termorezystancyjnych PT1000 w układzie czteroprzewodowym lub termopar. Do pomiaru przepływu czynnika wykorzystano dwa wodomierze z impulsatorem o rozdzielczości $1 \text{ dm}^3/\text{impuls}$ i 2.5

$\text{dm}^3/\text{impuls}$. Do sterowania pracą instalacji wykorzystano sterownik PLC współpracujący z programem typu SCADA, co umożliwiło monitoring, wizualizację podgląd danych bieżących oraz ich archiwizację.



Rys. 1. Stanowisko badawcze

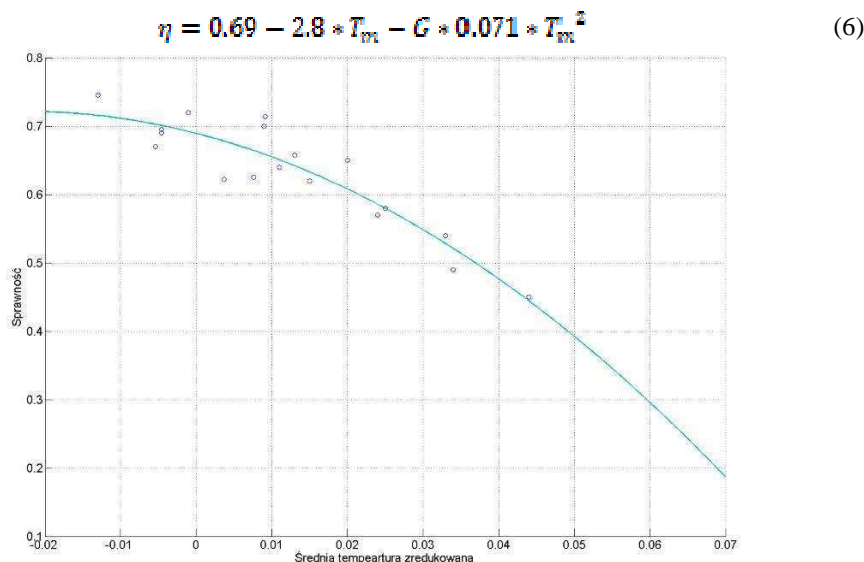
Fig. 1. The research station

5. OCENA WPŁYWU PRĘDKOŚCI MASOWEJ CZYNNIKA NA PARAMETRY EKSPLOATACYJNE KOLEKTORA

Badania przeprowadzono przy dwóch prędkościach masowego przepływu czynnika wynoszących $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$ oraz $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$ oraz przy natężeniu promieniowania słonecznego wynoszącym $870 \pm 30 \text{ W/m}^2$, temperaturze otoczenia 22°C oraz pięciu temperaturach wlotowych znajdujących się w zakresie pracy kolektora i wynoszących: 18°C , 26°C , 36°C , 46°C , 56°C . Dla poszczególnych temperatur wlotowych czynnika pomiary wykonano kilkakrotnie. Jako czynnika roboczego użyto wody.

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystykę sprawności badanego kolektora przy masowym przepływie czynnika wynoszącym $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$. W analizowanym przypadku uzyskano sprawność optyczną wynoszącą 0.69 , współczynnik strat $a_1 = 2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, natomiast współczynnik strat $a_2 = 0.071 \text{ W/m}^2\text{K}$, zatem charakterystyka sprawności może zostać opisana zależnością (6). Ze sporządzonej charakterystyki sprawności wynika, że przy niskich wartościach średniej temperatury zredukowanej sprawność kolektora spada wolniej niż przy wartościach wyższych. Ze sporządzonej charakterystyki wynika również, że

w warunkach polowych uzyskane wyniki dla poszczególnych temperatur wlotowych są rozbieżne zatem powtarzalność uzyskanych wyników jest słaba.



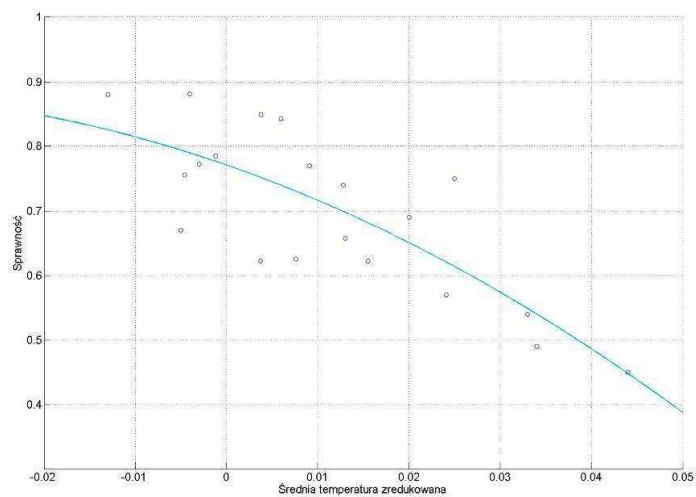
Rys. 2. Charakterystyka sprawności badanego kolektora przy przepływie $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$
 Fig. 2. Characteristic of efficiency of flat solar collector with flow rate $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$

Na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę sprawności badanego kolektora przy przepływie masowym czynnika wynoszącym $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$. W analizowanym przypadku uzyskano wyższą wartość sprawności optycznej, która wynosi 0.77 . Wzrost masowego przepływu czynnika przez badany kolektor spowodował wzrost współczynnika strat ciepła, który w analizowanym przypadku wyniósł $a_1 = 4.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, natomiast wartość współczynnika a_2 spadła i ukształtowała się na poziomie $0.06 \text{ W/m}^2\text{K}$. Charakterystykę sprawności można zatem opisać za pomocą zależności (7). W analizowanym przypadku również uzyskano dużą rozbieżność wyników dla poszczególnych temperatur wlotowych, znacznie większą w porównaniu z charakterystyką sporządzoną dla przepływu masowego czynnika wynoszącego $1 \text{ dm}^3/\text{min}$.

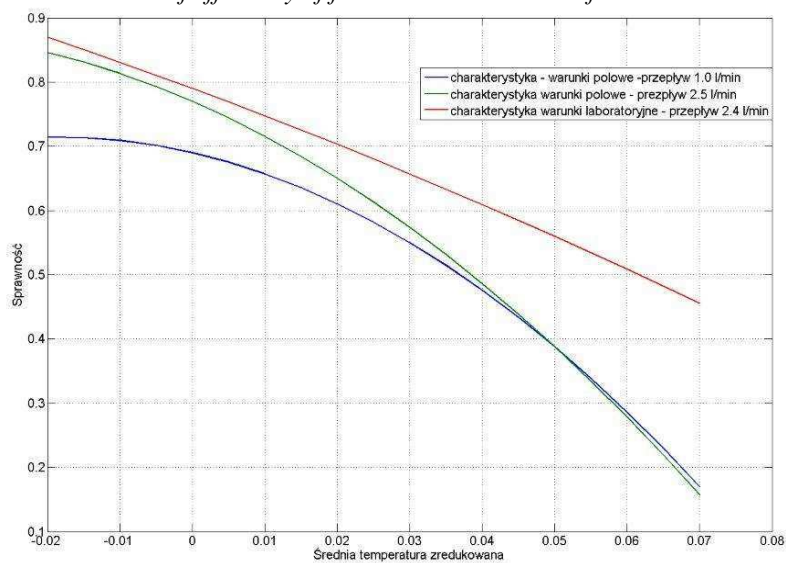
$$\eta = 0.77 - 4.9 * T_{in} - G * 0.06 * T_{in}^2 \quad (7)$$

Na rysunku 4 przedstawiono porównanie charakterystyk sprawności wykonanych dla przepływu $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$, $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$ sporządzonych w warunkach polowych z charakterystyką sprawności wykonaną w warunkach laboratoryjnych przy przepływie czynnika wynoszącym $2.4 \text{ dm}^3/\text{min}$. Z porównania charakterystyk wynika, że charakterystyka sprawności kolektora wykonana w warunkach laboratoryjnych charakteryzuje się znacznie wyższą mocą użyteczną oraz wyższą sprawnością optyczną wynoszącą 0.79 w porównaniu z charakterystykami uzyskanymi z eksperymentów polowych. Najniższą sprawność

optyczną oraz moc użyteczną osiąga kolektor przy przepływie masowym wynoszącym $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$.



Rys. 3. Charakterystyka sprawności badanego kolektora przy przepływie $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$
Fig. 3. Characteristic of efficiency of flat solar collector with flow rate $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$



Rys. 4. Porównanie charakterystyk sprawności dla przepływu $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$ i $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$ z charakterystyką wzorcową

Fig. 4. Comparison of characteristics of efficiency of flat solar collector with flow rate $1.0 \text{ dm}^3/\text{min}$ and $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$ with base characteristic

6. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy wynika, że przepływ masowy czynnika ma znaczny wpływ na parametry eksploatacyjne kolektora. Wraz ze wzrostem masowego przepływu czynnika wzrasta sprawność oraz moc użyteczna kolektora. W analizowanym przypadku przy średniej temperaturze zredukowanej wynoszącej 0.04 charakterystyki sprawności kolektora sporządzone przy różnych przepływach masowych pokrywają się. Należy zatem wnioskować, że przy wyższych temperaturach czynnika przepływ masowy nie ma wpływu na uzyskiwaną sprawność i moc użyteczną kolektora.

Porównując sporządzone w warunkach polowych charakterystyki sprawności z charakterystyką sporządzoną w warunkach laboratoryjnych widać wyraźne rozbieżności. Oznacza to, że kolektor w warunkach eksploatacyjnych zachowuje się odmiennie niż w warunkach laboratoryjnych. Należy zauważyć również, że kolektor podczas badań normatywnych znajduje się w stanie jałowym, natomiast w warunkach eksploatacyjnych zazwyczaj obciążony jest zasobnikiem ciepłej wody, co może mieć znaczący wpływ na parametry eksploatacyjne kolektora. Należy zatem właściwości eksploatacyjne kolektora wyznaczać w warunkach eksploatacyjnych z wykorzystaniem metody identyfikacji parametrycznej [2].

7. LITERATURA

- [1] Amer E. H., Nayak J. K. Sharma G. K.: A transient method for testing of flat plate solar collectors. Energy Conversion and Management 39, 549-558, 1998
- [2] Chochowski A., Obstawski P. Czekalski D.: Właściwości dynamiczne płaskich kolektorów słonecznych. Przegląd Elektrotechniczny Nr 6, 2010 str. 92-95
- [3] Obstawski P.: Termowizyjne badania płaskich kolektorów cieczowych. Część 1. Stanowisko badawcze. Polska Energetyka Słoneczna, Nr 2-4/2010,1/2011 str. 54-57
- [4] PN-EN 12975-2 „Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy. Kolektory słoneczne. Część 2: Metody badań

IMPACT OF PERFORMANCE CIRCULATING PUMP ON THE CHARACTERISTIC PARAMETERS OF FLAT SOLAR COLLECTOR

SUMMARY

In paper presented impact of flow rate on the characteristic parameters of flat solar collector with are compute on the base characteristic of efficiency. The tests of flat solar collector was made in outdoor conditions in steady state method for two flow rate equal 1.0 dm³/min and 2.5 dm³/min. Results compare with characteristic of efficiency with was made in laboratory conditions.

Paweł OBSTAWSKI, dr inż.
Dariusz CZEKAŁSKI, dr inż.

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Zakład Gospodarki Energetycznej
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: pawel_obstawski@sggw.pl
e-mail: dariusz_czekalski@sggw.pl

ZASTOSOWANIE PAKIETU MATLAB I SIMULINK DO ANALIZY STANÓW TERMICZNYCH PŁASKIEGO KOLEKTORA CIECZOWEGO

STRESZCZENIE

W artykule zaprezentowano możliwości zastosowania pakietu *Matlab&Simulink* do analizy stanów termicznych płaskiego kolektora słonecznego metodą zastępczej sieci cieplnej. Metoda zastępczej sieci cieplnej opracowana została w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku i opiera się na analogii termoelektrycznej. Z przyczyn technicznych możliwości jakie daje metoda nie były w pełni wykorzystywane. Wzrost mocy obliczeniowej komputerów i dostęp do interaktywnego oprogramowania umożliwił pełne wykorzystanie możliwości metody do analizy i symulacji stanów termicznych płaskiego kolektora słonecznego.

1. WPROWADZENIE

Właściwości eksploatacyjne płaskich kolektorów cieczowych zależą głównie od właściwości fizycznych materiałów użytych do ich budowy oraz od konstrukcji samego kolektora. Oceny właściwości eksploatacyjnych płaskich kolektorów cieczowych dokonuje się głównie na podstawie charakterystyki cieplnej, która wyznaczane są eksperymentalnie wg Normy PN-EN 12975:2 i przedstawiają uzyskiwaną sprawność w funkcji tzw. temperatury zredukowanej [5]. Charakterystyka sprawności, ze względu na specyfikę metodyki wyznaczania odzwierciedla właściwości eksploatacyjne kolektora w stanach ustalonych, jednakże w warunkach eksploatacyjnych, ze względu na stochastyczny charakter wymuszeń kolektor znajduje się w stanach nieustalonych. Z tego też względu oprócz właściwości statycznych kolektora ważne są właściwości dynamiczne: zastępcza stała czasowa T_z ,

współczynnik wzmocnienia k_p oraz czas opóźnienia T_0 określone na podstawie eksperymentalnie sporządzonej charakterystyki skokowej. Badania normatywne przewidują wyznaczenie charakterystyki skokowej, przy czym norma zakłada że jest to eksperyment nieobowiązkowy a charakterystyka jest wyznaczana jedynie dla temperatury wlotowej czynnika równej temperaturze otoczenia. Z wyznaczonej charakterystyki określana jest jedynie zastępcza stała czasowa, co uniemożliwia pełną analizę właściwości dynamicznych kolektora w dziedzinie czasu oraz uniemożliwia analizę właściwości dynamicznych w dziedzinie częstotliwości. Ze względu na fakt, iż wyznaczenie stałej czasowej jest eksperymentem nieobowiązkowym wartość stałej czasowej kolektora nie jest podawana przez producentów. Indywidualne wyznaczenie właściwości dynamicznych kolektora jest bardzo kosztochłonne gdyż wiąże się z koniecznością budowy specjalnego stanowiska laboratoryjnego. Eksperyment może zostać przeprowadzony w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem symulatora promieniowania słonecznego, lub w wyniku badań polowych pod warunkiem, że dawka natężenia promieniowania słonecznego $G > 700 \text{ W/m}^2$. Alternatywą dla kosztochłonnych badań eksperymentalnych mogą być testy symulacyjne, przy czym model kolektora powinien być oparty o równania matematyczne wyprowadzone z bilansu energetycznego kolektora. Liczba oraz rząd równań różniczkowych modelu kolektora, które należy rozwiązać podczas symulacji przy mocy obliczeniowej komputerów i dostępu do specjalistycznego oprogramowania nie stanowi ograniczenia. Zatem dobrze znane metody analizy stanów termicznych kolektora mogą przy wykorzystaniu nowatorskiego oprogramowania zostać przedstawione w nowym ujęciu. W niniejszym artykule przedstawione zostanie analiza właściwości dynamicznych kolektora w oparciu o metodę zastępczej sieci cieplnej przy wykorzystaniu do rozwiązania układu równań różniczkowych pakietu Matlab & Simulink.

2. MODEL ZASTĘPCZEJ SIECI CIEPLNEJ

Metoda zastępczej sieci cieplnej oparta jest na analogii termoelektrycznej. Analiza stanów termicznych kolektora polega na odwzorowaniu fizycznej budowy kolektora w postaci obwodu elektrycznego złożonego z: pojemności elektrycznych odpowiadających pojemnościom cieplnym poszczególnych składowych kolektora oraz rezystorów odpowiadających za opory cieplne pomiędzy poszczególnymi składowymi. Zmiany napięcia elektrycznego pomiędzy poszczególnymi węzłami układu elektrycznego odpowiadają zmianom temperatury, a przepływ prądu pomiędzy węzłami odpowiada przepływowi strumienia elektrycznego.

Dokonując analizy stanów termicznych kolektora za pomocą metody sieci cieplnej traktuje się kolektor jako obiekt o parametrach skupionych, przy czym w literaturze spotyka się podejście, że w budowie kolektora wyróżnia się dwa ciała jednorodne: czynnik oraz absorber, pomijając pokrywę szklaną [2, 3], lub jako układ trzech ciał jednorodnych: pokrywy szklanej, absorbera i medium roboczego [3, 4]. Prezentowany w [3, 5] model kolektora w postaci sieci cieplnej skupiał się jedynie na rozwiązaniu końcowym w postaci układu równań różniczkowych. Pominięto metodykę obliczania wartości poszczególnych współczynników równań różniczkowych modelu. Dopiero Chochowski [1] zaprezentował ogólną postać modelu kolektora oraz pełny algorytm wyznaczania wartości poszczególnych współczynników równań modelu.

Chochowski przedstawił kolektor słoneczny za pomocą schematu cieplnego w postaci czwórnika elektrycznego. Strumień ciepła (prąd elektryczny) przepływając przez gałęzie obwodu zawierające opory cieplne (rezystory) wywołuje przestrzenny rozkład temperatury (spadki napięcia) odpowiednio do wymiany ciepła jaka ma miejsce w analizowanym układzie (rys. 1). Węzeł pierwszy reprezentuje pokrywę szklaną o średniej temperaturze T_1 , w której w wyniku absorpcji części promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę kolektora, wydziela się w połowie grubości energia z mocą P_1 .

Węzeł drugi reprezentuje absorber o średniej temperaturze T_2 , na którego powierzchni wydziela się energia cieplna z mocą P_2 jako wynik absorpcji przepuszczonego przez pokrywę szklaną promieniowania słonecznego.

Węzeł trzeci reprezentuje medium robocze, które przepływając przez kolektor słoneczny uzyskuje średnią temperaturę T_3 , wyznaczaną z zależności:

$$T_3 = \frac{1}{2}(T_{fp} + T_{fk}) \quad (3)$$

Pomiędzy węzłami sieci a ośrodkiem splotu strat (otoczenie) przepływają strumienie ciepłe P , poprzez opory cieplne powierzchniowe R i unoszenie. Występujące na schemacie (rys. 2) opory cieplne mają następujący sens fizyczny:

$R_{1,0}$ – opór cieplny pomiędzy czołową pokrywą a otoczeniem [K/W]

$R_{1,2}$ – opór cieplny pomiędzy czołową pokrywą a absorberem [K/W]

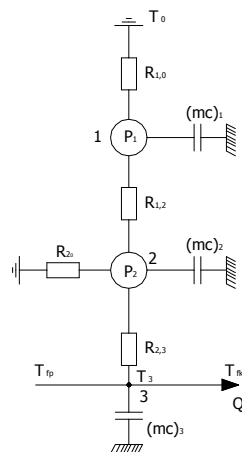
$R_{2,0}$ – opór cieplny pomiędzy absorberem a otoczeniem, liczony w kierunku dna kolektora [K/W]

$R_{2,3}$ – opór cieplny pomiędzy absorberem a medium roboczym [K/W]

$(mc)_1$ – pojemność cieplna węzła 1 [J/K]

$(mc)_2$ - pojemność cieplna węzła 2 [J/K]

$(mc)_3$ - pojemność cieplna węzła 3 [J/K]



Rys. 1. Schemat cieplny kolektora dla stanu nieustalonego
Fig. 1. Warm scheme of flat solar collector for steady condition

gdzie:

T_{fp} – temperatura wlotowa medium [K]

T_{fk} – temperatura wylotowa medium [K]

Przedstawiony na rysunku 1 schemat cieplny płaskiego kolektora słonecznego uznano za podstawowy, pozwalający na ogólną analizę zachodzących zjawisk podczas wymiany ciepła między trzema ciałami (w tym dwoma energetycznie czynnymi), a otoczeniem.

Rozwiązaniem ZSC metodą temperatur węzłowych (potencjałów węzłowych) jest układ równań liniowych, łączących równania wszystkich węzłów oraz gałęzi medium. Ogólną postać równania opisującego stan nieustalony kolektora słonecznego przedstawia się za pomocą równań węzłów zawierających pojemności cieplne.

$$(mc)_i \frac{dT_i}{dt} + T_i \sum_{j=1}^{n+1} \Lambda_{ij} - \sum_{j=1}^{n+1} \Lambda_{ij} T_j = P_i + \Lambda_{i0} T_0 \quad (4)$$

Rozwiązanie powyższego równania sprowadza się do rozwiązania układu równań liniowych zawierających równania wszystkich zwykłych węzłów oraz równania wszystkich gałęzi medium, co macierzowo przyjmuje postać

$$c \frac{d\bar{T}(t)}{dt} + \Lambda \bar{T}(t) = \bar{P}(t) \quad (5)$$

w którym:

c – macierz pojemności cieplnych poszczególnych ciał jednorodnych (2)

Λ - macierz przewodności cieplnych (3)

T – temperatura wydzielona w poszczególnych węzłach sieci

P – moc wydzielona w poszczególnych węzłach sieci

$$c = \begin{bmatrix} (mc)_1 & 0 & 0 \\ 0 & (mc)_2 & 0 \\ 0 & 0 & (mc)_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \Lambda_{11} & -\Lambda_{12} & \Lambda_{13} \\ -\Lambda_{21} & \Lambda_{22} & -\Lambda_{23} \\ \Lambda_{31} & -\Lambda_{32} & \Lambda_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Macierz (2) jest diagonalną macierzą pojemności cieplnych poszczególnych składowych a macierz (3) macierzą przewodności cieplnych poszczególnych węzłów sieci. Mnożąc obustronnie równanie 1 przez macierz odwrotną c^{-1} otrzymuje się macierz stanu segmentu słonecznego wyrażoną zależnością.

$$\frac{d\bar{T}(t)}{dt} = -\Lambda \bar{T}(t) * c^{-1} + \bar{P} * c^{-1} \quad (4)$$

Podstawiając do równania 4 macierze 2 i 3 otrzymujemy

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mc_1 & 0 & 0 \\ 0 & mc_2 & 0 \\ 0 & 0 & mc_3 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} -\Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{13} \\ \Lambda_{21} & -\Lambda_{22} & \Lambda_{23} \\ \Lambda_{31} & \Lambda_{32} & -\Lambda_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} mc_1 & 0 & 0 \\ 0 & mc_2 & 0 \\ 0 & 0 & mc_3 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dokonując działań arytmetycznych otrzymujemy

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{mc_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{mc_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{mc_3} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -\Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{13} \\ \Lambda_{21} & -\Lambda_{22} & \Lambda_{23} \\ \Lambda_{31} & \Lambda_{32} & -\Lambda_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{mc_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{mc_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{mc_3} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Rozwiązaniem macierzy zmiennych stanu jest zatem macierz układu i macierz wejścia wyrażona za pomocą równania (11).

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\Lambda_{11}}{mc_1} & \frac{\Lambda_{12}}{mc_1} & \frac{\Lambda_{13}}{mc_1} \\ \frac{\Lambda_{21}}{mc_2} & -\frac{\Lambda_{22}}{mc_2} & \frac{\Lambda_{23}}{mc_2} \\ \frac{\Lambda_{31}}{mc_3} & \frac{\Lambda_{32}}{mc_3} & -\frac{\Lambda_{33}}{mc_3} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} T_1(t) \\ T_2(t) \\ T_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{P_1}{mc_1} \\ \frac{P_2}{mc_2} \\ \frac{P_3}{mc_3} \end{bmatrix} * u(t) \quad (7)$$

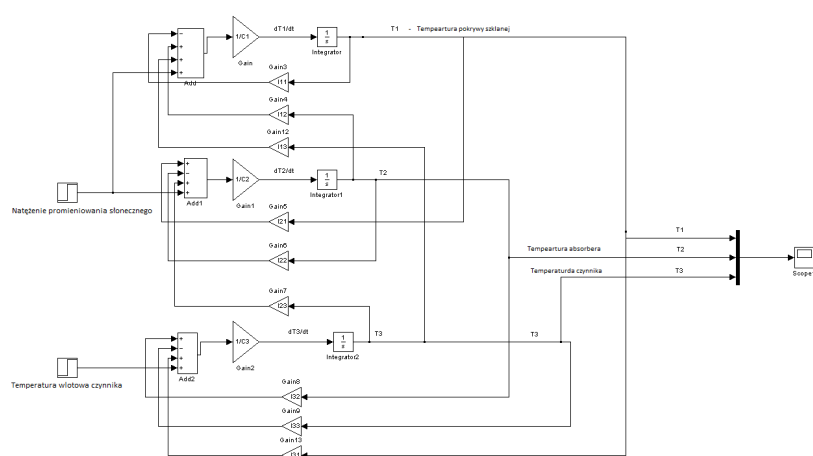
Macierz stanu wyraża stosunek przewodności cieplnych poszczególnych węzłów sieci do ich pojemności cieplnych. Zmiennymi stanu są temperatury poszczególnych ciał jednorodnych kolektora słonecznego, natomiast macierzą kolumnową wejścia jest stosunek mocy cieplnej wydzielonej w węzle do jego pojemności cieplnej.

3. ROZWIĄZANIE ZASTĘPCZEJ SIECI CIEPLNEJ Z WYKORZYSTANIEM PAKIETU MATLAB&SIMULINK

Główną wadą metody zastępcze sieci cieplnej był brak oprogramowania umożliwiającego dogodne rozwiązywanie stanu nieustalonego. Analiza stanu przejściowego była możliwa jedynie przy wymuszeniu liniowo narastającym co znacznie ograniczało możliwości metody. Wzrost mocy obliczeniowej komputerów oraz dostęp do specjalistycznego oprogramowania umożliwił pełne wykorzystanie możliwości metody do projektowania oraz analizy stanów termicznych płaskiego kolektora słonecznego. W niniejszym artykule do analizy stanów przejściowych płaskiego kolektora słonecznego wykorzystano pakiet *Matlab&Simulink*.

Matlab&Simulink jest interaktywnym oprogramowaniem naukowo technicznym służącym do numerycznych obliczeń i grafiki. Posiada wiele bibliotek zaprojektowanych specjalnie do określonych zastosowań, co daje projektantowi praktycznie nieograniczone możliwości dokonywania nawet bardzo skomplikowanych analiz. Do rozwiązania układu równań różniczkowych zastępczej sieci cieplnej wykorzystano pakiet *Simulink* umożliwia-

jący rozwiązanie równań różniczkowych metodą graficzną co w przypadku kolektora słonecznego umożliwia nie tylko analizę stanów przejściowych temperatur poszczególnych elementów składowych ale również rozkład strumieni ciepła pomiędzy nimi. Na rysunku 2 przedstawiono graficzne rozwiązanie układu równań różniczkowych zastępczej sieci cieplnej. Przewodności cieplne λ odpowiadają odwrotności oporów cieplnych pomiędzy poszczególnymi elementami składowymi, zatem rejestracja sygnałów z poszczególnych blozków przewodności cieplnych umożliwia analizę rozkładu strumieni cieplnych w kolektorze. Mnożąc poszczególne strumienie ciepła przez odwrotność cieplną danego elementu składowego oraz całkując uzyskany sygnał od zadanych warunków początkowych otrzymuje się przebieg temperatury danego elementu składowego.



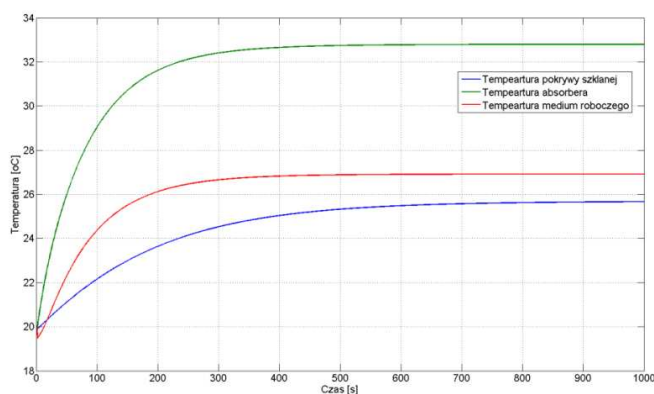
Rys. 2. Rozwiązanie graficzne modelu zastępczej sieci cieplnej
Fig. 2. Graphic solution of thermal network model

Zaletą takiego rozwiązania jest również możliwość dokonywania analizy stanów termicznych płaskiego kolektora słonecznego przy dowolnych wymuszeniach. Zatem możliwym staje się określenie właściwości dynamicznych kolektora poprzez sporządzenie charakterystyki skokowej, ocena wpływu masowego przepływu czynnika poprzez kolektor na uzyskiwane temperatury czynnika oraz symulacja pracy kolektora przy zmiennym poziomie natężenia promieniowania słonecznego.

Na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę skokową kolektora sporządzoną przy temperaturze początkowej czynnika wynoszącej 20°C, przepływie 0.016 l/s oraz natężeniu promieniowania słonecznego wynoszącego 800 W/m². Jako czynnik zastosowano wodę, której ciepło właściwe wynosi 4190 J/K. Analizując rozkład temperatur poszczególnych elementów składowych można zaobserwować, że najwyższą temperę w stanie ustalonym wynoszącą 33°C osiąga absorber, temperatura czynnika roboczego stabilizuje się na poziomie 27°C, natomiast temperatura pokrywy szklanej osiąga wartość najniższą wynoszącą 25.8°C. Analizując właściwości dynamiczne poszczególnych elementów składowych należy zwrócić uwagę, że pokrywa szklana oraz absorber mają charakter inercyjny – typowy dla obiektów cieplnych. W przypadku medium roboczego w pierwszych kilku sekundach

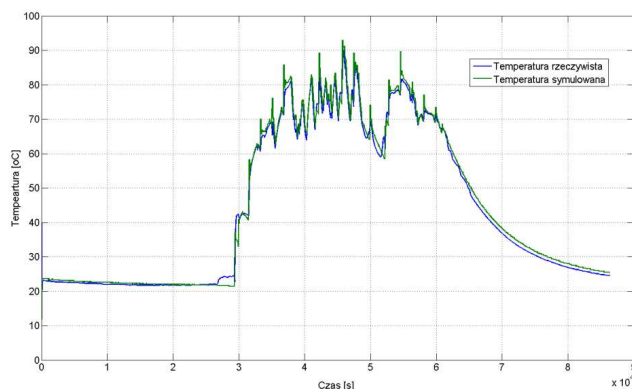
po wymuszeniu temperatura dąży w przeciwnym kierunku niż zamierzona, co oznacza że medium robocze posiada charakter nieminimalnofazowy. Temperatura czynnika jest funkcją przepływu przez węzownicę zatem spadek temperatury czynnika w pierwszych kilku sekundach po wymuszeniu można utożsamić z czasem opóźnienia niezbędnym na pokonanie przez medium robocze całej długości węzownicy.

Najdłuższą stałą czasową z elementów jednorodnych tworzących kolektor wynoszącą 231[s] posiada pokrywa szklana, najkrótszą natomiast wynoszącą 80[s] absorber. Stała czasowa medium roboczego wynosi 100[s].



Rys. 3. Charakterystyka skokowa kolektora
Fig. 3. Step characteristic of flat solar collector

Metoda zastępczej sieci cieplnej umożliwia również symulację pracy instalacji słonecznej. Na rysunku 4 przedstawiono rzeczywistą i symulowaną temperaturę medium roboczego instalacji słonecznej zasilającej budynek hotelowy w Regionalnym Centrum Edukacji Ekologicznej w Budach Grabskich.



Rys. 4. Porównanie rzeczywistej i symulowanej temperatury medium roboczego
Fig. 4. Comparison real and simulated temperature of working medium

Jako sygnały wejściowe modelu zastępczej sieci cieplnej wprowadzono dobowy przebieg natężenia promieniowania słonecznego oraz dobowy przebieg temperatury wlotowej czynnika. Jako warunki początkowe ustawiono temperaturę początkową czynnika wynoszącą 25°C. Jak wynika z rysunku uzyskano bardzo dobrą zbieżność temperatury symulowanej i rzeczywistej.

4. WNIOSKI

Jak wynika z przeprowadzonej analizy zastosowanie pakietu *Matlab&Simulink* umożliwia pełne wykorzystanie walorów metody zastępczej sieci cieplnej. Możliwa staje się pełna analiza oszacowania już na etapie projektowym właściwości dynamicznych kolektora w zależności od użytych do jego budowy materiałów oraz od parametrów eksploatacyjnych – chociażby masowego natężenia przepływu. Metoda umożliwia również symulację pracy instalacji zbudowanej z projektowanego kolektora oraz oszacowanie jej właściwości dynamicznych. Znajomość właściwości dynamicznych instalacji już w fazie projektowej umożliwia optymalizację pracy instalacji poprzez zaprojektowanie adekwatnego układu regulacji.

5. LITERATURA

- [1] Chochowski A.: Analiza stanów termicznych płaskiego kolektora słonecznego. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1991
- [2] Eisenmann W., Vajen K., Ackermann H.: On the correlations between collector efficiency factor and material content of parallel flow flat-plate solar collectors. *Solar Energy* Vol. 76, str. 381-387, 2004
- [3] Henning H. M., Sasse M.: A collector hardware simulator: theoretical analysis and experimental results. *Solar Energy* Vol. 55, 39-48, 1995
- [4] Kamminga W.: Experiences of a solar collector test method Rusing Fourier transfer functions. *Heat Mass Transfer*, Vol 28, No 7 pp1393-1404, 1985
- [5] PN-EN 12975-2 „Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy. Kolektory słoneczne. Część 2: Metody badań

USE OF MATLAB AND SIMULINK FOR THERMAL ANALYSIS OF FLAT SOLAR COLLECTOR

SUMMARY

In paper presented possibility of use *Matlab&Simulink* to thermal analysis of flat solar collector thermal network method. Thermal network method was made in The eighties of last century and base on thermo electrical analogy. In technical reasons possibilities with give method wasn't full used. Increasing power of computing of computers and new technical programs allowed full use possibility of thermal network method to thermal analysis of flat solar collector.

Paweł OBSTAWSKI, dr inż.
Dariusz CZEKAŁSKI, dr inż.

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Zakład Gospodarki Energetycznej
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: pawel_obstawski@sggw.pl
e-mail: dariusz_czekalski@sggw.pl

ZASTOSOWANIE PROGRAMU SCADA DO WIZUALIZACJI I MONITORINGU PRACY HYBRYDOWEGO SYSTEMU ZASILANIA

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania sterowników PLC do sterowania pracą hybrydowych systemów zasilania. Zaprezentowano możliwości zwiększenia sprawności przemian energetycznych segmentu kolektorów płaskich oraz aspekty techniczne umożliwiające zdalny monitoring pracy systemu.

1. WPROWADZENIE

Cechą charakterystyczną odnawialnych źródeł energii (OZE) jest niestabilny potencjał energetyczny w ciągu całego roku. Niestabilny charakter jest rezultatem sezonowości dostępnych zasobów energii (energetyka słoneczna, wiatrowa czy wodna) oraz stochastycznego charakteru wynikającego ze zmienności warunków meteorologicznych jak w przypadku energetyki słonecznej czy wiatrowej [3]. W celu zapewnienia i ciągłości dostaw energii oraz stabilnej pracy systemu energetycznego odnawialne źródła energii łączy się ze sobą i często uzupełnia źródłem konwencjonalnym tworząc hybrydowe systemy energetyczne. Podstawowym problemem eksploatacyjnym pojawiającym się w systemach hybrydowych jest niższa sprawność konwersji przemian energetycznych poszczególnych segmentów systemu w porównaniu z przypadkiem kiedy poszczególne segmenty systemu hybrydowego pracują jako systemy monowalętne [2]. Niska sprawność przemian systemów hybrydowych wynika zazwyczaj z charakteru współpracy poszczególnych segmentów co jest rezultatem zastosowanego algorytmu regulacji. Zazwyczaj regulacja pracą poszczególnych segmentów systemu realizowana jest

w oddzielnych pętlach za pomocą odrębnych regulatorów, co powoduje, że rozkład strumieni energii w systemie jest dość przypadkowy. W celu optymalizacji pracy systemu hybrydowego należy zaimplementować wszystkie realizowane pętle regulacji w jednym regulatorze. Takie rozwiązanie jest możliwe przy zastosowaniu swobodnie programowalnego sterownika PLC [4, 5]. Takie rozwiązanie umożliwia ponadto zaimplementowanie dowolnego algorytmu regulacji opartego np.: na sieciach neuronowych czy algorytmach genetycznych, gdyż sterowniki PLC posiadają możliwości techniczne współpracy z programowaniem technicznym typu Matlab, lub implementacji algorytmu regulacji wygenerowanego w kodzie C. Oprócz dużej swobody implementacji nowatorskich algorytmów regulacji zastosowanie sterowników PLC umożliwia zdalną wizualizację i monitoring pracy systemu hybrydowego przez zastosowanie programu typu SCADA, co zapewnia całkowitą kontrolę nad pracą systemu.

W niniejszym artykule zostaną zaprezentowane możliwości techniczne przedstawionego rozwiązania zaimplementowanego do realizacji regulacji pracą hybrydowego systemu zasilającego w energię ciepłą budynek hotelowy w Regionalnym Centrum Edukacji Ekologicznej w Budach Grabskich.

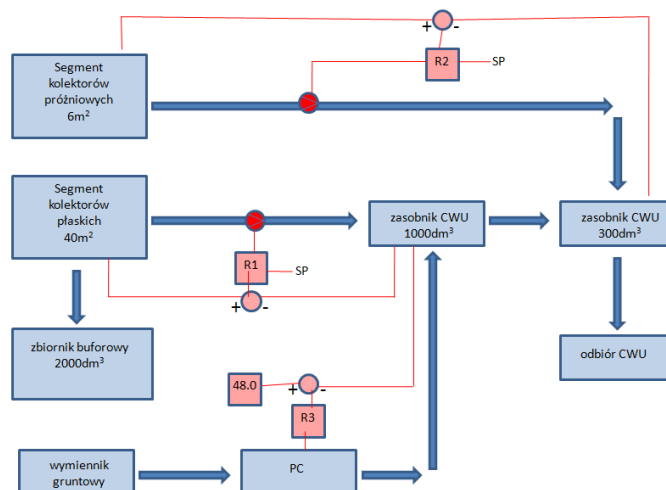
2. OPIS TECHNICZNY OBIEKTU

System składa się z trzech odrębnych segmentów: segmentu kolektorów płaskich o łącznej powierzchni 20 m^2 , sekcji kolektorów próżniowych o łącznej powierzchni 6 m^2 oraz sprężarkowej pompy ciepła, dla której niższe źródło energii realizowane było poprzez wymiennik gruntowy. Dotychczas regulacja pracą poszczególnych segmentów systemu realizowana była za pomocą trzech odrębnych obwodów regulacji, co powodowało niską sprawność przemian energetycznych głównie w segmencie słonecznym gdyż rozkład strumieni energii był dość przypadkowy[1].

Regulator R1 realizował algorytm regulacji dwupołożeniowej załączając pompę cyrkulacyjną w zależności od zadanego gradientu temperatur pomiędzy zasobnikiem ciepłej wody użytkowej o objętości 1000 dm^3 , a temperaturą czynnika w segmencie kolektorów płaskich. Realizowany algorytm regulacji dwupołożeniowej posiadał modyfikację polegającą na zablokowaniu stanu pracy pompy cyrkulacyjnej na okres 20 minut. W segmencie kolektorów próżniowych również realizowany był za pośrednictwem regulatora R2 algorytm regulacji dwupołożeniowej. Regulator załączał pompę cyrkulacyjną w funkcji zadanego gradientu temperatur mierzonych pomiędzy temperaturą czynnika w segmencie słonecznym a zasobnikiem ciepłej wody użytkowej o objętości 300 dm^3 . Histereza realizowana była poprzez ustawienie wyższego gradientu temperatur załączającego i niższego gradientu wyłączającego pompę cyrkulacyjną. Regulator R3 stanowiący zintegrowany element sprężarkowej pompy ciepła również realizował algorytm regulacji dwupołożeniowej, załączając pompę ciepła w przypadku gdy temperatura w zasobniku ciepłej wody użytkowej o objętości 1000 dm^3 spadła poniżej zadanej wartości 48°C .

Segment słoneczny w warunkach klimatycznych polski powinien być traktowany jako podstawowy segment systemu hybrydowego pełniący wiodącą funkcję w miesiącach marzec – wrzesień, oraz funkcje wspomagającą w okresie październik luty. Oczywiście bezsprzecznym jest fakt, że stopień wykorzystania segmentu słonecznego w zasadniczy

sposób zależy od budowy hydraulicznej systemu oraz od możliwości technicznych zastosowanego układu regulacji.



Rys. 1. Dotychczasowy blokowy schemat układu regulacji pracą systemu hybrydowego
Fig. 1. Block scheme of control hybrid system

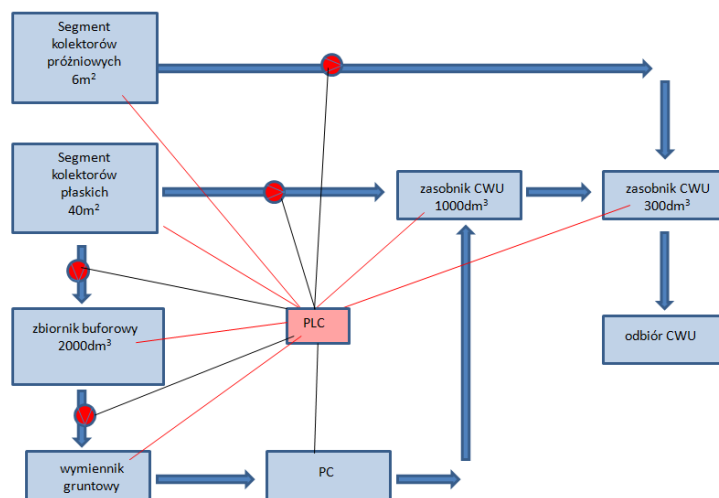
Zazwyczaj do sterowania pracą systemu hybrydowego jak w analizowanym przypadku stosowane są standardowe regulatory o znacznie ograniczonych możliwościach technicznych. Wówczas budowa hydrauliczna systemu oraz zastosowane komponenty takie jak płytowy wymiennik ciepła, typ zasobnika ciepłej wody, typ źródła konwencjonalnego uzależnione są od możliwości technicznych regulatora. Nieograniczone możliwości techniczne daje dopiero zastosowanie swobodnie programowalnych sterowników PLC. W roku 2011 hybrydowy system zasilana zmodernizowano zarówno pod względem budowy oraz układu regulacji. Układ regulacji zrealizowano w oparciu o swobodnie programowalny sterownik PLC.

3. MODERNIZACJA UKŁADU REGULACJI PRACĄ SYSTEMU HYBRYDOWEGO

Modernizacja układu regulacji pracą hybrydowego systemu zasilania polegała na zintegrowaniu trzech odrębnych obwodów regulacji w jeden scentralizowany obwód co miało na celu możliwość kontrolowanego rozkładu poszczególnych strumieni energii w systemie. Ponadto system zmodernizowano pod względem budowy hydraulicznej co przy zastosowaniu sterownika PLC umożliwiło bardziej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów energii słonecznej [4]. Dokonana modernizacja układu hydraulicznego oraz zastosowany algorytm regulacji umożliwia pośrednią akumulację niewykorzystywanych dotychczas zasobów energii w zasobniku buforowym oraz w wymienniku gruntowym stanowiących niższe źródło energii dla sprężarkowej pompy ciepła. Standardowe pompy cyrkulacyjne wymuszające przepływ czynnika w segmencie kolektorów płaskich jak

i kolektorów próżniowych zastąpiono pompami z możliwością płynnej regulacji przepływu co umożliwi realizację nowatorskich algorytmów regulacji np.: sterowania adaptacyjnego umożliwiającego dopasowanie wydajności pompy cyrkulacyjnej w segmencie słonecznym do aktualnie panujących warunków pracy.

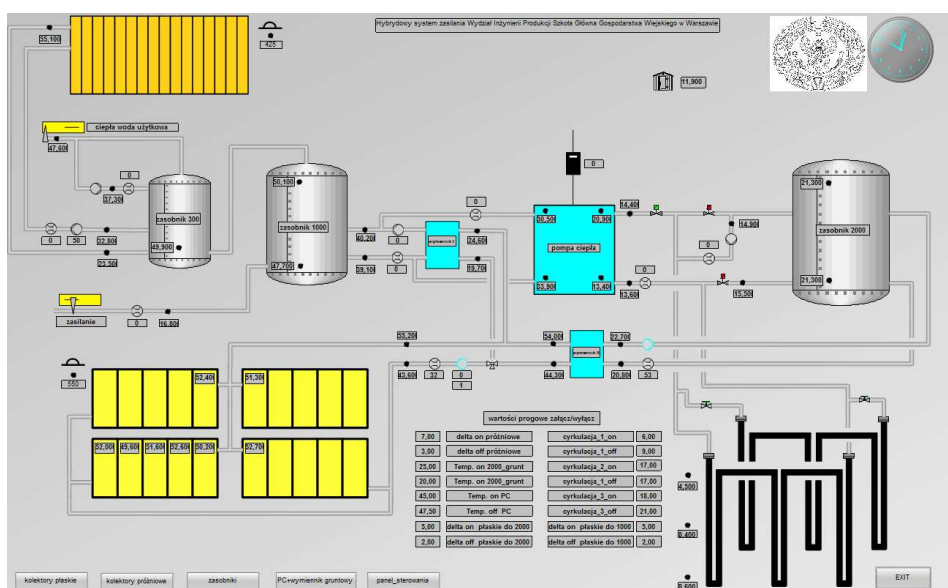
Obecnie wdrożono algorytm umożliwiający pośrednią akumulację dotychczas niewykorzystywanych nadwyżek energii promieniowania słonecznego padającej na segment kolektorów słonecznych w zasobniku buforowym o objętości 2000dm^3 oraz w wymienniku gruntowym. W zależności od poziomu temperatur w: segmencie kolektorów płaskich, zasobniku ciepłej wody użytkowej o objętości 1000dm^3 , zasobniku buforowym sterownik przełącza elektrozawory oraz uruchamia odpowiednie pompy cyrkulacyjne. Jeżeli temperatura czynnika w segmencie słonecznym wyższa jest o zadany gradient temperatury od wody w zasobniku realizowany jest transport zakumulowanej przez segment słoneczny energii do zasobnika 1000dm^3 . W przypadku gdy gradient temperatur pomiędzy temperaturą czynnika w segmencie słonecznym a zasobnikiem 1000dm^3 niższy jest od zadanego wówczas jeżeli spełniony jest zadany gradient temperatury pomiędzy temperaturą czynnika a zasobnikiem buforowym następuje akumulacja dotychczas niewykorzystywanych nadwyżek w zasobniku buforowym. W przypadku gdy temperatura czynnika w zasobniku buforowym osiągnie zadaną graniczną wartość progową możliwa jest pośrednia akumulacja energii słonecznej w wymienniku gruntowym poprzez uruchomienie obiegu pomiędzy zasobnikiem buforowym a wymiennikiem gruntowym. Realizacja takiego algorytmu regulacji umożliwia zwiększenie sprawności przemian energetycznych segmentu kolektorów płaskich.



Rys. 2. Schemat blokowy zmodernizowanego hybrydowego systemu zasilania

Fig. 2. Block scheme of modernized hybrid system

Ponadto scentralizowanie układu regulacji pracą hybrydowego systemu zasilana z wykorzystaniem sterownika PLC współpracującego z programem typu SCADA umożliwia komunikację, monitoring, dostęp do danych archiwalnych oraz zmianę wartości progowych za pomocą sieci Internet. Na rysunku 3 przedstawiono ekran synoptyczny systemu dostępny poprzez przeglądarkę internetową. Ekran synoptyczny dostarcza informacji odnośnie bieżących temperatur w poszczególnych węzłach systemu, stanu pracy poszczególnych urządzeń wykonawczych, daje możliwość zmiany poszczególnych wartości progowych załączających poszczególne segmenty systemu oraz umożliwia zmianę wydajności pomp cyrkulacyjnych w segmencie kolektorów płaskich jak i próżniowych.



Rys. 3. Ekran synoptyczny hybrydowego systemu zasilania

Fig. 3. Synoptic screen of hybrid system

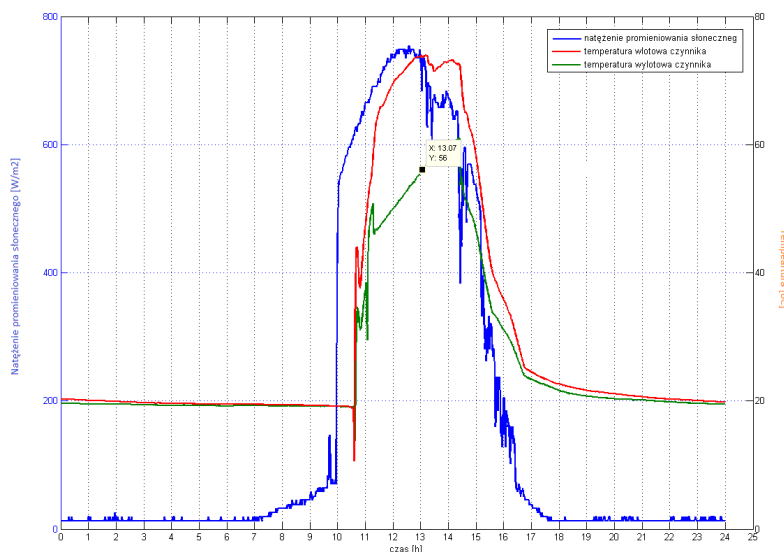
4. WPLYW WYDAJNOŚCI POMPY CYRKULACYJNEJ NA SPRAWNOŚĆ SEGMENTU KOLEKTORÓW PŁASKICH

Jednym z najważniejszych parametrów eksploatacyjnych mających znaczący wpływ na wydajność oraz poziom osiąganych w systemie solarnym temperatur jest wydajność pompy cyrkulacyjnej. Wzrost prędkości przepływu czynnika w instalacji słonecznej powoduje wzrost sprawności segmentu słonecznego oraz spadek temperatury czynnika. Należy jednak zauważyć, że ustawienie wydajności pompy cyrkulacyjnej na wartość maksymalną nie zawsze spowoduje wzrost sprawności przemian energetycznych. W przypadku dużej zmienności natężenia promieniowania słonecznego może wręcz przeciwnie obniżyć sprawność przemian.

W warunkach eksploatacyjnych bardzo trudno jest oszacować optymalną wartość przepływu w instalacji słonecznej, gdyż powinna być ona dopasowana do aktualnego

punktu pracy instalacji słonecznej określanego przez min.: poziom temperatury otoczenia oraz prędkość wiatru, od których w głównej mierze zależą straty energii, zmienność natężenia promieniowania słonecznego, od której zależy wartość mocy użytecznej możliwej do zakumulowania oraz wielkość i okresów występowania rozbiorów CWU, od których zależy poziom temperatury wody w zasobniku. Poniżej przedstawiona zostanie przykładowa analiza wpływu wydajności pompy cyrkulacyjnej na poziom temperatur czynnika i sprawność przemian energetycznych segmentu słonecznego.

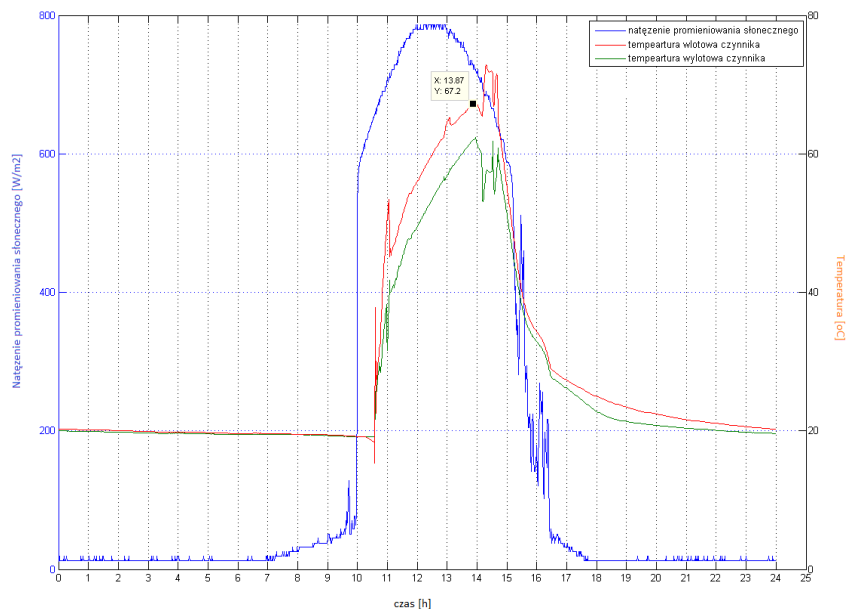
Na rysunku 4 przedstawiony został dobowy przebieg promieniowania słonecznego i temperatury czynnika w instalacji słonecznej przy wydajności pompy cyrkulacyjnej wynoszącej $15 \text{ dm}^3/\text{min}$. Przy stosunkowo krótkim dniu słonecznym (październik) lecz sprzyjających warunkach atmosferycznych (bezhmurne niebo, maksymalna wartość natężenia promieniowania słonecznego blisko 750 W/m^2) temperatura wylotowa czynnika w segmencie słonecznym osiągnęła wartość maksymalną wynoszącą 73.7°C . Dokonując analizy rozkładu temperatury czynnika w instalacji słonecznej należy zwrócić uwagę na stosunkowo duży gradient pomiędzy temperaturą wlotową i wylotową czynnika, którego wartość maksymalna wynosi blisko 20°C . Gdyby tak niski przepływ zastosować w okresie letnim, ze względu na wyższą wartość temperatury otoczenia, dłuższy dzień słoneczny oraz znacznie większe wartości natężenia promieniowania słonecznego temperatura wylotowa czynnika osiągnęła by znacznie wyższe wartości, co w rezultacie mogłoby spowodować przegrzew instalacji słonecznej. Sprawność osiągnięta tego dnia przez system słoneczny wyniosła 40%.



Rys. 4. Dobowy rozkład natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatur czynnika w systemie przy wydajności pompy $15 \text{ [dm}^3/\text{min}]$

Fig. 4. Daily Schedule of solar radiation and temperatures of working medium in hybrid system near flow rate $15 \text{ [dm}^3/\text{min}]$

Na rysunku 5 przedstawiony został dobowy przebieg promieniowania słonecznego i temperatury czynnika w instalacji słonecznej przy wydajności pompy cyrkulacyjnej wynoszącej $70 \text{ dm}^3/\text{min}$. Porównując rozkład poziomą temperatur czynnika w instalacji słonecznej widać wyraźnie, że przy zbliżonych wartościach natężenia promieniowania słonecznego oraz temperaturze początkowej czynnika w instalacji słonecznej wynoszącej 50°C trajektorie temperatur wlotowych czynnika do instalacji słonecznej w obu analizowanych przypadkach są zbliżone. Największa różnica pomiędzy temperaturami wlotowymi występuje przy najwyższych wartościach i wynosi $2,5^\circ\text{C}$. Istotne różnice występują natomiast w trajektoriach temperatury wyjściowej czynnika z segmentu słonecznego. W przypadku gdy wydajność pompy cyrkulacyjnej wynosiła $15 \text{ dm}^3/\text{min}$, tempo przyrostu oraz maksymalna wartość temperatury wyjściowej czynnika jest znacznie wyższa niż przy wydajności pompy cyrkulacyjnej wynoszącej $70 \text{ dm}^3/\text{min}$, jednakże osiągnięta sprawność segmentu słonecznego przy wydajności wynoszącej $70 \text{ dm}^3/\text{min}$ jest znacznie wyższa niż przy wydajności pompy $15 \text{ dm}^3/\text{min}$ i wynosi blisko 60%.



Rys. 5. Dobowy rozkład natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatur czynnika w systemie przy wydajności pompy $70 \text{ [dm}^3/\text{min}]$

Fig. 5. Daily Schedule of solar radiation and temperatures of working medium in hybrid system near flow rate $15 \text{ [dm}^3/\text{min}]$

5. PODSUMOWANIE

W warunkach klimatycznych Polski w celu zapewnienia ciągłości oraz stabilności dostaw energii uzasadnionym jest budowanie hybrydowych systemów zasilania. Najczęściej podstawowym segmentem systemu hybrydowego jest segment słoneczny oparty

o kolektory próżniowe bądź płaskie współpracujący z innym lub innymi źródłami energii. Ze względu na ograniczenia techniczne stosowanych standardowo regulatorów do sterowania praca każdego z segmentów należy zastosować odrębny regulator co w rezultacie sprawia, że rozkład strumieni energii w systemie jest dość przypadkowy a sprawność energetyczna systemu niska. Rozwiązaniem problemu jest scentralizowanie układu regulacji pracą systemu hybrydowego w oparciu o swobodnie programowalne sterowniki PLC. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest możliwość wizualizacji pracy systemu, archiwizacja danych pomiarowych oraz poprzez współpracę sterownika la PLC z programem typu SCADA zdalny monitoring pracy systemu z wykorzystaniem sieci Internet. Dodatkową zaletą jest możliwość wdrażania nowatorskich algorytmów regulacji pracą poszczególnych segmentów systemu umożliwiających wzrost sprawności konwersji energetycznej w danym segmencie.

6. LITERATURA

- [1] Chochowski A., Czekalski D., Obstawski P.: Monitorowanie funkcjonowania hybrydowego systemu odnawialnych źródeł energii. Przegląd Elektrotechniczny Nr 8, 2009 str 92-95
- [2] Czekalski D., Obstawski P.: Wydajność słonecznych systemów grzewczych wielkoskalowych w świetle badań eksploatacyjnych. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja Nr 3, 2008 str. 21-24
- [3] Henning H.M., Sasse M.: A collector hardware simulator: theoretical analysis and experimental results. Solar energy Vol.55/1995
- [4] Obstawski P., Czekalski D.: Wizualizacja procesu pozyskiwania energii w hybrydowym systemie źródeł odnawialnych. Innowacyjne Procesy Technologiczne. Monografia. Politechnika Lubelska. str. 77-83
- [5] Obstawski P., Czekalski D., Korupczyński R.: Analiza jakości regulacji pracą segmentu słonecznego z wykorzystaniem regulatora PID. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Zeszyt 57/2010 str. 379

APPLICATION OF SCADA SYSTEM TO VISUALIZATION AND MONITORING HYBRID ENERGY SYSTEM

SUMMARY

In paper presented possibility of use PLC controller to control of work of hybrid power system. Presented possibilities increase of efficiency in solar segment and technical aspects possibilities monitoring of system work.

Jan M. OLCHOWIK, prof. zw. dr hab. inż.

Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: j.olchowiki@pollub.pl
Lubelski Klaster Ekoenergetyczny,
PSW im. Papieża Jana Pawła II, Biała Podlaska
ul. Sidorska 95/97, 21-500

EWOLUCJA ŚWIADOMOŚCI EKOLOGICZNEJ MIESZKAŃCÓW LUBELSZCZYZNY NA TEMAT ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

STRESZCZENIE

W pracy przedstawione zostały rezultaty badań wiedzy i świadomości mieszkańców Lubelszczyzny na temat odnawialnych źródeł energii (OZE). Badania przeprowadzono wiosną 2011 roku na zlecenie Lubelskiego Klastra Ekoenergetycznego w ramach projektu „Energetyczni Kreatorzy Zmian”. Analizę wywiadu wykonano na grupie 1000 losowo wybranych mieszkańców i przeprowadzono metodą wywiadu telefonicznego (CATI) przez TNS OBOP.

Celem badań była analiza poziomu aktywności mieszkańców województwa lubelskiego i ich gotowości do zaangażowania się w działania oparte na odnawialnych źródłach energii.

1. WPROWADZENIE

Energia była, jest i będzie nieodzownym czynnikiem postępu cywilizacyjnego. Najbardziej użyteczną formą energii w chwili obecnej jest energia elektryczna. To z niej można wygenerować wszystkie pozostałe formy. niezbędne do życia współczesnego człowieka (światło, ciepło, energię mechaniczną itp.) [1]. Niestety, światowa elektroenergetyka oparta jest głównie na spalaniu paliw kopalnych, a ich spalaniu zawsze towarzyszą niekorzystne efekty środowiskowe. Ponadto, paliwa kopalne występują w skorupie ziemskiej w ograniczonej ilości, a perspektywa ich wyczerpania jest niezbyt odległa [2]. Znając te perspektywy oraz skutki środowiskowe, państwa wysokorozwinięte coraz chętniej sięgają po rozwiązania alternatywne, promując i wspierając sektor tzw. odnawialnych źródeł energii (OZE). Lubelszczyzna, jako region Polski południowo wschodniej posiada dobre walory

zarówno klimatyczne, jak i gospodarcze dla rozwoju sektora OZE. Ponadto, takie działania zapisane są w strategii działania władz samorządowych Regionu [3]. Nie zawsze jednak znajduje to aprobatę społeczną. Przeprowadzone w niniejszej pracy analizy socjologiczne pozwalają ten problem zdiagnozować, zarówno w aspekcie jakościowym, jak i ilościowym.

2. METODOLOGIA BADAŃ SOCJOLOGICZNYCH

Badanie ilościowe zrealizowane zostały w dniach 13-16 kwietnia 2011 roku [4]. Do analizy wytypowano losowo reprezentatywną próbę 1000 mieszkańców województwa lubelskiego w wieku 18 i więcej lat. Badania przeprowadzono wyłącznie dla powiatów ziemskich, ponieważ potencjalne inwestycje związane z odnawialnymi źródłami energii dotyczą głównie obszarów wiejskich. Badania przeprowadzało 61 ankieterów TNS OBOP w Warszawie. Średni czas trwania wywiadu wyniósł 9 minut (minimalnie 5 minut, maksymalnie 25 minut). W badaniu wykorzystano standaryzowany kwestionariusz wywiadu składający się z pytań, uwzględniających zmiany po badaniu pilotażowym.

Losowo wytypowani respondenci z województwa lubelskiego wypowiedzieli się na pytania, pozwalające określić ich stosunek do problematyki związanej z ich wiedzą na temat OZE.

3. WYNIKI BADAŃ

Pytania ankietowe dotyczyły następujących zagadnień:

- Czy podejmuje Pan(i) któreś z następujących działań na rzecz ochrony środowiska naturalnego?
- Jakie odnawialne źródła energii Pan(i) zna?
- Czy energia z odnawialnych źródeł kojarzy się Panu(i) pozytywnie czy negatywnie?
- Czy był(a)by Pan(i) zainteresowany(a) instalowaniem w swoim domu urządzeń do produkcji energii z odnawialnych źródeł?
- Jakie widzi Pan(i) korzyści wynikające z realizacji inwestycji w Pana(i) gminie w oparciu o odnawialne źródła energii?
- A jakie zagrożenia dostrzega Pan(i) w związku z realizacją w Pana(i) gminie inwestycji w oparciu o odnawialne źródła energii?
- Czy zgodziłby(aby) się Pan(i) aby na terenie Pana(i) gminy w bliskim sąsiedztwie Pana(i) miejsca zamieszkania powstała inwestycja OZE?
- Na ile prawdopodobne jest, Pana(i) zdaniem, podjęcie wspólnych działań przez władzę Pana(i) gminy, mieszkańców, organizacje pozarządowe i inne podmioty w celu wykorzystania odnawialnych źródeł energii?
- Czy osobiście chciał(a)by Pan(i) włączyć się w działania podejmowane w Pana(i) gminie, gdyby utworzono partnerstwo wykorzystujące odnawialne źródła energii do zmiany gospodarczej?

Pytanie, dotyczące postaw ekologicznych brzmiało następująco:

Czy podejmuje Pan(i) któreś z następujących działań na rzecz ochrony środowiska naturalnego?

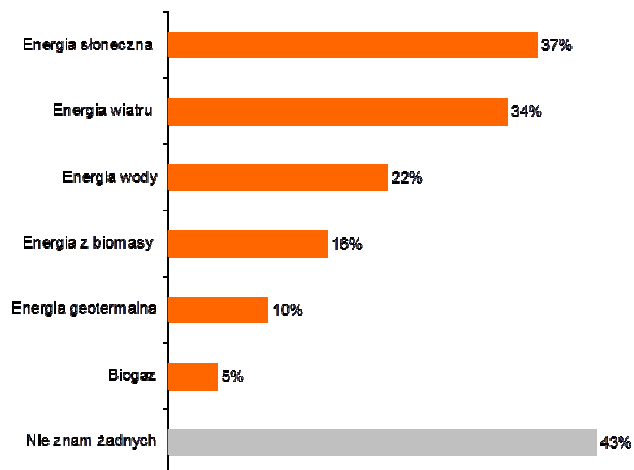
Uzyskane odpowiedzi przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Diagram odpowiedzi na pytanie: Czy podejmuje Pan(i) któreś z następujących działań na rzecz ochrony środowiska naturalnego?

Figure 1. Diagram of the answers to the question: Do you take any of the following actions to protect the environment?

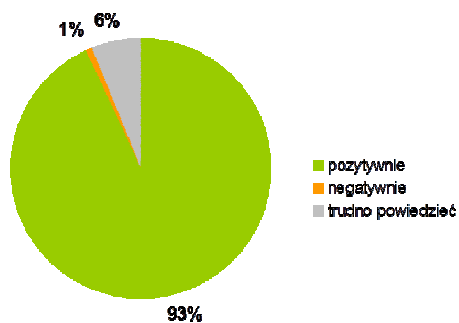
Odnośnie wiedzy na temat rodzajów odnawialnych źródeł energii, respondenci odpowiedzieli na pytanie: Jakie odnawialne źródła energii Pan(i) zna? Uzyskane wyniki przedstawia rys.2.



Rys. 2. Diagram odpowiedzi na pytanie: Jakie odnawialne źródła energii Pan(i) zna?

Figure 2. Diagram of the answers to the question: What renewable energy sources do you know?

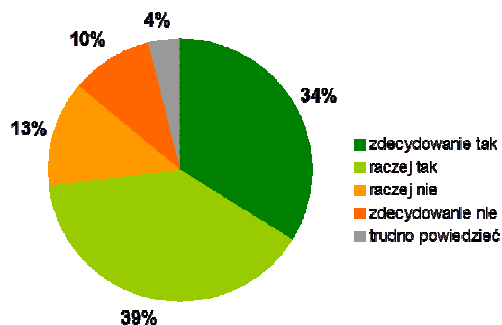
Skalowanie skojarzenia z odnawialnymi źródłami energii uzyskano na podstawie pytania: Czy energia z odnawialnych źródeł kojarzy się Panu(i) pozytywnie czy negatywnie? Odpowiedzi zobrazowano na rys.3.



Rys. 3. Diagram odpowiedzi na pytanie: Czy energia z odnawialnych źródeł kojarzy się Panu(i) pozytywnie czy negatywnie?

Figure 3. Diagram of the answers to the question: Does energy from renewable sources associate to you positively or negatively?

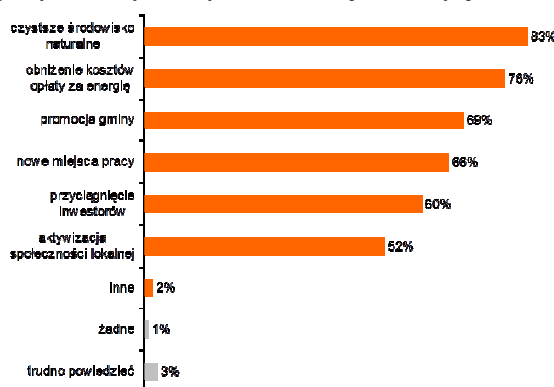
Odpowiedź na pytanie, dotyczące zainteresowania instalacją urządzeń do produkcji energii ze źródeł odnawialnych, które brzmiało: Czy był(a)by Pan(i) zainteresowany(a) instalowaniem w swoim domu urządzeń do produkcji energii z odnawialnych źródeł (kolektory solarne, pompy ciepła, piece na biomase)?, respondenci wyrazili, zgodnie z diagramem, przedstawionym na rys.4.



Rys. 4. Diagram odpowiedzi na pytanie: Czy był(a)by Pan(i) zainteresowany(a) instalowaniem w swoim domu urządzeń do produkcji energii z odnawialnych źródeł (kolektory solarne, pompy ciepła, piece na biomase)?

Figure 4. Diagram of the answers to the question: Would you be interested in installing the equipment for the production of energy from renewable sources (solar collectors, heat pumps, biomass stoves) in your home?

Rozumienie potencjalnych korzyści z tytułu realizacji inwestycji OZE obrazuje rys. 5.



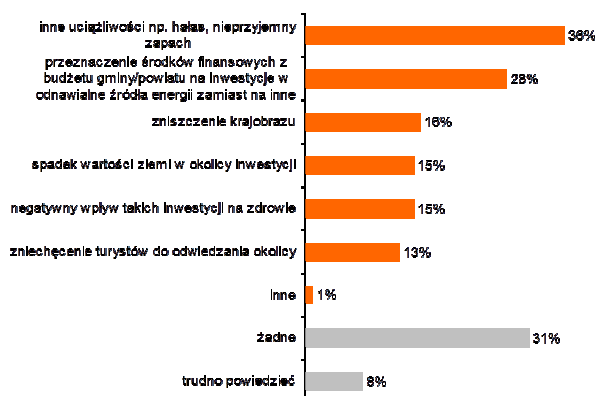
Rys. 5. Diagram odpowiedzi na pytanie: Jakie widzi Pan(i) korzyści wynikające z realizacji inwestycji w Pana(i) gminie w oparciu o odnawialne źródła energii?

* Odsetki nie sumują się do 100%, gdyż respondenci mogli wskazać więcej niż jedną odpowiedź.

Figure 5 Diagram of the answers to the question: What kind of benefits do you see in the realization of the investment in your municipality, on the basis of renewable energy sources?

* Percentages are not total 100% because respondents could indicate more than one answer.

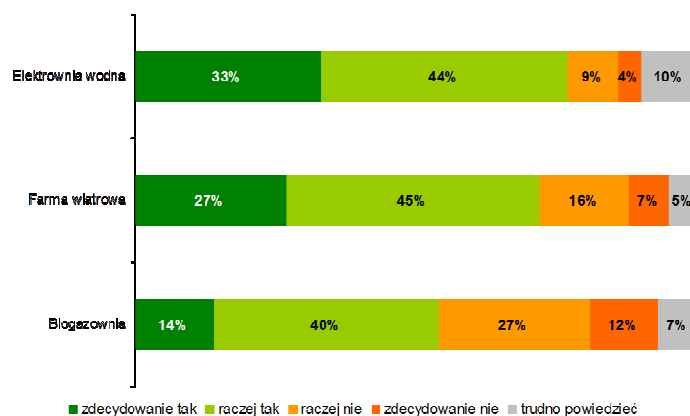
Zadano również pytanie, dotyczące obaw związanych z energią odnawialną. Wyniki uzyskanych odpowiedzi przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Diagram odpowiedzi na pytanie: A jakie zagrożenia dostrzega Pan(i) w związku z realizacją w Pana(i) gminie inwestycji w oparciu o odnawialne źródła energii?

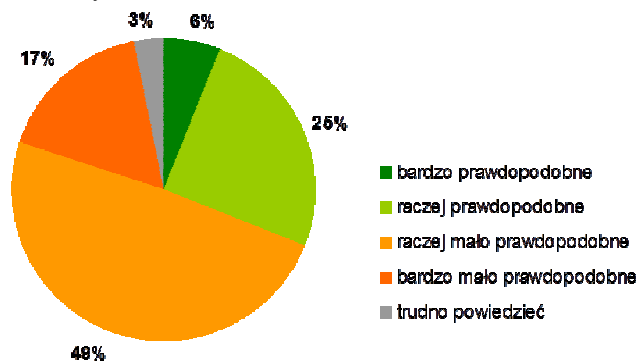
Figure 6 Diagram of the answers to the question: What risks do you see in connection with the realization of the investment in your municipality, on the basis of renewable energy sources?

Na pytanie: Czy zgodziłby(aby) się Pan(i) aby na terenie Pana(i) gminy w bliskim sąsiedztwie Pana(i) miejsca zamieszkania powstała...? respondenci odpowiedzieli następująco (rys.7.)



Rys. 7. Diagram odpowiedzi na pytanie: Czy zgodziłby(aby) się Pan(i) aby na terenie Pana(i) gminy w bliskim sąsiedztwie Pana(i) miejsca zamieszkania powstała...?
 Figure 7. Diagram of the answers to the question: Would you agree to create the above objects in close neighbourhood of your place of residence?

Ocenę prawdopodobieństwa podjęcia działań w celu wykorzystania odnawialnych źródeł energii przedstawiono na rys.8.



Rys. 8. Diagram odpowiedzi na pytanie: Na ile prawdopodobne jest, Pana(i) zdaniem, podjęcie wspólnych działań przez władzę Pana(i) gminy, mieszkańców, organizacje pozarządowe i inne podmioty w celu wykorzystania odnawialnych źródeł energii?
 Figure 8. Diagram of the answers to the question: How likely is, in your opinion, to take common actions by the authority of your municipality, its inhabitants, non-governmental organizations and other entities to use renewable energy sources?

Zapytano mieszkańców Lubelszczyzny również, jakie przeszkody mogą utrudnić podjęcie współpracy w celu wykorzystania odnawialnych źródeł energii gminie? Uzyskane odpowiedzi przedstawia rys.9.

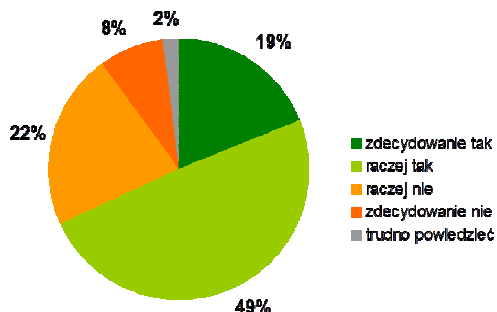
Przeszkody w wykorzystaniu odnawialnej energii



Rys. 9. Diagram odpowiedzi na pytanie: Jakie przeszkody mogą, Pana(i) zdaniem, utrudnić podjęcie współpracy w celu wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Pana(i) gminie?

Figure 9 Diagram of the answers to the question: What obstacles might, in your opinion, make cooperation difficult in order to use renewable energy sources in your municipality?

Zadano również pytanie o zainteresowania udziałem w partnerstwie działającym na rzecz OZE. Wyniki przedstawia rys. 10,



Rys. 10. Diagram odpowiedzi na pytanie: Czy osobiście chciał(a)by Pan(i) włączyć się w działania podejmowane w Pana(i) gminie, gdyby utworzono partnerstwo wykorzystujące odnawialne źródła energii do zmiany gospodarczej?

Figure 10 Diagram of the answers to the question: Would you like to personally engage in activities in your municipality if a partnership is created to exploit renewable energy sources for the economic change?

4. WNIOSKI

Wnioski z badania jakościowego:

1. Duża grupa badanych mieszkańców Lubelszczyzny deklaruje zaangażowanie

w aktywność społeczną, w szczególności dotyczy to lokalnych inicjatyw, w których najczęściej udział biorą mieszkańcy wsi. Co piąty respondent deklaruje ponadto zdecydowane zainteresowanie udziałem w partnerstwie związanym z wykorzystaniem potencjału odnawialnych źródeł energii w swojej gminie lub powiecie.

2. Świadomość ekologiczna lokalnej społeczności jest duża. Prawie wszyscy badani podejmują działania na rzecz ochrony środowiska np. oszczędzają energię elektryczną, a większość chciałaby korzystać z energii ze źródeł odnawialnych. Może to wskazywać, że inwestycje w odnawialne źródła energii nie powinny spotkać się z protestami mieszkańców, choć z drugiej strony w konkretnych przypadkach, inwestycji w swoim sąsiedztwie, są już oni bardziej ostrożni - najlepiej zaakceptowałyby budowę elektrowni wodnej czy farmy wiatrowej, ale już biogazownia mogłaby spotkać się z protestami.

Wnioski z badania ilościowego:

3. Wizerunek odnawialnych źródeł energii w społeczeństwie jest pozytywny. Badani dostrzegają znacznie więcej korzyści z ich wykorzystania niż zagrożeń z nimi związanych. Największe lęki, które trzeba przełamywać w związku z inwestycjami w OZE, budzą ewentualne uciążliwości, takie jak hałas i nieprzyjemny zapach. Z drugiej strony wrażliwi są na argumenty o zapewnieniu czystego środowiska, a także na aspekt ekonomiczny – niższe ceny energii.
4. Choć wielu badanych byłoby skłonnych zaangażować się w partnerstwa wykorzystujące odnawialne źródła energii do zmiany gospodarczej, to są bardzo sceptyczni, jeśli chodzi o ocenę możliwości współpracy pomiędzy samorządem, a mieszkańcami, organizacjami pozarządowymi i przedsiębiorcami. Główną przeszkodą jest ich zdaniem brak środków finansowych, ale także mentalność zarówno władz, jak i mieszkańców.

5. LITERATURA

- [1] J.M. Olchownik, Cienkie warstwy w strukturach baterii słonecznych, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej 2006, 233 str.
- [2] U.S. Energy Information Administration EIA 2009.
- [3] Strategia Rozwoju Województwa Lubelskiego na lata 2006-2020 (Uchwała Sejmiku Woj. Lubelskiego Nr XXXVI/530/05 z dn. 04.11.05 r.).
- [4] Dane TNS OBOP dla Lubelskiego Klastra Ekoenergetycznego, Lublin 2011.

EVOLUTION OF ECOLOGICAL AWARENESS ON RES AMONG THE INHABITANTS OF THE LUBLIN REGION

SUMMARY

This work presents the results of the knowledge and awareness study among the Lublin Region inhabitants, concerning renewable energy sources (RES). The research was conducted in spring 2011 to the order of Lublin Eco-Energy Cluster in the frameworks of "The Energy Creators of Changes" project. The analysis was performed in a group of 1000 randomly selected inhabitants and it was conducted by telephone interview (CATI) by TNS OBOP.

Jan M. OLCHOWIK, prof. zw. dr hab. inż.

Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: j.olchowiki@pollub.pl
Lubelski Klaster Ekoenergetyczny,
PSW im. Papieża Jana Pawła II, Biała Podlaska
ul. Sidorska 95/97, 21-500

FOTOWOLTAIKA W KONTEKŚCIE INNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII NA LUBELSZCZYŹNIE

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiona została analiza porównawcza preferowanych dla Lubelszczyzny źródeł energii odnawialnej. Porównano energetykę opartą na biogazie rolniczym i konwersji fotowoltaicznej w konfrontacji z klasyczną energetyką węglową. Wykazano przewagę sektora fotowoltaicznego.

1. WPROWADZENIE

Lubelszczyzna zaliczana jest do regionów o stosunkowo słabym uprzemysłowie- niu. Gospodarka Regionu opiera się głównie na rolnictwie. W związku z powyższym za- bezpieczenie energetyczne wynosi ok 1.2 GW mocy elektrycznej, a roczna „konsumpcja” energii sięga 8 TWh [1]. Energia ta tylko w niewielkim stopniu wytwarzana jest przez si- łownie macierzyste (głównie przez elektrociepłownie w Lublinie i w Puławach), a 2/3 po- trzeb stanowi import z województw ościennych. Wprawdzie Lubelszczyzna jest drugim co do wielkości zagłębieniem węglowym w Polsce, jednakże istniejąca infrastruktura energe- tyczna pozwala na zabezpieczenie potrzeb tylko w ok. 30%. Niemniej jednak, energetyka Lubelszczyzny w dalszym ciągu oparta jest na źródłach konwencjonalnych – paliwach kopalnych, głównie na węglu. Kryzysy energetyczne lat 70-tych poprzedniego wieku uświadomiły światu zbliżającą się nieuchronność wyczerpania się paliw kopalnych, wyko- rzystywanych do celów energetycznych. Wówczas, zrodziła się idea poszukiwania rozwią- zań alternatywnych. Duże nadzieje zaczęto pokładać w tzw. odnawialnych źródłach energii (OZE). Szczególnie Unia Europejska zaczęła promować bardzo intensywnie „zieloną” energetykę. Na światowego lidera w dziedzinie energetyki odnawialnej wysunęły się Niemcy. To u naszego zachodniego sąsiada wprowadzono po raz pierwszy na dużą skalę

politykę promowania i wspierania technologii zero-emisyjnych: energetyki wiatrowej, słonecznej czy wodnej. Tu wypada nadmienić, że dużym atutem energetycznym regionu Lubelszczyzny w kontekście OZE jest położenie geograficzne i klimat. Region Lubelszczyzny charakteryzuje się klimatem umiarkowanie kontynentalnym. Występują tu znaczne wahania temperatur rocznych, gorące lata i mroźne zimy. Okres dużego usłonecznienia Lubelszczyzny, w stosunku do reszty kraju, wydłuża się do wczesnej jesieni. Najlepsze warunki nasłonecznienia istnieją na Wyżynie Lubelskiej i Wołyńskiej oraz w Kotlinie Sandomierskiej. Przyrodę tego regionu kształtowało wzajemne przenikanie się klimatu atlantyckiego i kontynentalnego [2]. To właśnie kontynentalny klimat, a zwłaszcza duże usłonecznienie regionu Lubelszczyzny może stanowić bazę do zagospodarowania w celach elektroenergetycznych promieniowania słonecznego. Promieniowanie to w energię użyteczną dla człowieka można przeprowadzać na różne sposoby. Najważniejsze z nich to:

- konwersja fotochemiczna, w efekcie której uzyskiwany jest surowiec energetyczny – biomasa,
- konwersja fototermiczna, w efekcie której uzyskiwane jest ciepło – w tzw. kolektorach słonecznych,
- konwersja fotowoltaiczna, w efekcie której uzyskiwana jest bezpośrednio energia elektryczna – w tzw. fotoogniwach.

Również energia kinetyczna wiatru wynika z istnienia pierwotnego źródła, jakim jest Słońce. To fluktuacje gęstości atmosfery pod wpływem nagrzewania promieniami słonecznymi powodują dyfuzyjne przemieszczanie mas powietrza – powstanie wiatru.

Energia wiatru może stanowić ważną alternatywę dla klasycznej elektroenergetyki, bazującej na spalaniu surowców kopalnych, jednakże efektywność tego źródła uwarunkowana jest głównie prędkością wiatru na danym obszarze. Niestety, Lubelszczyzna znajduje się w III-ciej strefie wietrzności [3], co stawia pod znakiem zapytania opłacalność inwestycji wiatrowych. Również sieć zlewisk Regionu nie jest zbyt bogata, by efektywnie rozwijać energetykę wodną. Zatem dla celów elektroenergetycznych warto rozważyć dwa główne atuty Regionu: usłonecznienie i rolnictwo.

2. ELEKTROENERGETYKA BIOGAZOWA

Najmniej uciążliwym dla środowiska naturalnego człowieka sposobem przekształcenia biomasy w energię użyteczną jest jej zgazowywanie. Walory energii użytecznej biomasa uzyskuje w procesie beztlenowej fermentacji metanowej, w wyniku której powstaje biogaz. Fermentacja przeprowadzana jest w specjalnych komorach fermentacyjnych (rys.1).



*Rys. 1. Komora fermentacyjna [4].
Figure 1 Fermentation chamber [4].*

Powstały w wyniku takiej fermentacji biogaz składa się w 50-75% z metanu i w ok. 35% z dwutlenku węgla wraz z domieszkami innych gazów (np. siarkowodoru, tlenku węgla) [5]. Jego wartość opałowa waha się w granicach 17-27 MJ/m³ i zależy głównie od zawartości metanu. Typowy skład biogazu przedstawiony jest w tabeli 1.

*Tabela 1. Typowy skład biogazu.
Table 1 Typical composition of biogas.*

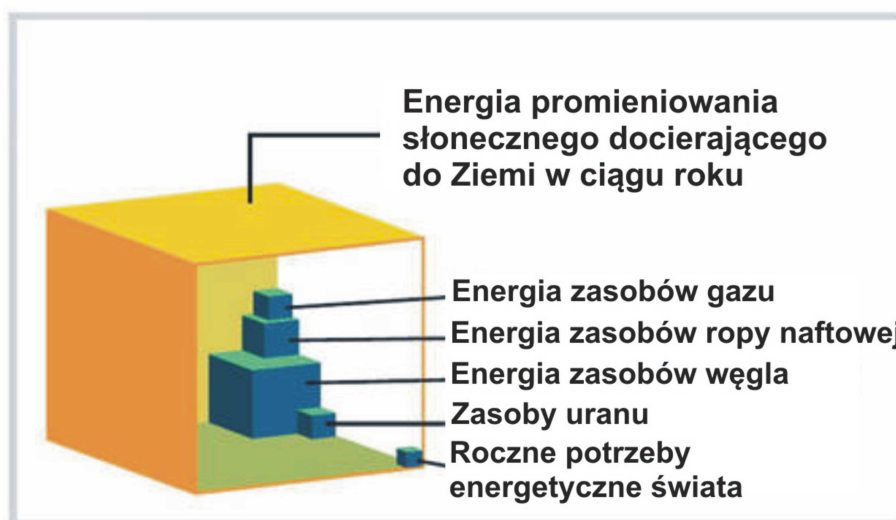
Składnik	%
metan, CH ₄	55-75
dwutlenek węgla, CO ₂	25-45
azot, N ₂	0-0,3
wodór, H ₂	1-5
siarkowodór, H ₂ S	0-3
tlen, O ₂	0,1-0,5

Nowoczesne komory fermentacyjne, zwane często bioreaktorami, pozwalają z dużą efektywnością przeprowadzać fermentację metanową. Odbywa się to zwykle przy stałych temperaturach rzędu 33-37 °C dla bakterii metanogennych mezofilnych, rzadziej 50-70°C dla bakterii termofilnych oraz przy pH 6,5-8,5 i odpowiedniej wilgotności [5]. Efektywność energetyczna fermentacji metanowej zależy również od rodzaju i jakości substratu. Wg danych literaturowych [6], w naszych warunkach najefektywniej można do tego celu wykorzystać kiszonkę kukurydzianą. Z 1 t kukurydzy można otrzymać 200m³ biogazu, a z 1 hektara – 5 000 m³. Wartość energetyczna biogazu wynosi 17-27 MJ/m³. Sprawność

energetyczna (elektryczność) biogazowni może sięgać 40% [6]. Zatem można pokusić się o oszacowanie możliwej do uzyskania ilości energii elektrycznej dla warunków Lubelszczyzny. Wiedząc, że roczna „konsumpcja” energii wynosi 8 TWh [1], to gdyby tę energię wytworzyć z biogazu, powstałego z fermentacji metanowej kukurydzy, to wymaga to corocznego obsiewu 727272 hektarów pól. Ponieważ Lubelszczyzna zajmuje obszar ok. 2.5 mln hektarów, to taki obsiew musiałby zająć aż 29% jej terytorium rocznie.

3. FOTOWOLTAIKA

Fotowoltaika, ma tę przewagę nad pozostałymi źródłami alternatywnymi (energia wiatrów, pływów morskich czy biomasy), że energia elektryczna wytwarzana jest bezpośrednio z absorpcji promieni słonecznych. Ponadto, korzystanie z niej jest możliwe niemal wszędzie. Oczywiście, intensywność promieniowania słonecznego na powierzchnię Ziemi zależy od szerokości geograficznej, pory dnia, pory roku, stanu atmosfery itp.. Niemniej jednak, sumaryczne zasoby tej energii są tak olbrzymie, że kilkunutowe jej zaabsorbowanie przez tylko jedną półkulę wystarczy na zabezpieczenie rocznego zapotrzebowania całego świata w energię elektryczną [7]. Obrazowo przedstawia to rys.2.



Rys. 2 . Schematyczne przedstawienie wielkości zasobów surowców energetycznych [7].
Figure 2. Schematic representation of the dimension of energy resources [7].

Przeprowadzona w poprzedniej pracy analiza potencjalnego wykorzystania tej formy konwersji energii pokazała [8], że dla zabezpieczenia niezbędnej mocy elektrycznej dla Lubelszczyzny (1.2 GW), wystarczyłoby wybudować farmy PV na powierzchni ok. 0.02% terytorium [8]. Oczywiście, wyliczenie czynnika energetycznego takiej konwersji wymaga uwzględnienia skali czasu. Uwzględniając podobne założenia dla sprawności konwersji i warunki usłonecznienia, jak w pracy [9], wymaganą energię – 8 TWh/rok można wytworzyć

rzyć za pomocą farm fotowoltaicznych o powierzchni 16 tys. hektarów, co stanowi 0.64% terytorium.

4. ENERGETYKA WĘGLOWA LUBELSZCZYZNY

Kontynuacja sektora energetyki, opartego wyłącznie na spalaniu węgla - nawet przy sprawności elektrociepłowni na poziomie 30% - wymagać będzie corocznie spalania ponad 3 mln ton węgla o najwyższej kaloryczności (ok. 30 MJ/kg). Jeśli przyjąć, że 1 wagon węgla pomieści 60 ton, to niezbędna masa do wytworzenie 8 TWh energii wymaga składu równego 50 tys. wagonów rocznie (139 wagonów dziennie). Wypada przypomnieć, że spalanie 1 tony węgla powoduje wydzielenie ponad 2.5 ton CO₂ [10].

5. PODSUMOWANIE

Porównanie tych trzech form wytwarzania energii elektrycznej przemawia jednoznacznie za energetyką słoneczną. Raz poniesione nakłady na wytworzenie konwerterów fotowoltaicznych pozwalają generować elektryczność przez kilkadziesiąt lat (standardowe gwarancje producentów na moduły fotowoltaiczne wynoszą 25-30 lat). Wszystkie pozostałe inwestycje wymagają rokrocznie uzupełniania surowca, a tym samym ponoszenia dodatkowych nakładów. Gdyby energetykę Regionu oprzeć na biogazie, to należałoby znaczną część obszarów wyłączyć z produkcji spożywczej. Co więcej, nie możliwe jest obsianie 30% terytorium Lubelszczyzny kukurydzą, ponieważ sporą jego część stanowią lasy i istniałoby zagrożenie powstania monokultur. Z kolei węgiel też w nieodległej przyszłości może zostać wyeksploatowany, nie mówiąc już o negatywnych skutkach jego spalania dla naturalnego środowiska człowieka. Racjonalnym rozwiązaniem jest zatem stopniowe zastępowanie energetyki węglowej energetyką słoneczną, połączoną hybrydowo z biogazowniami. Takie połączenie pozwala lepiej zbilansować relację podaży i popytu energii, a ponieważ gro „konsumpcji” energii przypada na przemysł - pracujący głównie w dzień, to do produkcji energii z biogazu będzie można wykorzystać znacznie mniejszą ilość substratu, a tym samym powierzchni upraw.

6. LITERATURA

- [1] G. Berent – Kowalska, J. Kacprowska, G. Kacperczyk, A. Jurgaś, Wydawca: Główny Urząd Statystyczny, Departament Przemysłu, Ministerstwo Gospodarki, Departament Energetyki, 2009.
- [2] Stan środowiska w województwie lubelskim, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Lublin, 2003.
- [3] www.wind-power.pl/strefy-energetyczne-wiatru-w-polsce/
- [4] www.biznes.onet.pl
- [5] Curkowski, P. Mroczkowski, A. Oniszk-Popławska, G. Wiśniewski, Biogaz rolniczy- produkcja i wykorzystanie, Mazowiecka Agencja Energetyczna, Warszawa 2009.
- [6] www.biogaz.com.pl/index.php/terminologia
- [7] J.M. Olchowik, Trendy rozwoju fotowoltaiki w Europie i na świecie, Fotowoltaika, 1 (2011) 9.
- [8] J.M. Olchowik, Rozważania o energetycznej przyszłości Lubelszczyzny, Region Lubelski 7(9) (2010) 87.

- [9] J.M. Olchowik, Czy energia słoneczna może zabezpieczyć w energię elektryczną Lubelszczyznę?, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 271, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z.57, 2010, s. 387.
- [10] Karcz, P. Burmistrz, A. Strugała, Oszacowanie emisji CO₂ związanej z wydobyciem, wzbogacaniem i transportem węgla – potencjalnych surowców dla procesów wytwarzania wodoru, Polityka energetyczna, 12, 1, (2009), PL ISSN 1429-6675.

PHOTOVOLTAICS IN THE CONTEXT OF OTHER ENERGY SOURCES IN LUBLIN REGION

SUMMARY

This work presents the comparative analysis of the renewable energy sources preferred in the Lublin Region. There was compared the power industry based on agricultural biogas and photovoltaic conversion with the classic coal-based industry. There was shown the superiority of photovoltaic sector.

Jan M. OLCHOWIK, prof. zw. dr hab. inż.

***Jan J. TARŁOWSKI, inż.**

***Paweł Ł. MAZUR, inż.**

***Rafał WOLIŃSKI, inż.**

***Katarzyna KALAMON**

Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin,
e-mail: j.olchowik@pollub.pl
* Studenckie Koło Naukowe „Grupa Ogniw”

ANALIZA NUMERYCZNA EFEKTYWNOŚCI PRACY NAZIEMNYCH FARM FOTOWOLTAICZNYCH DLA WYBRANYCH LOKALIZACJI

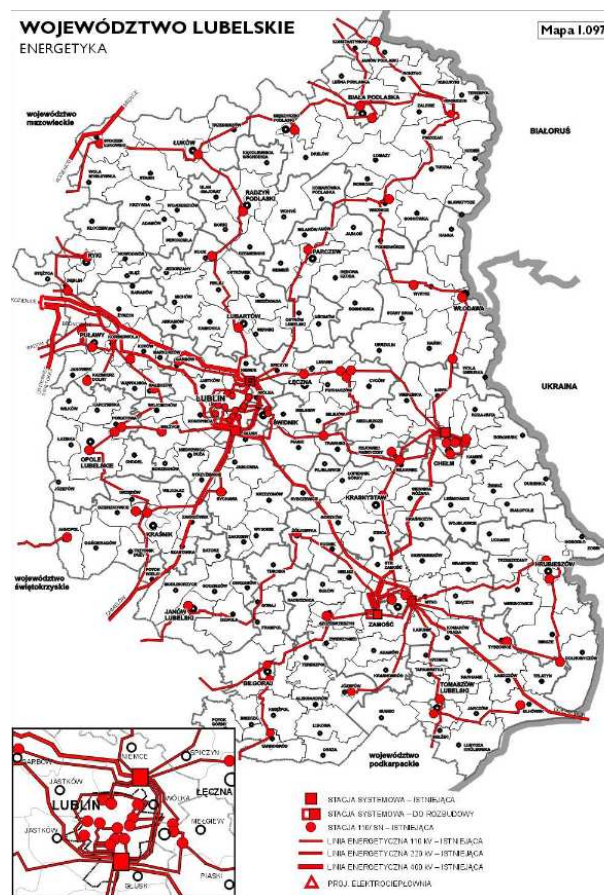
STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono analizę efektywności produkcji energii elektrycznej z naziemnych farm fotowoltaicznych (PV) umiejscowionych w różnych obszarach województwa Lubelskiego. Do analizy wykorzystano dane meteorologiczne dotyczące nasłonecznienia i usłonecznienia wybranych obszarów oraz właściwości topograficzne terenów przeznaczonych pod budowę farm PV.

1. WPROWADZENIE

Budowę każdej farmy fotowoltaicznej powinna poprzedzać ocena lokalnych warunków klimatycznych panujących na danym obszarze, a także przydatność i możliwości wykorzystania terenu do przeprowadzenia takiej inwestycji. Podczas planowania budowy elektrowni fotowoltaicznej wskazane jest, aby przeznaczyć na to tzw. tereny marginalne tj. takie, które nie mogą być zagospodarowane na bardziej użyteczne cele (produkcja żywności, budowa lokali mieszkalnych itp.). Powinny to być zatem nieużytki lub tereny pozakładowe. Do takich terenów zalicza się m.in.: nieczynne wysypiska, wyeksploatowane kopalnie, hałdy po wydobywcze, strefy buforowe ujęć wody, oczyszczalni, nieczynne lotniska, grunty niskiej klasy [1]. Tereny z ryzykiem hydrologicznym, geologicznym, sejsmicznym bądź z gruntem osiadającym nie powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu takiej inwestycji. Preferowane są powierzchnie płaskie bądź o nachylone w kierunku południo-

wym (~0-30%). Pod względem klimatycznym, dobiera się tereny, do których dociera promieniowanie średnio rocznie powyżej 900kWh/m². Na pracę elektrowni fotowoltaicznych niekorzystnie wpływają częste porywy wiatru, o prędkościach powyżej 60km/h. Taki wiatr może poważnie uszkodzić elementy konstrukcji generatorów PV. Również zanieczyszczenie powierzchni paneli fotowoltaicznych może negatywnie rzutować na ich wydajność. Najnowsze badania dowodzą, że straty energii związane z zanieczyszczeniem paneli przez kurz mogą sięgać od 15 do 20% [2]. Ponadto, naziemne farmy PV powinny być lokalizowane w pobliżu linii przesyłowych średniego lub wysokiego napięcia. Na Lubelszczyźnie, istniejąca infrastruktura sieciowa przedstawiona jest na rys. 1.

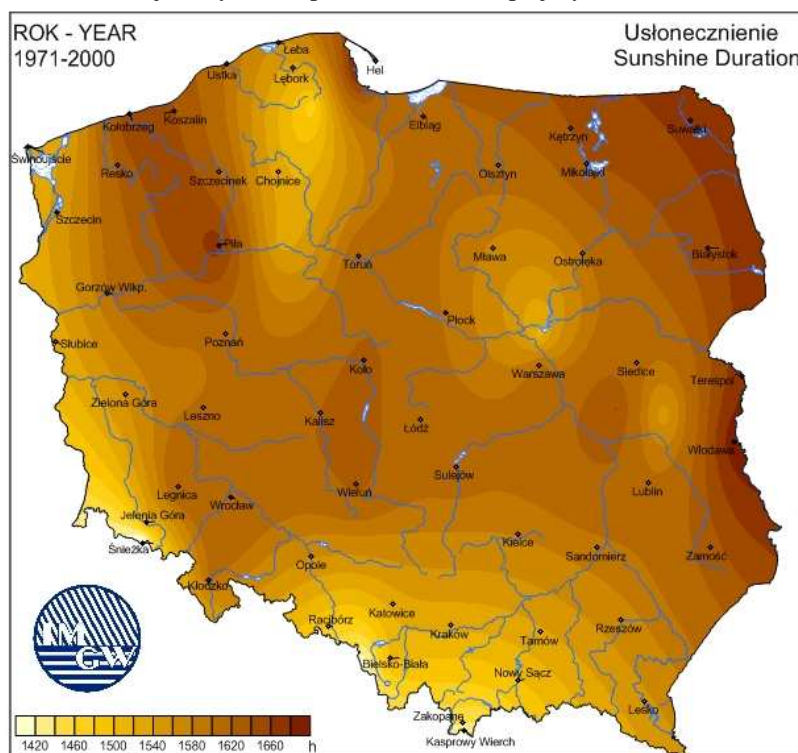


Rys.1. Mapa sieci elektroenergetycznej wysokiego napięcia Województwa Lubelskiego [3].

Fig.1. Map of high voltage electricity grid in Lublin province [3].

2. WYBRANE LOKALIZACJE FARM PV NA LUBELSZCZYŹNIE

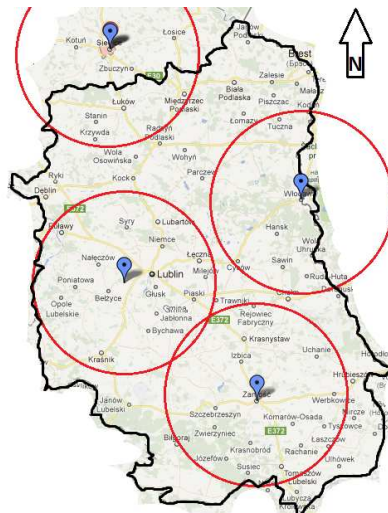
Lubelszczyzna jest terenem charakteryzującym się średniorocznym nasłonecznieniem na poziomie 1650 - 1700 godzin słonecznych (rys. 2.). Ponadto, region Województwa Lubelskiego charakteryzuje się cechami klimatu kontynentalnego, takimi jak słoneczne lata, małe zachmurzenie i sporadyczne opady, które z kolei mogą korzystnie wpływać na pracę modułów PV. Dodatkowo, umiarkowane temperatury w porze letniej sprawiają, że zwiększa się żywotność krystalicznych konwerterów PV. Również efektywność konwersji przy takich warunkach jest wyższa w porównaniu do cieplejszych klimatów [4].



Rys.2. Mapa uśłonecznienia w latach 1971-2000 [4].

Fig.2. Map of sunshine duration in 1971-2000 [4].

W celu przeprowadzenia analizy efektywności możliwości pracy naziemnych farm fotowoltaicznych, podzielono Województwo Lubelskie na 4 strefy o promieniu około 40km każda: Północną, Wschodnią, Południową oraz Centralno-Zachodnią. Taki wybór wynika z faktu, że w wybranych obszarach znajdują się miejscowości, posiadające stacje meteorologiczne, mierzące w długim okresie intensywność promieniowania słonecznego. Są to: Siedlce, Włodawa, Zamość, Lublin-Radawiec (rys. 3.).



Rys.3. Mapka umiejscowienia stacji meteorologicznych[5].
Fig.3. Map of localization of meteorological stations [5].

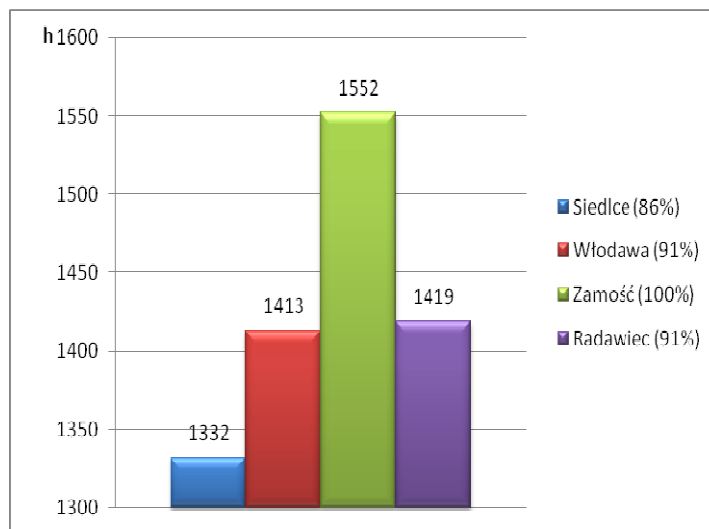
2.1. Energia promieniowania w wybranych miejscowościach

Roczny rozkład energii słonecznej dla wybranych miejscowości przedstawia tabela 1 i rys.4.

Tab. 1. Średnie wartości energii całkowitej promieniowania słonecznego docierająca do powierzchni płaskiej w latach 1971-2000 (Wh/m^2)
Table 1 The average values of total energy of solar radiation reaching the flat surface in 1971-2000 (Wh/m^2)

Miesiąc	Siedlce	Włodawa	Zamość	Lublin - Radawiec
Styczeń	21551	22426	28973	23826
Luty	29879	29301	32323	30712
Marzec	71158	62967	78766	62222
Kwiecień	97797	109902	95068	101953
Maj	135416	136415	152990	130681
Czerwiec	152221	142822	159833	162357
Lipiec	132936	150672	157377	153205
Sierpień	122538	123936	144523	133617
Wrzesień	75748	83861	92081	83332
Październik	44712	56538	52932	47717
Listopad	22721	23085	27156	25356
Grudzień	17670	18009	22809	19789
SUMA [Wh/m^2]	924.347	959.934	1.044.831	974.767

Z powyższego zestawienia wynika, iż na przestrzeni blisko 30 lat, południowy obszar Lubelszczyzny charakteryzuje się najlepszymi warunkami nasłonecznienia (Tabela 1.). W odniesieniu do Zamościa, strefa północna otrzymuje średnio 11,5% mniej energii na powierzchnię płaską, strefy wschodnia oraz centralno-zachodnia kolejno o 8,1% i 6,7% mniej.



Rys.4. Roczne sumy usłonecznienia całkowitego.
Fig.4. Total annual sunshine duration.

Rejon Zamościa charakteryzuje się również największą roczną sumą usłonecznienia całkowitego, utrzymującego się na poziomie 1552 godzin. Dla porównania, strefa północna absorbuje o 14% mniej promieniowania słonecznego, strefa wschodnia oraz centralno-zachodnia o 9% mniej.

3. SYMULACJA ROCZNEGO UZYSKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z FARMY O MOCY 1MWP W WYBRANYCH MIEJSCOWOŚCIACH

Z uwagi na zmienny rozkład godzin słonecznych w ciągu roku, znaczącym elementem wpływającym na sprawność siłowni słonecznych jest kąt nachylenia paneli. Jest on dobierany na podstawie szerokości geograficznej oraz rozkładu sum godzin słonecznych w poszczególnych miesiącach. Niskie wartości kąta nachylenia paneli fotowoltaicznych są preferowane dla regionów południowych naszej półkuli, natomiast dla regionów północnych preferowane są wyższe wartości kątów nachyleń. Do obliczenia optymalnego kąta nachylenia dla rozpatrywanych miejscowości Lubelszczyzny wykorzystano sezonowy rozkład rocznego napromieniowania (tabela 1). Przedstawione w tabeli dane wymagają przeliczenia, uwzględniającego progi pomiarowe heliografów, odpowiadające $279,2 \text{ W/m}^2$ [6]. Z wykorzystaniem tych danych został obliczony optymalny kąt nachylenia paneli. Do

obliczeń wykorzystano algorytm, przedstawiony w pracy [7]. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Rozkład miesięczny godzin słonecznych i optymalnych kątów nachylenia dla danych lokalizacji [6,8].

Table 2 Distribution of monthly sunshine hours and the optimal angles of depression for given localizations [6,8].

	Siedlce	Włodawa	Zamość	Radawiec
Optymalny kąt:	33°	34°	32°	30°
Styczeń	4	11	23	7
Luty	21	21	24	23
Marzec	99	75	115	65
Kwiecień	165	185	146	161
Maj	212	210	252	214
Czerwiec	246	239	254	266
Lipiec	216	249	259	257
Sierpień	213	204	233	225
Wrzesień	114	129	147	128
Październik	34	72	69	53
Listopad	5	14	19	13
Grudzień	3	4	11	7
SUMA [h/rok]	1332	1413	1552	1419

Zakładając lokalizację farm PV w pobliżu linii przesyłowych średniego, bądź wysokiego napięcia, można zminimalizować straty energii. Zatem standardowe straty całego systemu nie powinny przekraczać 5% (wynikają one ze strat na urządzeniach takich jak falownik, transformator, okablowanie). Przy takich założeniach, roczny uzysk energii elektrycznej z konwersji fotowoltaicznej bezpośredniego promieniowania słonecznego dla farm o mocy nominalnej 1 MWp (p oznacza pik – moc szczytowa) obrazuje tabela 3.

Tab. 3. Roczny uzysk energii elektrycznej z 1MWp farmy słonecznej.
Table 3 The annual yield of electricity from solar farm of 1MWp power.

	Siedlce	Włodawa	Zamość	Radawiec
1MWp	965	1010	1088	1010
				<i>MWh</i>

Wiadomo, iż oprócz bezpośredniego promieniowania słonecznego, do Ziemi dociera również promieniowanie rozproszone (dyfuzyjne). W zależności od zastosowanej technologii konwerterów PV, również takie promieniowanie daje wkład do uzysku energii użytecznej farm fotowoltaicznych. Dla krzemowych technologii krystalicznych, udział ten dla naszej szerokości geograficznej wynosi od kilku do nawet kilkunastu procent mocy nominalnej [8]. Zakładając udział ten na poziomie 7 % (na co wskazują prowadzone od 2004 roku

badania małej instalacji hybrydowej PV-PT Politechniki Lubelskiej), skorygowany uzysk energii dla wybranych lokalizacji farm PV przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Roczny uzysk energii elektrycznej z 1MWp farmy słonecznej z uwzględnieniem udziału promieniowania dyfuzyjnego.

Table 4. The annual yield of electricity from solar farm of 1MWp with the involvement of diffuse radiation.

	Siedlce	Włodawa	Zamość	Radawiec	
1MWp	1030	1072	1161	1078	MWh

Niestety, na danym etapie jest to tylko hipoteza, gdyż fizycznie takie obiekty jeszcze na Lubelszczyźnie nie istnieją. Jednakże, biorąc pod uwagę dane jedyne realnego obiektu w Polsce – 1MWp farmy zbudowanej w ubiegłym roku w miejscowości Wierchosławice (woj. Małopolskie), kiedy to energia elektryczna zaczyna być generowana już tuż po wschodzie Słońca (wyłącznie podczas promieniowania rozproszonego), postawioną hipotezę można uznać za wiarygodną.

4. PODSUMOWANIE

Województwo Lubelskie na tle całej Polski wyróżnia się ponadprzeciętnymi zasobami energii słonecznej. Jest to region uprzywilejowany pod względem usłonecznienia. Okres ze średnim dziennym usłonecznieniem rzeczywistym jest najdłuższy na Polesiu Lubelskim. Mając na uwadze przeprowadzone analizy można wyciągnąć wniosek, iż farma fotowoltaiczna zlokalizowana w południowo- wschodniej części Regionu pozwoli wygenerować o 7,1% energii więcej od centralno – zachodniej i wschodniej części oraz 11,2% od północnej części Lubelszczyzny.

5. LITERATURA

- [1] J.M. Olchowik, K.Cieślak, J. Aguilera, G. Nofuentes-Garrido, J. Terrados, D. Bedin, Strategic Vision Document, Project “PVs in Bloom”, Venice, 2010, ISBN 978890501609.
- [2] G. Nofuentes, J.V.Munoz, D.L. Talavera, J.Aguilera, J. Terrados, PV’s in Bloom – Technical Handbook, ISBN 9788890231001.
- [3] J. M. Olchowik, Czy energia Słoneczna może zabezpieczyć w energię elektryczną Lubelszczyznę?, Konferencja Naukowa - Solina 2010r.
- [4] Mapa usłonecznienia, Dane IMiGW,
- [5] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków, Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, 2008r.
- [6] D. Matuszko, Wątpliwości terminologiczne dotyczące promieniowania słonecznego, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2009r.
- [7] J. Tatarczak, Program inżynierski, Politechnika Lubelska 2012

- [8] R. Tomaszewski, Badanie efektywności pracy hybrydowych układów energetyki słonecznej w warunkach klimatycznych Lubelszczyzny, Praca doktorska, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, 2010.

**NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF GROUND
PHOTOVOLTAICS FARM WORKING FOR THE SELECTED
LOCATIONS**

SUMMARY

This work presents the analysis of the effectiveness of electricity production from the above-ground photovoltaic farms (PV) located in various areas of the Lublin Region. The analysis was based on the meteorological data concerning insolation on selected areas, and topographical characteristics of land for PV farms construction.

Jan M. OLCHOWIK, prof. zw. dr hab. inż.
***Jarosław TATARCZAK, inż.**

Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: j.olchownik@pollub.pl
PSW im. Papieża Jana Pawła II, Biała Podlaska
ul. Sidorska 95/97, 21-500
*Studenckie Koło Naukowe „Grupa Ogniwo”

ALGORYTM OPTYMALIZUJĄCY UZYSK ENERGII W STACJONARNYCH FARMACH FOTOWOLTAICZNYCH

STRESZCZENIE

Zwiększenie efektywności uzysku energii użytecznej z konwersji fotowoltaicznej można uzyskać poprzez podwyższanie sprawności ogniw fotowoltaicznych (PV), ale także poprzez optymalne konfigurowanie ekspozycji energii słonecznej na powierzchnię paneli słonecznych. Najefektowniejszym rozwiązaniem jest stosowanie systemów nadążnych za ruchami pozornymi Słońca, jednakże konstrukcje takich systemów są dość drogie, a ich nawigacja wymaga dodatkowych nakładów energii. Systemy stacjonarne natomiast wymagają doboru takiego usytuowania powierzchni paneli fotowoltaicznych, który w skali całego roku pozwoli wygenerować maksymalną energię przy zadanej lokalizacji. Niniejsza praca poświęcona jest opracowaniu algorytmu, pozwalającego optymalizować uzysk energii elektrycznej z konwersji energii Słońca dla zadanych warunków geograficznych i klimatycznych.

1. WPROWADZENIE

Przy budowie stacjonarnych systemów fotowoltaicznych należy prawidłowo zaprojektować kąt nachylenia modułów fotowoltaicznych, które w skali całego roku pozwolą wygenerować jak największą ilość energii elektrycznej. Istnieje wiele modeli komercyjnych, które z mniejszym lub większym powodzeniem pozwalają dobierać geometrię farm PV [1,2]. Modele takie jednak wymagają pewnej weryfikacji parametrów przy projektowaniu farm PV w konkretnych lokalizacjach. W krajach z dobrze rozwiniętą praktyką fotowoltaiczną nie stanowi to większego problemu. Niestety, w Polsce brak jest dostatecznej

liczby rozwiązań praktycznych, które pozwoliłyby bezpośrednio adoptować do tego celu modele już istniejące. Dlatego też, w niniejszej pracy podjęto się próby opracowania własnego modelu optymalizacji pola ekspozycji promieniowania słonecznego oraz kątów nachylenia modułów PV, w celu zapewnienia maksymalnego uzysku energii z konwersji PV dla wybranych lokalizacji. Do doboru optymalnej ekspozycji ogniw PV i symulacji uzysku energii służy algorytm bazujący na wieloletnich danych, pochodzących ze stacji meteorologicznych, zlokalizowanych w pobliżu analizowanego obszaru. Głównym parametrem wykorzystywanym w modelu jest usłonecznienie w danym obszarze i jego topologia, na którym będzie zlokalizowana farma fotowoltaiczna. Jednostką usłonecznienia jest liczba godzin słonecznych w ciągu roku. Definiuje się ją, jako przedział czasu, w którym do powierzchni Ziemi dociera bezpośrednie promieniowanie słoneczne o intensywności powyżej przyjętego progu. Współczesne pomiary dokonywane są przy intensywnościach, począwszy od $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ [3,4].

Warunkiem optymalnego doboru kąta nachylenia paneli względem ziemi, jest znajomość nie tyle samej liczby godzin słonecznych w ciągu roku, ale także rozkład godzin słonecznych w poszczególnych miesiącach roku. Wynika to z faktu, że wysokość Słońca nad horyzontem w czasie zimowych dni, jest dużo niższa niż latem. Aby panele pracowały z jak największą efektywnością, współczynnik kąta odchylenia od normalnej AOI (ang. angle of incidence) powinien być jak największy [5].

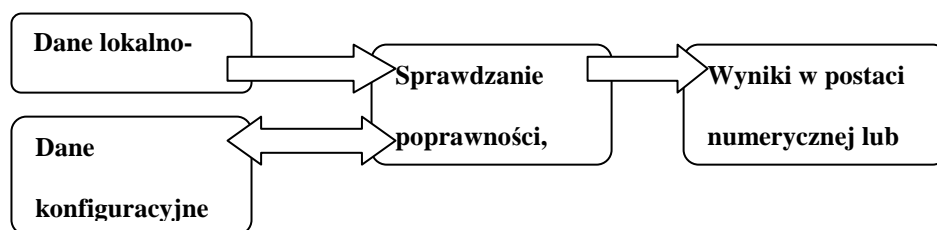
Współczynnik ten można określić wyrażeniem [5]:

$$AOI = \cos(\beta) \times \cos(\theta_z) + \sin(\beta) \times \sin(\theta_z) \times \cos(\gamma - \gamma_s), \quad (1)$$

gdzie: β – kąt nachylenia modułu, θ_z – kąt zenitalny słońca, γ – kąt azymutalny modułu ($0^\circ = \text{północ}$ $90^\circ = \text{wschód}$), γ_s – kąt azymutalny słońca.

2. ALGORYTM PROGRAMU SYMULACYJNEGO

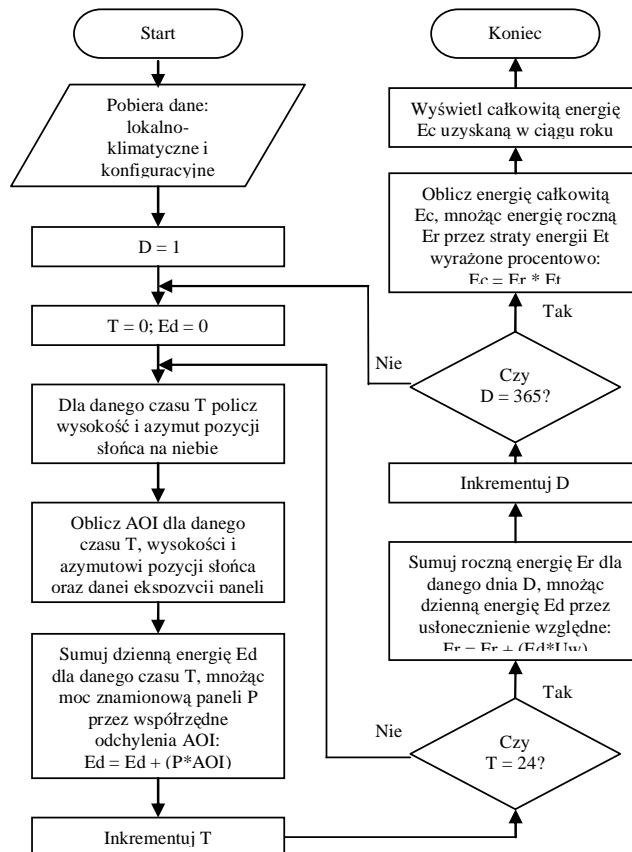
Wykorzystując algorytm Jean'a Meeus'a [6], można wyznaczyć astronomiczną wysokość i azymut kąta pozycji słońca, w określonym miejscu i czasie na kuli Ziemskiej. Ogólny schemat algorytmu do symulowania uzysku energii elektrycznej z konwersji promieniowania słonecznego przedstawia rys.1.



Rys. 1. Uogólniony blokowy schemat działania algorytmu programu wspomagającego projektowanie farm PV.

Figure 1 Generalized block diagram of the algorithm working in program supporting the design of PV farms.

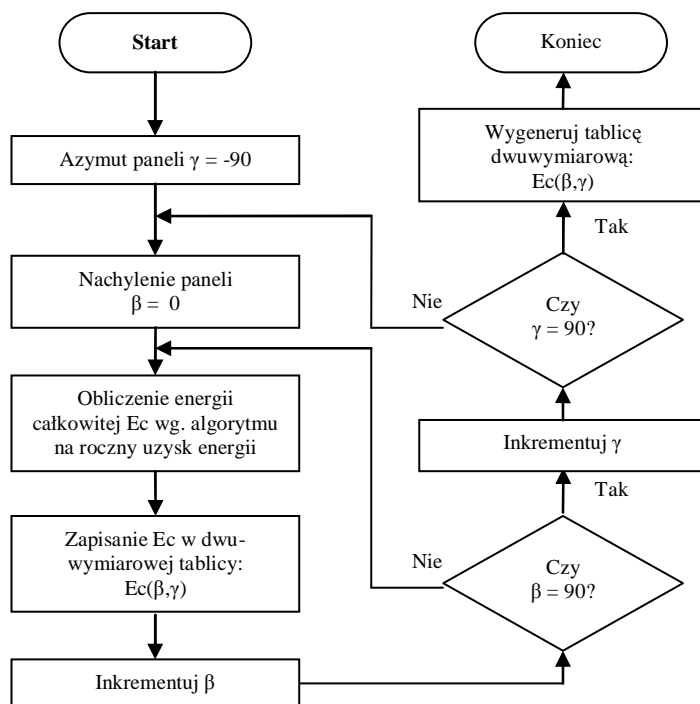
Znając dane lokalno-klimatyczne oraz określając dane konfiguracyjne paneli, można obliczyć całkowity uzysk energii elektrycznej. Dodatkowo w symulacji należy uwzględnić straty energii na okablowaniu i inwerterach, które zależą od konkretnych rozwiązań rynkowych. Na rys.2. przedstawiono schemat blokowy algorytmu, pozwalającego określić optymalnie wygenerowaną z konkretnej farmy PV energię elektryczną.



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu liczącego roczny uzysk energii elektrycznej z stacjonarnego systemu PV. Objasnienia do schematu: Ed – energia dzienna, AOI – współ. odchylenia od normalnej, P – moc modułu PV, Er – energia w skali roku, Uw – uśonecznienie względne dla poszczególnego miesiąca roku, Ec – energia całkowita, Et – energia tracona na okablowaniu, inwerterach itp.

Figure 2 Block diagram of the algorithm counting the annual output of electricity from the stationary PV system. Scheme explanation: Ed – daily energy, AIO – Angle of Incidence, P – PV module power, Er – energy per year, UW – the relative isolation for a particular month of the year, Ec – total energy, Et – energy lost in wiring, inverters, etc.

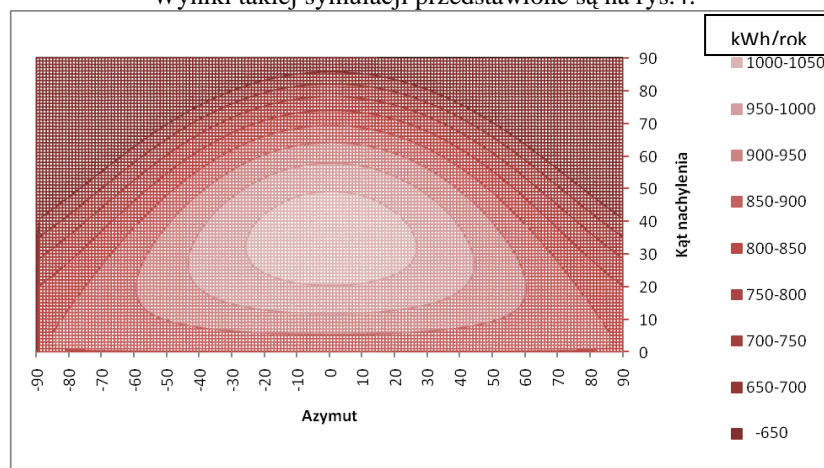
Rozbudowując poprzedni algorytm (rys. 2.), można przeanalizować w szerokim zakresie kombinacji ustawień paneli, mapę uzysku energii elektrycznej dla danej lokalizacji. Obrazuje to rys.3.



Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu tworzącego mapę uzysku energii elektrycznej w ciągu roku przy zmiennym kącie nachylenia β , w zakresie 0-90stopni, i azymucie γ , w zakresie od -90 (wschód) przez 0 (południe) do 90 stopni (zachód), paneli PV.

Figure 3 Block diagram of the algorithm creating an output map of electricity per year at a variable β angle of depression, in the range of 0-90 degrees and azimuth γ in the range of: from 90 (rise), by 0 (noon) to 90 (set), of PV panels.

Wyniki takiej symulacji przedstawione są na rys.4.



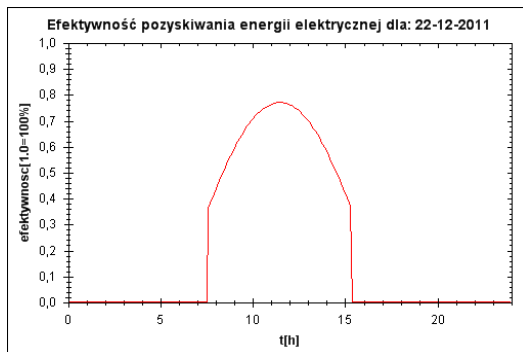
Rys. 4. Mapa uzysku energii elektrycznej (kWh/rok) w szerokim zakresie kombinacji ustawień paneli PV, dla mocy znamionowej 1kWp (p oznacza pik) w ciągu całego roku, dla miasta Lublin.

Figure 4 Map of electrical energy yield (kWh / year) in a wide range of combinations of PV panels settings, for the power rating 1kWp (p- peak) throughout the year, for Lublin city.

3. EFEKT CIENIA

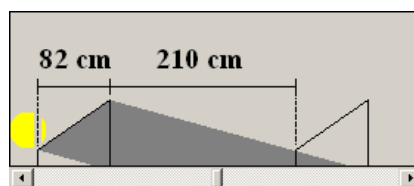
Farmy fotowoltaiczne budowane są zazwyczaj z sieci rzędów paneli skierowanych ku południowi. Dla efektywności pracy stacjonarnej farmy PV istotny jest tzw. efekt cienia, który rzuca panel poprzedni na panel znajdujący się w następnym rzędzie. Tradycyjny panel fotowoltaiczny zbudowany jest z szeregowo-równoległego połączenia dyskretnych fotoogniw. Gdy w połączonych szeregowo ogniwach nastąpi zacinienie jednego lub kilku elementów (np. przez spadające liście lub cień poprzedzającego modułu), nastąpi wówczas zmiana kształtu charakterystyk prądowo-napięciowych i zmniejszenie prądu zwarcia. Ogniwo wytwarzające, w module, prąd o najmniejszej wartości może się „przepolaryzować” i wówczas zachowuje się w obwodzie jak dioda spolaryzowana w kierunku zaporowym. Takie ogniwo staje się dodatkowym obciążeniem, następstwem czego jest znaczne zmniejszenie uzysku energii elektrycznej w całym zespole fotowoltaicznym, i może prowadzić to do uszkodzenia ogniwa w module (powstanie gorącego punktu). W celu zabezpieczenia pojedynczych ogniw przed uszkodzeniem stosuje się obecnie zabezpieczające diody bocznikujące [7].

Analizując rzucany cień na podłoże farmy, można wyznaczyć minimalny odstęp, jaki powinien być między rzędami, by pozyskać jak najwięcej energii elektrycznej przy optymalnej powierzchni. Najkrótszym dniem roku jest dzień przesilenia zimowego, przypadający na 22 grudnia. Zatem, dla tego dnia należy wyznaczyć długość padającego cienia w godzinach południowych, czyli w czasie największej efektywności generacji energii. Taką sytuację obrazuje rys.5.



Rys. 5. Efektywność pozyskiwania energii elektrycznej dla 22 grudnia, przy optymalnym kącie nachylenia paneli względem ziemi, równym 35 stopniom.
 Figure 5 Efficiency of electricity obtaining on 22nd December, at an optimal angle of depression of panels in relation to the earth, equal 35 degrees.

Cień padający na panele przy dużym nasłonecznieniu, nie tylko może obniżyć ilość pozyskanej energii, ale także, jeżeli panele nie posiadają diod bocznikujących, może wywołać zjawisko powstawania gorących punktów, co trwale uszkadza panele, wpływając na spadek mocy znamionowej modułu [6]. Przykład doboru odległości dla najkrótszego dnia w roku przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Rzut cienia w najkrótszym dniu roku dla godziny 12.00. Długość paneli 100 cm, kąt nachylenia paneli względem ziemi 35 stopni, odległość między panelami 210 cm.
 Figure 6 The view of shadow in the shortest day of the year at 12.00. Panels' length – 100 cm, panels angle of depression in relation to the ground – 35 degrees, the distance between panels – 210 cm.

Na podstawie obserwacji padania cienia dla najkrótszego dnia roku, w programie symulacyjnym można wyznaczyć minimalną odległość między rzędami paneli. W tym celu należy znać wcześniej wyznaczony optymalny kąt nachylenia paneli oraz ich wymiary.

4. OBLICZANIE OPTYMALNEJ POWIERZCHNI FARMY FOTOWOLTAICZNEJ

Posiadając dane o ukształtowaniu terenu, gdzie będzie zlokalizowana potencjalna farma PV, oraz specyfikację parametrów modułów fotowoltaicznych, można obliczyć wymaganą powierzchnię pod jej budowę. Powierzchnia ta w dużej mierze będzie zależeć od ukształtowania terenu - szczególnie od jego nachylenia względem płaszczyzny poziomej.

Zakładając, że projektowana farma PV ma moc znamionową równą 1MWp oraz optymalny kąt nachylenia paneli względem poziomu równy 35 stopniom, można wyliczyć minimalną powierzchnię wymaganego gruntu przy różnych ustawieniach rzędów. Załóżmy, że liczba paneli wynosi 4260 sztuk, wymiary paneli wynoszą 1662x990mm oraz moc znamionowa pojedynczego panelu to 235Wp. Ponadto należy przewidzieć pas ochronny – odległość paneli od ogrodzenia na poziomie 5m oraz orientację farmy – w kierunku południowym. Zazwyczaj na szerokość rzędu składają się 2 panele, skierowane dłuższymi krawędziami ku górze (rys.7.).



Rys. 7. Widok rzędów paneli stacjonarnej farmy PV.
Figure 7 View of rows of panels in the stationery PV farm.

Przy takich warunkach, oraz zakładając różne kąty nachylenia gruntu oraz różne liczby rzędów paneli, można wyliczyć optymalną powierzchnię dla takiej inwestycji, przy czym uzysk energii wytworzonej w wyniku konwersji fotowoltaicznej będzie największy. Przykładowe obliczenia przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki wymaganej minimalnej powierzchni farmy PV dla wybranych warunków.
Table 1 The results of the minimal required area of PV farm for selected conditions.

kąt nachylenia ziemi	Liczba rzędów 5		Liczba rzędów 10		Liczba rzędów 15	
	Wymiary [m]	Powierzchnia działki [m ²]	Wymiary [m]	Powierzchnia działki [m ²]	Wymiary [m]	Powierzchnia działki [m ²]
0	432x50	22 032	221x99	21 879	151x147	22 197
5	432x42	18 144	221x78	17 238	151x115	17 365
10	432x36	15 552	221x65	14 365	151x94	14 194
15	432x32	13 824	221x57	12 597	151x80	12 080
20	432x29	12 528	221x50	11 050	151x71	10 721
25	432x27	11 664	221x44	9 724	151x62	9 362
30	432x25	10 800	221x41	9 061	151x56	8 456
35	432x24	10 368	221x37	8 177	151x51	7701

5. PODSUMOWANIE

Opracowany algorytm optymalizacji uzysku energii elektrycznej w wyniku konwersji PV ze stacjonarnych naziemnych farm pozwala zaprojektować taką inwestycję w najbardziej racjonalny sposób. Optymalizacja powinna być dokonywana jednocześnie w trzech aspektach: optymalny dobór kąta nachylenia paneli PV, minimalna odległość między rzędami paneli, eliminująca niekorzystny wpływ efektu cienia oraz optymalizacja liczby rzędów paneli. Weryfikacja parametrów modelu powinna być oparta o wiarygodne dane meteorologiczne, z jednoczesnym uwzględnieniem technologii wykonania modułów fotowoltaicznych.

6. LITERATURA:

- [1] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#>
- [2] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [3] KING D. L., KRATOCHVIL J. A., BOYSON W. E., Measuring Solar Spectral and Angle-of-Incidence Effects on Photovoltaic Modules and Solar Irradiance Sensor. Proc. of 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 1997, Anaheim, California.
- [4] MATUSZKO D., Wątpliwości terminologiczne dotyczące promieniowania słonecznego -PRACE GEOGRAFICZNE zeszyt 122, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 2009
- [5] G. Nofuentes; J. V. Muñoz; D. L. Talavera; J. Aguilera; J. Terrados, Technical Handbook: The installation of on-ground photovoltaic plants over marginal areas, (ISBN: 9788890231001), 2010.
- [6] MEEUS J., Astronomical Algorithms-2nd Edition, Willmann-Bell Inc., 1998, ISBN 978-0943396613
- [7] M. Fuentes, G. Nofuentes, J. Aguilera, D.L. Talavera and M. Castro, Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates, Solar Energy (ISSN: 0038-092X), 2007.

ALGORITHM OPTIMIZING ENERGY YIELD IN STATIONARY SOLAR FARMS

SUMMARY

Increasing the efficiency of the useful energy yield from the photovoltaic conversion can be obtained by improving the photovoltaic cells efficiency, but also through the optimal configuration of solar exposure to the surface of solar panels. The most effective solution is using the follow up system together with the apparent motion of the Sun. Constructions of these kinds of systems, however, are quite expensive, and their navigation requires extra energy. Stationary systems, on the other hand, require the selection of such a location of photovoltaic panels' surface, which during the whole year, will generate maximum power at a given location. This paper is devoted to the algorithm development, allowing to optimize the yield of electricity from solar energy conversion for given geographical and climate conditions.

Małgorzata PIASKOWSKA-SILARSKA, dr inż.

Uniwersytet Pedagogiczny
Instytut Techniki
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków
e-mail: mpiasko@up.krakow.pl

Stanisław GUMUŁA, prof. zw. dr hab. inż.

Akademia Górniczo-Hutnicza
Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: stangum@gmail.com

TRADYCYJNE I NOWOCZESNE ŹRÓDŁA ENERGII W BUDOWNICTWIE JEDNORODZINNYM I ROLNICZYM

STRESZCZENIE

W budownictwie, zwłaszcza w budownictwie o małej intensywności zabudowy (osiedla domów jednorodzinnych, gospodarstwa rolne, schroniska, domki letniskowe), istnieje możliwość korzystania ze wszystkich źródeł energii, tak z tradycyjnych opartych na spalaniu, jak i nowoczesnych bazujących na odnawialnych źródłach energii. Patrząc na źródła energii z punktu widzenia użytkownika na czoło wysuwają się aspekty ekonomiczne pozyskiwania energii. Natomiast z punktu widzenia społecznego ważniejsze są aspekty ekologiczne. Przedstawiony referat zawiera analizę porównawczą tradycyjnych paliw i odnawialnych źródeł energii.

1. WPROWADZENIE

W umiarkowanej strefie klimatycznej około czterdzieści procent produkowanej energii wykorzystywane jest do celów grzewczych. Zasoby tradycyjnych surowców energetycznych gwałtownie się kurczą a technologie produkcji energii oparte na spalaniu zagrażają równowadze ekologicznej. W tej sytuacji konieczna jest zmiana technologii energetycznych opartych na spalaniu surowców kopalnych na technologie wykorzystujące odnawialne źródła energii.

2. ZAKRES I METODA PRZEPROWADZONEJ ANALIZY

Do rozważań przyjęto budynek jednorodzinny, wolnostojący, o powierzchni 100 m² oraz wskaźnik rocznego zużycia energii wynoszący $100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}}$. Na podstawie ofert

firm produkcyjnych i zakładów instalacyjnych dobrano urządzenia grzewcze z uwzględnieniem ich sprawności. Następnie obliczono ceny jednostkowe nośników energii.

Roczne koszty ogrzewania otrzymano w oparciu o ceny nośników energii, zużycie nośników energii, sprawność urządzeń grzewczych oraz koszt amortyzacji urządzeń.

Amortyzację określono rozkładając koszty inwestycji równomiernie na 25 lat eksploatacji urządzeń. Nie uwzględniono wzrostu cen energii, jak również zmiany wartości pieniądza w czasie, czyli stopy dyskontowej. Założono, że wzrost cen energii kompensuje w przybliżeniu wyższą wartość pieniądza, jaką posiadał on w chwili wykonywania inwestycji.

Dla odnawialnych źródeł energii przyjęto, że ich lokalne zasoby w miejscu usytuowania rozważanego budynku wynoszą:

- energia promieniowania słońca $1,1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}}$,
- średnioroczna prędkość wiatru $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Wyniki analizy w formie liczbowej przedstawione są w tabelach 1 i 2 oraz w formie graficznej na rysunku 1.

Tabela 1. Koszty instalacji i nośników energii

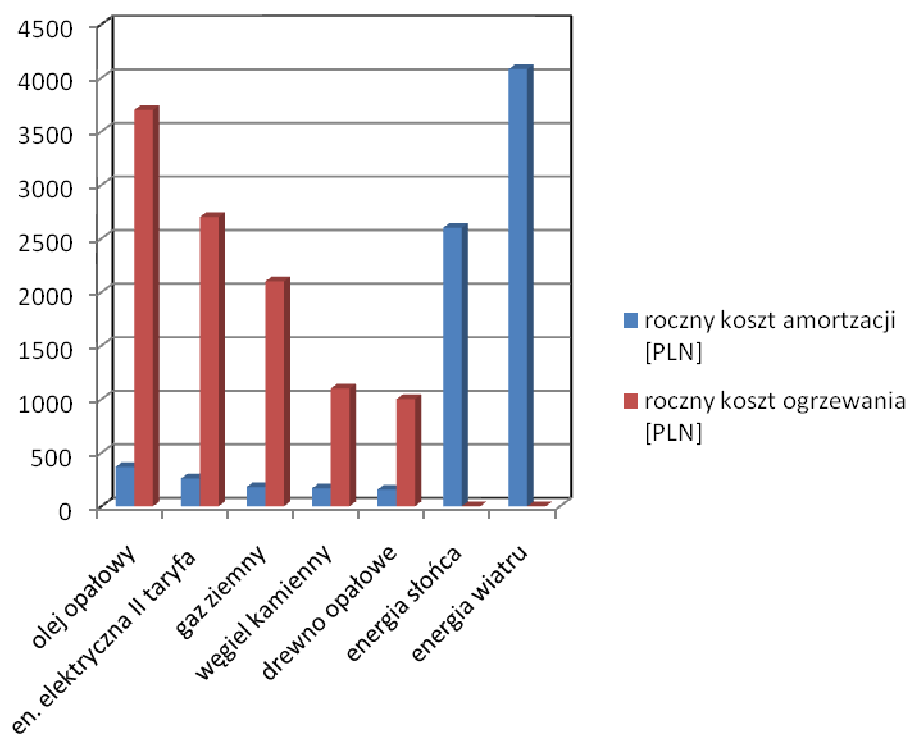
Chart 1. Cost of installation and energy carriers

Nazwa nośnika	Koszt instalacji [PLN]	Sprawność [%]	Cena jednostkowa nośnika uwzględniająca sprawność [PLN/kWh]
olej opałowy	9 200	90	0,37
energia elektryczna II taryfa	6 500	100	0,27
gaz ziemny	4 500	90	0,21
węgiel kamienny	4 200	80	0,11
drewno opałowe	3 900	80	0,10
energia słońca	65 000	25	-
energia wiatru	102 000	50	-

Tabela 2. Koszty ogrzewania

Chart 2. Cost of heating

Nazwa nośnika	Koszt amortyzacji [PLN/a]	Roczny koszt ogrzewania 1 m ² budynku [PLN]	Roczny koszt ogrzewania budynku [PLN]
olej opałowy	368	37	3 700
energia elektryczna II taryfa	260	27	2 700
gaz ziemny	180	21	2 100
węgiel kamienny	168	11	1 100
drewno opałowe	156	10	1 000
energia słońca	2 600	26	-
energia wiatru	4 080	41	-



Rys. 1. Roczny koszt ogrzewania budynku i amortyzacji
 Pic. 1. Yearly cost of heating of building and amortisation

3. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonej analizy określono ceny jednostkowe ciepła produkowanego w oparciu o różne nośniki energii, z uwzględnieniem sprawności ich konwersji w ciepło. Brano pod uwagę technologie tradycyjne, oparte na spalaniu oraz technologie niekonwencjonalne wykorzystujące źródła odnawialne.

Określono ponadto koszty ogrzewania jednostkowej powierzchni budynku, uwzględniając koszty amortyzacji instalacji grzewczej.

Analiza wykazała, że w chwili obecnej niekonwencjonalne technologie energetyczne, z ekonomicznego punktu widzenia, nie są konkurencyjne w stosunku do technologii tradycyjnych. Jednak z ekologicznego punktu widzenia są bezdyskusyjnie lepsze.

Uwarunkowania ekologiczne powinny w najbliższym czasie doprowadzić do zmiany tej sytuacji. Przemawiają za tym zobowiązania międzynarodowe naszego kraju, narzucające promowanie wdrażania odnawialnych źródeł energii oraz przewidywany spadek cen instalacji wynikający z masowej ich produkcji.

4. LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa pod red. J. Norwisza; Termomodernizacja budynków dla poprawy jakości środowiska, Wyd. Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Gliwice 2004.
- [2] Szargut J.; Termodynamika techniczna, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [3] www.atmopol.pl
- [4] www.bachus.com.pl
- [5] www.ekoszok.pl
- [6] www.solarpolska.com
- [7] www.ulrich.com.pl

TRADITIONAL AND MODERN ENERGY SOURCES IN DETACHED HAUSES AND FARM DEVELOPMENTS

SUMMARY

Low-density developments (detached houses, farms, hostels, cottages) offer entire gamut of uses of both traditional fossil energy sources and modern renewable ones. From the consumer point of view the most important is the economical aspect, however from the social point of view the most important are the ecological issues. This paper presents a comparative analysis of fossil fuels and renewable energy.

Jerzy Z. PIOTROWSKI, dr hab. inż. ¹
Anatoly STROY, prof. dr hab. inż. ²
Marianna OLENETS, mgr inż. ³

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce

e-mail: ¹ jzpiotr@tu.kielce.pl
² anatolii_stroi@mail.ru
³ mari_olensa@mail.ru

PROCESY WYMIANY CIEPŁA W KONSTRUKCJACH Z FASADAMI WENTYLOWANYMI W OKRESIE LETNIM

STRESZCZENIE

W artykule wykonano analizę procesów wymiany ciepła i zaprezentowano model matematyczny wymiany ciepła w obudowach budynku z wentylowaną fasadą w okresie letnim. W modelu uwzględniono braki jakie występują w istniejących metodykach obliczeniowych. Zaproponowany model matematyczny daje możliwość przeanalizowania wpływu takich czynników, jak korelacja konwekcyjnych i promieniowych strumieni ciepła oraz emisyjność powierzchni warstwy powietrznej, na procesy wymiany ciepła w obudowie z wentylowaną warstwą powietrzną. Za pomocą przedstawionego modelu matematycznego można analizować propozycje poprawy cech konstrukcyjnych fasad wentylowanych dla zmniejszenia napływu ciepła do pomieszczeń w okresie letnim.

1. WPROWADZENIE

Podstawowym problemem przy zabezpieczeniu niezbędnego mikroklimatu w pomieszczeniu w okresie letnim roku jest nadmierny napływ promieniowania słonecznego. Obudowy budynku z fasadą wentylowaną zmniejszają ilość ciepła, która napływa do pomieszczenia w okresie letnim. Sprzyja temu otwarta warstwa powietrzna. Część ciepła, które napływa przez powierzchnię obudowy budynku (płyty elewacyjne) w następstwie promieniowania słonecznego absorbuje powietrze, poruszające się wzdłuż warstwy wentylowanej.

Poprzez zmniejszenie napływu ciepła do pomieszczenia można znacznie zmniejszyć straty eksploatacyjne, związane z klimatyzacją. Poza tym, taki sposób polepszenia mikroklimatu ma bardziej sprzyjający wpływ na ludzki organizm, z higienicznego punktu widzenia, niż zastosowanie systemów z recyrkulacją powietrza. Warto zauważyć, że dla wyznaczenia optymalnej konstrukcji fasady wentylowanej, na etapie projektowania konieczne jest skorzystanie z metodyki obliczeń procesów wymiany ciepła w otwartej warstwie powietrznej, co umożliwi ocenę wpływu jak największej ilości czynników, które oddziałują na konstrukcyjne cechy fasady i wielkość napływu ciepła.

2. ANALIZA METOD STOSOWANYCH DO WYZNACZENIE WPŁYWU OTWARTYCH WARSTW NA PROCESY WYMIANY CIEPŁA W OBUDOWACH BUDYNKU

Prace [2, 5, 7] prezentują najczęściej stosowaną metodę obliczeń otwartej warstwy powietrznej dla zimowego okresu roku (bez wliczenia promieniowania słonecznego). Autor [7] stwierdza, że metoda może być wykorzystana także do oceny wpływu wentylowanej warstwy na wielkość napływu ciepła przez stropodachy w letnim okresie roku. Obliczenia fasady wentylowanej metodą prezentowaną w literaturze [2, 4, 5, 7] dają możliwość tylko w przybliżeniu ocenić zmianę temperatury powietrza wzdłuż fasady. Z jej pomocą niemożliwe jednak jest wykonanie analizy wpływu takich czynników jak stopnia emisyjności powierzchni warstwy czy korelacji konwekcyjnych i promieniowych strumieni ciepłych na procesy wymiany ciepła. Nie można także prześledzić zmiany temperatury na powierzchniach, które ograniczają otwartą warstwę powietrzną. Między innymi dlatego przyjęte uproszczenie przy całkowaniu równania różniczkowego, które leży u podstaw tej metody, jest przyczyną rozbieżności otrzymanych za jej pomocą rezultatów.

Obliczenia otwartych warstw powietrznych w okresie letnim omówiono w pracy [4]. Metodykę jaką zaprezentował autor, uwzględnia niestacjonarne procesy wymiany ciepła, ale jest skonstruowana na równaniach, które charakteryzują quasi – stacjonarny proces. Ta metodyka jest dosyć złożona dla obliczeń inżynierskich i wyniki obliczeń przy jej pomocy nie są zbieżne z danymi eksperymentalnymi.

Podobnie jak w innych pracach, autor w [4] przy wyznaczeniu napływu ciepła od słońca przez nieprzezroczyste obudowy budynku wykorzystuje słoneczną, umowną temperaturę powietrza zewnętrznego, która uwzględnia intensywność promieniowania słonecznego. Odpowiednio do [3, 6] temperaturę słoneczną oblicza się w sposób następujący:

$$t_s = t_e + \frac{\rho \cdot I_s}{\alpha_e} \quad (4)$$

gdzie:

ρ – absorpcyjność promieniowania słonecznego zewnętrznej powierzchni przegrody,

I_s – promieniowanie słoneczne [W/m^2],

α_e – współczynnik przejmowania ciepła powierzchni zewnętrznej [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

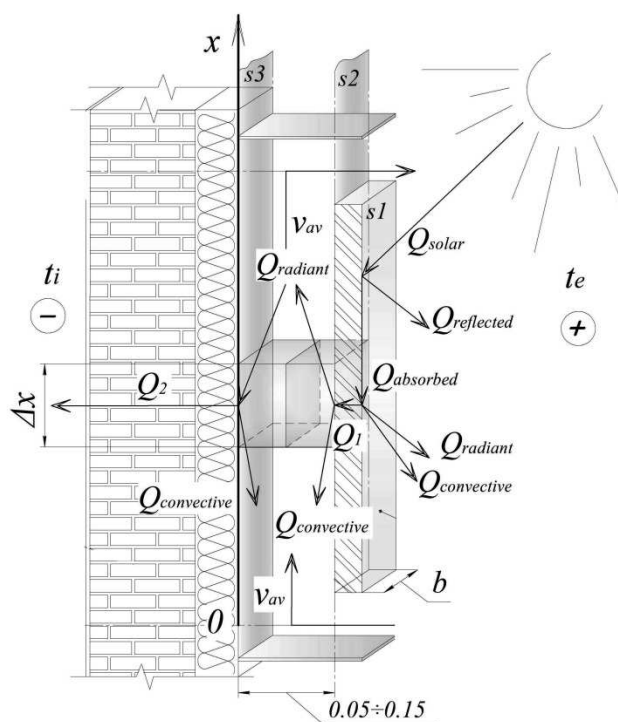
t_e – temperatura powietrza zewnętrznego [dla ułatwienia obliczeń przyjęto w $^{\circ}\text{C}$].

W rzeczywistości strumień ciepła, dzięki nagrzewaniu zewnętrznej powierzchni obudowy budynku, napływać będzie nie tylko do pomieszczenia, ale również na zewnątrz

[1]. Dodatkowo, jeśli nie jest obliczona temperatura powierzchni, to niewiadomy będzie współczynnik wymiany ciepła przy tej powierzchni. Dlatego zamiast temperatury słonecznej bardziej celowo jest obliczać temperaturę powierzchni na podstawie bilansu cieplnego [1].

3. OPRACOWANIE MODELU MATEMATYCZNEGO PROCESU WYMIANY CIEPŁA

Założono, że model będzie wykorzystany w analizie konstrukcji fasady wentylowanej pod kątem napływu jak najmniejszej ilości ciepła do pomieszczenia. Na rys. 1 przedstawiono fizyczny model strumieni ciepła w konstrukcji z otwartą warstwą powietrzną. Konwekcyjne i promieniowe strumienie ciepła przeanalizowano oddzielnie.



Rys. 1. Schemat strumieni ciepła w obudowie budynku z fasadą wentylowaną
1 – warstwa konstrukcyjna (ściana zewnętrzna); 2 – warstwa powietrzna;
3 – warstwa osłonowa (płyty elewacyjne).

Fig. 1. The scheme of heat fluxes through the enclosing structure with ventilated facade

Przy napływie strumienia ciepła od słońca Q_{solar} na powierzchnię zewnętrznej obudowy budynku z fasadą wentylowaną część jego odbija się od powierzchni – $Q_{reflected}$, a część absorbuje warstwa elewacyjna – $Q_{absorbed}$. W następstwie tego podwyższa się tem-

peratura na powierzchni $s1$. Ilość odbitego i absorbowanego strumienia ciepła zależy wyłącznie od materiału warstwy elewacyjnej i jej konstruktywnych właściwości.

Wchłonięty przez zewnętrzną powierzchnię $s1$ warstwy elewacyjnej strumień ciepła nagrzewa tę powierzchnię. Od zewnętrznej powierzchni strumień ciepła częściowo przemieszcza się w kierunku pomieszczenia, a częściowo – do powietrza zewnętrznego. Z kolei powierzchnia $s2$ warstwy powietrznej, wskutek konwekcyjnej wymiany ciepła nagrzewa powietrze a w następstwie strumienia promieniowego – nagrzewa powierzchnię $s3$. Przy powierzchni $s3$ również nagrzewa się powietrze.

Na podstawie modelu fizycznego (rys. 1) opisano model matematyczny (2), który charakteryzuje procesy wymiany ciepła w obudowach z fasadą wentylowaną w okresie letnim. Model matematyczny (2) składa się z sześciu równań z sześcioma niewiadomymi: pięć funkcji temperatur oraz prędkość ruchu powietrza w otwartej warstwie. Trzy niewiadome funkcje – to funkcje zmiany temperatur na powierzchniach $s1$, $s2$ i $s3$ ($t_1(x)$, $t_2(x)$ i $t_3(x)$), a dwie inne funkcje charakteryzują zmiany temperatury powietrza po długości warstwy ($t_{a2}=f(x)$ i $t_{a3}=f(x)$) odpowiednio przy powierzchni $s2$ i $s3$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho Q_{solar} - \alpha_e (t_1(x) - t_e) = \varepsilon_1 \sigma \left[\left(\frac{t_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_e + 273}{100} \right)^4 \right] + \frac{t_1(x) - t_2(x)}{R_1} \\ \frac{t_1(x) - t_2(x)}{R_1} = \varepsilon_{2-3} \sigma \left[\left(\frac{t_2(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_3(x) + 273}{100} \right)^4 \right] + \alpha_{c2} (t_2(x) - t_{a2}(x)) \\ U_3 (t_3(x) - t_i) = \varepsilon_{2-3} \sigma \left[\left(\frac{t_2(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_3(x) + 273}{100} \right)^4 \right] - \alpha_{c3} (t_3(x) - t_{a3}(x)) \\ t_{a2}(x) = t_2(x) - \frac{t_2(x) - t_e}{\frac{\alpha_{c2,xb}}{cG} e} \\ t_{a3}(x) = t_3(x) - \frac{t_3(x) - t_e}{\frac{\alpha_{c3,xb}}{cG} e} \\ \left(\sum \xi + \lambda_f \frac{h}{d_e} \right) \frac{v_{av}^2}{2} \rho_{av} = (n_1 - n_2) \frac{v_w^2 \rho_e}{2} + \Delta P_g \end{array} \right. \quad (2)$$

gdzie:

- ρ – absorpcyjność promieniowania słonecznego zewnętrznej powierzchni ściany,
- Q_{solar} – promieniowanie słoneczne [W/m^2],
- ε_1 – emisyjność powierzchni $s1$,
- R_1 – opór przewodzenia ciepła warstwy osłonowej [$m^2 \cdot K/W$],
- U_2 – współczynnik przenikania ciepła dla wewnętrznej części fasady wentylowanej [$W/m^2 \cdot K$],

- U_3 – współczynnik przenikania ciepła dla zewnętrznej części fasady wentylowanej [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],
 b – szerokość warstwy powietrznej [m],
 $\Sigma \zeta$ – suma oporów miejscowych,
 λ_f – współczynnik oporu ($\lambda_f = f(Re)$),
 h – wysokość warstwy powietrznej [m],
 d_e – średnica zastępcza warstwy powietrznej [m],
 v_w – prędkość wiatru [m/s],
 ρ_{av} – gęstość powietrza w warstwie [kg/m^3],
 ρ_e – gęstość powietrza zewnętrznego [kg/m^3],
 ΔP_g – ciśnienie grawitacyjne [Pa],
 n_1, n_2 – współczynniki aerodynamiczne,
 α_{c2} – współczynniki przejmowania ciepła przez konwekcję na wewnętrznej powierzchni warstwy powietrznej [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],
 α_{c3} – współczynniki przejmowania ciepła przez konwekcję na zewnętrznej powierzchni warstwy powietrznej [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],
 G – przepływ powietrza [kg/s],
 v_{av} – prędkość powietrza w warstwie powietrznej [m/s],
 ε_{2-3} – emisyjność zastępcza dla powierzchni s_2 i s_3 ,
 t_i – temperatura powietrza wewnętrznego [$^{\circ}\text{C}$],
 t_e – temperatura powietrza zewnętrznego [$^{\circ}\text{C}$],
 σ – stała Stefana Boltzmanna (współczynnik promieniowania ciała doskonale czarnego) [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$],
 c – ciepło właściwe powietrza [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$].

Pierwsze trzy równania charakteryzują bilans cieplny powierzchni warstwy elewacyjnej, tzn. powierzchni s_1 , a także powierzchni s_2 i s_3 warstwy powietrznej. Czwarte i piąte równanie opisują bilans powietrza, które otacza powierzchnie s_2 i s_3 . Ostatnie równanie dopełnia układ i charakteryzuje ruch powietrza w warstwie powietrznej fasady wentylowanej. Niewiadome funkcje w układzie równań (2) można wyliczyć z pomocą programu Mathcad.

4. PODSUMOWANIE

Istniejące metodyki obliczeń ciepła obudów budynku z otwartą warstwą powietrzną w okresie letnim, tzn. przy zwiększonym napływie ciepła od słońca, wykorzystują w obliczeniach temperatury słoneczne, a nie określają obliczeniowo temperaturę zewnętrznej powierzchni obudowy budynku. Istniejące metodyki nie dają również możliwości przeanalizowania korelacji między konwekcyjnymi i promieniowymi strumieniami ciepła i wyznaczyć wpływ stopnia emisyjności powierzchni warstwy powietrznej.

Zaproponowany model matematyczny (2) eliminuje wady modeli stosowanych. Przy jego pomocy zaprojektować można obudowę budynku, w której napływ ciepła od słońca do pomieszczenia może być minimalny.

"Badania współfinansowane były z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w ramach Projektu 1. Działanie 1.1 PO IG Poddziałanie 1.1.2, umowa NR POIG 01.01.02-10-106/09-00."

5. LITERATURA

- [1] Stroy A. F., Piotrowski J. Z.: Raszczet ciepłopostuplenij ot solnca czerez nieprozracznye ograždauuszczie konstrukcyi. Komunalnoe choziajstwo gorodow, nr 90/2009, s. 358-365.
- [2] Gagarin W. G., Kozłow. W. W., Cykanowski E. J.: Raszczet ciepłozaszczity fasadow s wentiliruemym wozdusznym zazorom. AWOK, nr 2/2004, s. 20-26.
- [3] Maczek K., Schnotale J., Skrzyniowska D., Sikorska-Bączek R.: Uzdatnienie powietrza w inżynierii środowiska. Kraków, 2004.
- [4] Bogosłowski W. N.: Stroitelnaja ciepłofizika. Moskwa, 1982.
- [5] Pogorzelski J. A.: Fizyka cieplna budowli. Warszawa, 1976.
- [6] Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja. Warszawa, 1974.
- [7] Fokin K. F.: Stroitielnaja ciepłotiechnika ograždajuszczich czastiej zdanij. Moskwa, 1973.

HEAT EXCHANGE PROCESSES IN BUILDING INVELOPES WITH VENTILATED FACADE DURING THE SUMMER PERIOD

SUMMARY

This article is about the analysis of heat transfer processes and development of the mathematical model of these processes in building envelope with ventilated facade for the summer period. A mathematical model was developed considering the main limitations of existing methods of heat engineering calculations. Offered mathematical model makes it possible to analyze the impact of such factors as the ratio of convective and radiative heat fluxes and emissivity of the air gap surfaces on the processes of heat transfer in the structure with ventilated layer. Using this mathematical model, recommendations for reducing the income of heat from the sun into the room for the summer period can be provided.

Vyacheslav PISAREV, dr hab. inż., prof. PRz
Krzysztof NOWAK, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
e-mail: pisarev@prz.edu.pl
e-mail: krzynow@prz.edu.pl

ANALIZA TECHNICZNA I EKONOMICZNA PRACY GRUNTOWEJ POMPY CIEPŁA NA GRUNTACH RÓŻNEJ WILGOTNOŚCI

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia analizę techniczną oraz porównanie ekonomiczne pracy gruntowej pompy ciepła dla systemów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej na gruntach różnej wilgotności dla budynku jednorodzinne. Jako warianty przeanalizowano i wykorzystano pompę ciepła i poziomy gruntowy wymiennik ciepła z drenażem rozsączającym ścieki, bez drenażu rozsączającego, z nawilżaniem gruntu oraz z nawilżaniem gruntu i pompą o większej wydajności.

1. WPROWADZENIE

Jeżeli pompa ciepła jest wykorzystywana jako urządzenie grzewcze, np. ogrzewanie domu, wytwarzanie ciepłej wody itd., musimy przeanalizować dolne źródło naturalne (odnawialne), z którego jest możliwy skuteczny odbiór energii cieplnej. Najlepszym rozwiązaniem jest kiedy dolne źródło charakteryzuje się niezmiennością temperatury w ciągu roku [1]. W pracy zastosowano gruntowy wymiennik ciepła. Grunt posiada właściwość magazynowania ciepła słonecznego, co skutkuje stosunkowo wyrównanym poziomem temperatury jako źródła ciepła i prowadzi tym samym do równomiernej eksploatacji z pompą ciepła cechującej się wysokim stopniem efektywności [2]. W tym przypadku przez system rur wypełnionego solanką następuje pobór ciepła z gruntu. Przepływ solanki przez rury gruntowego wymiennika ciepła jest wymuszany przez pompę obiegową o odpowiedniej wydajności. Solanka przepływając przez przewody wymiennika pobiera ciepło zgro-

madzone w gruncie, które za pośrednictwem pompy ciepła przekazywane jest na cele ogrzewania pomieszczeń lub ciepłej wody użytkowej [1].

Należy pamiętać o zapewnieniu odpowiednich warunków terenowych podczas projektowania instalacji z dolnym źródłem ciepła jakim jest wymiennik gruntowy (poziomy). Według aktualnego stanu wiedzy grunt gliniasty mocno przesiąknięty wodą nadaje się szczególnie dobrze jako źródło ciepła. Doświadczenia wykazały, że można liczyć na wydajność poboru ciepła wynoszącą $q_E = 10 - 35 \text{ W/m}^2$ jako średnią wartość roczną przy całorocznej eksploatacji [1]. Własności termiczne, takie jak objętościowa pojemność cieplna i przewodność cieplna, zależą bardzo ściśle od składu i jakości gruntu. Wartości wydajności poboru ciepła dla różnych gruntów [2]:

- sucha gleba piaszczysta $q_E = 10-15 \text{ W/m}^2$,
- wilgotna gleba piaszczysta $q_E = 15-20 \text{ W/m}^2$,
- sucha gleba gliniasta $q_E = 20-25 \text{ W/m}^2$,
- wilgotna gleba gliniasta $q_E = 25-30 \text{ W/m}^2$,
- gleba prowadząca wody gruntowe $q_E = 30-35 \text{ W/m}^2$.

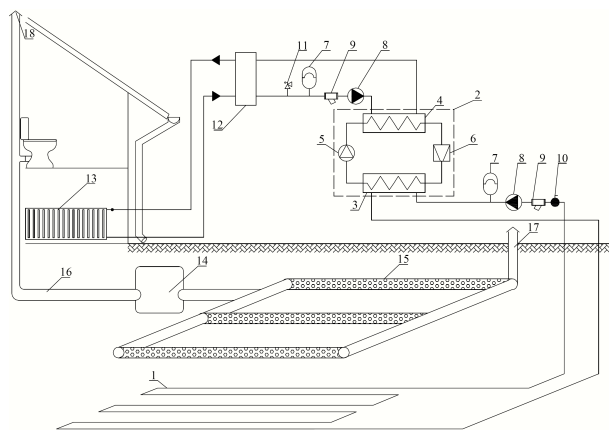
Zaletą wymiennika poziomego gruntowego jest łatwość jego wykonania i względnie niski koszt w przypadku nowych budynków. Wadą jest konieczność dysponowania dość dużą powierzchnią gruntu, w którym ma być umieszczony wymiennik oraz podatność na zmiany temperatury zewnętrznej, co przy dłuższym okresie niskich temperatur powietrza może spowodować spadek efektywności pompy ciepła.

Celem pracy było porównanie z punktu widzenia ekonomii wariantów pracy instalacji pompy ciepła na gruntach różnej wilgotności. Pierwszy z nich dotyczy pompy ciepła na potrzeby ogrzewania budynku mieszkalnego z wykorzystaniem gruntowego wymiennika ciepła z zainstalowanym drenażem rozsączającym ścieki, co zapewnia stałe nawilżenie gruntu. Drugi wariant dotyczy pompy ciepła pracującej na potrzeby ogrzewania budynku mieszkalnego z wykorzystaniem gruntowego wymiennika ciepła bez drenażu, co oznacza, że grunt będzie suchy. Trzeci wariant to modernizacja instalacji wariantu drugiego polegająca na zastosowaniu nawilżaniu gruntu wodą wodociągową co polepszy efektywność pozyskiwania ciepła z gruntu. Czwarty wariant dotyczy pracy pompy ciepła z gruntowym wymiennikiem jak dla wariantu trzeciego z tą różnicą, że polepszenie efektywności pozyskiwania ciepła z gruntu pozwoli na zastosowanie pompy ciepła o większej wydajności pozwalająca na dostarczenie ciepła na potrzeby ogrzewania oraz produkcję ciepłej wody użytkowej.

2. OPIS ROZWIĄZANIA

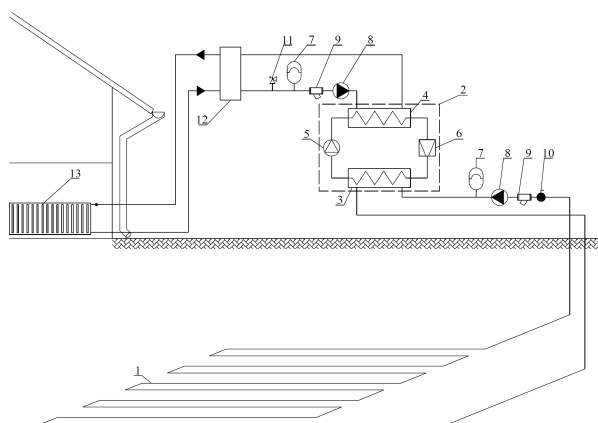
Na rysunku 1 przedstawiono schemat instalacji pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym poniżej strefy przemarzania gruntu współpracującym z drenażem rozsączającym ścieki przydomowej oczyszczalni dla wariantu I (grunt wilgotny). Instalacja będzie pobierać ciepło z gruntu za pomocą wymiennika poziomego, który został ułożony pod rurami drenarskimi. Drenaż jest jednym z urządzeń składowych przydomowej oczyszczalni ścieków i ma za zadanie utrzymać wysoką wilgotność gruntu, dzięki czemu wydajność poboru ciepła z gruntu będzie wynosić około $q_E = 30 \text{ W/m}^2$, wzrośnie efektywność wymiany ciepła między gruntem a wymiennikiem poziomym. Pompa ciepła po odebraniu ciepła z gruntu przekazuje je dalej do instalacji grzewczej za pomocą zasobnika ciepłej

wody. W wariantcie I koszty przydomowej oczyszczalni ścieków nie będą uwzględnione do całkowitych kosztów instalacji pompy ciepła.



Rys. 1. Schemat wymiennika gruntowego wraz z drenażem rozsączającym (grunt wilgotny).
Fig. 1. Scheme ground heat exchanger with drainage (wet ground).

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 1: 1 – gruntowy wymiennik ciepła, 2 – pompa ciepła, 3 – parownik, 4 – skraplacz, 5 – sprężarka, 6 – zawór rozprężny, 7 – naczynie zbiorcze, 8 – pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający, 11 – zawór bezpieczeństwa, 12 – zasobnik ciepłej wody, 13 – centralne ogrzewanie, 14 – przydomowa oczyszczalnia ścieków, 15 – drenaż rozsączający, 16 – dopływ ścieków, 17 – kominiek napowietrzający, 18 – odpowietrzenie instalacji kanalizacyjnej.

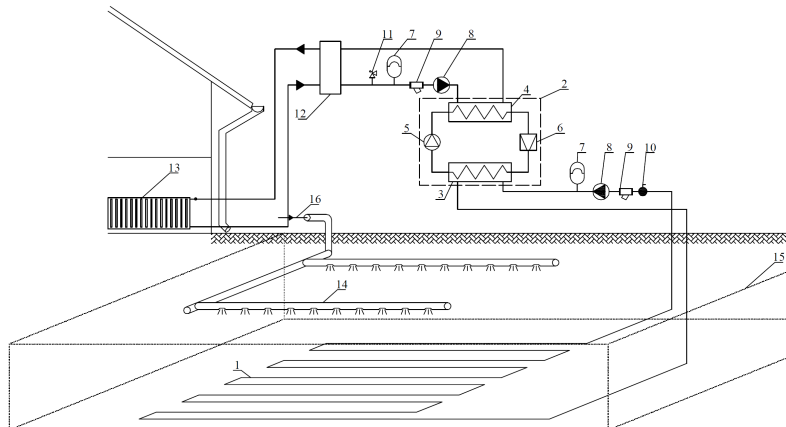


Rys. 2. Schemat wymiennika gruntowego bez drenażu rozsączającego (grunt suchy).
Fig. 2. Scheme ground heat exchanger without drainage (dry ground).

Na rysunku 2 przedstawiono dla wariantu II schemat instalacji pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym na gruncie suchym. Instalacja będzie pobierać ciepło z gruntu za pomocą wymiennika poziomego, który został ułożony pod powierzchnią, w tym przypadku, tj. dla gruntu suchego wydajność poboru ciepła jest znacznie niższa niż w wariantcie I i wynosi około $q_E = 15 \text{ W/m}^2$, co powoduje zwiększenie długości rur wymiennika ciepła. Pompa ciepła po odebraniu ciepła z gruntu przekazuje je dalej do instalacji grzewczej za pomocą zasobnika ciepłej wody.

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 2: 1 – gruntowy wymiennik ciepła, 2 – pompa ciepła, 3 – parownik, 4 – skraplacz, 5 – sprężarka, 6 – zawór rozprężny, 7 – naczynie wzbiorcze, 8 – pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający, 11 – zawór bezpieczeństwa, 12 – zasobnik ciepłej wody, 13 – centralne ogrzewanie.

Na rysunku 3 przedstawiono dla wariantu III schemat instalacji pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym jak w wariantcie II z tą różnicą, że został zmodernizowany poprzez zainstalowanie rury perforowanej rozprowadzającej wodę w gruncie, co zapewni lepszą wydajność poboru ciepła z gruntu (około $q_E = 30 \text{ W/m}^2$) a tym samym znacznie lepszy wskaźniki pracy instalacji. Dla lepszego efektu utrzymania wilgoci w gruncie pod gruntowym wymiennikiem ciepła została położona nieprzepuszczalna folia PE. Pompa ciepła po odebraniu ciepła z gruntu przekazuje je dalej do instalacji grzewczej za pomocą zasobnika ciepłej wody. Koszt instalacji nawilżającej grunt zostanie uwzględniony do kosztów wymiennika gruntu.



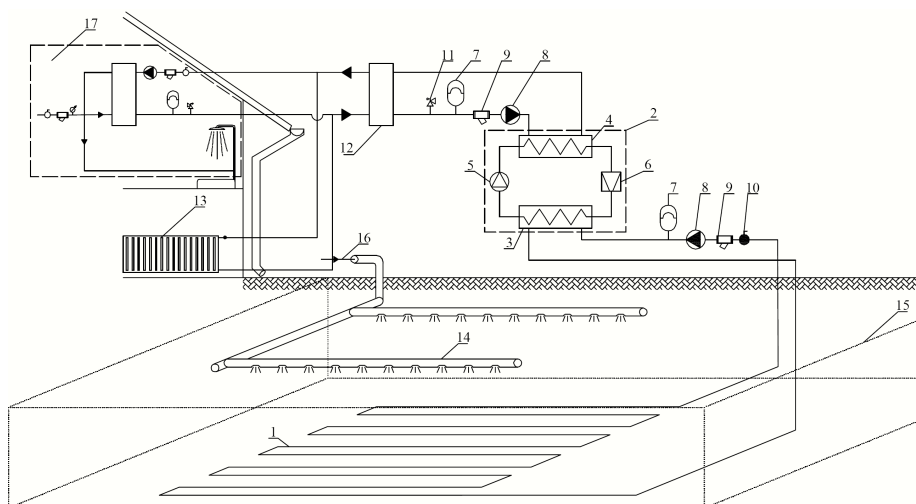
Rys. 3. Schemat wymiennika gruntowego z nawilżaniem gruntu.

Fig. 3. Scheme ground heat exchanger with irrigation the ground.

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 3: 1 – gruntowy wymiennik ciepła, 2 – pompa ciepła, 3 – parownik, 4 – skraplacz, 5 – sprężarka, 6 – zawór rozprężny, 7 – naczynie wzbiorcze, 8 – pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający, 11 – zawór bezpieczeństwa, 12 – zasobnik ciepłej wody, 13 – centralne ogrzewanie, 14 – rura rozprowadzająca wodę, 15 – materiał izolacyjny nieprzepuszczalny, 16 – doprowadzenie wody.

Na rysunku 4 przedstawiono dla wariantu IV schemat instalacji pompy ciepła z gruntowym wymiennikiem ciepła i nawilżaniem gruntu jak w wariacie III z tą różnicą, że dzięki wysokiej wydajności poboru ciepła z gruntu wynoszącej około $q_E = 30 \text{ W/m}^2$ przy dobranym tym samym wymienniku ciepła zastosowano pompę ciepła o wyższej mocy, co pozwoli na wykorzystanie ciepła do ogrzewania budynku mieszkalnego i do produkcji ciepłej wody użytkowej. Pompa ciepła po odebraniu ciepła z gruntu przekazuje je dalej do instalacji grzewczej oraz instalacji ciepłej wody użytkowej za pomocą zasobnika ciepłej wody.

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 4: 1 – gruntowy wymiennik ciepła, 2 – pompa ciepła, 3 – parownik, 4 – skraplacz, 5 – sprężarka, 6 – zawór rozprężny, 7 – naczynie wzbiorcze, 8 – pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający, 11 – zawór bezpieczeństwa, 12 – zasobnik ciepłej wody, 13 – centralne ogrzewanie, 14 – rura rozprowadzająca wodę, 15 – materiał izolacyjny nieprzepuszczalny, 16 – doprowadzenie wody, 17 – instalacja ciepłej wody użytkowej.



Rys. 4. Schemat wymiennika gruntowego z nawadnianiem gruntu z pompą o większej wydajności.

Fig. 4. Scheme ground heat exchanger with irrigation the ground, with the pump of higher efficiency.

3. WYNIKI OBLICZEŃ INSTALACJI POMPY CIEPŁA

Według obliczeń po metodzie zaproponowanej przez Polską Normę: PN-EN 12831 [4] określono dla poszczególnych wariantów zapotrzebowanie na moc cieplną centralnego ogrzewania dla budynku jednorodzinnego o powierzchni 120 m^2 , wykonano również obliczenia przygotowania ciepłej wody użytkowej, określono charakterystykę pompy ciepła, dane zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie danych dla poszczególnych wariantów.

Table 1. Summary data for the variants.

Moc cieplna na potrzeby centralnego ogrzewania budynku (dla wariantu I, II, III, IV)	Q_{CO}	6 kW
Maksymalna moc cieplna układu ciepłej wody użytkowej (dla wariantu IV)	$Q_{MAX CWU}$	4,62 kW
Obliczeniowa moc cieplna pompy ciepła dla potrzeb ogrzewania budynku przy współpracy z zasobnikiem ciepła (2) (rys. 1 – 3) (dla wariantu I, II, III)	Q_{PC}	12 kW
Obliczeniowa moc pompy ciepła dla potrzeb systemu ogrzewania budynku przy współpracy z zasobnikiem ciepła (2) i produkcji ciepłej wody użytkowej obliczonej na podstawie zredukowanej mocy użytkowej (rys. 4) [7] (dla wariantu IV)	$Q_{PC + CWU}$	13,6 kW

Na podstawie danych technicznych dostępnych w katalogach producentów, założono parametry pracy pompy ciepła: temperatura gruntu 5°C, temperatura wody 45°C. Dla wariantów I, II, III i IV dobrano przykładowe pompy ciepła dostępne na rynku [2] (tab. 3 i tab. 4).

Tabela 2. Dane techniczne pompy ciepła [2] (wariant I, II, III).

Table 2. Specifications heat pump [2] (variant I, II, III).

Moc grzewcza pompy ciepła dobrana z katalogów [2]	Q_{PC}	12,8 kW
Wydajność chłodnicza	Q_k	9,8 kW
Pobór mocy elektrycznej	P	3,1 kW
Stopień efektywności	ε	3,9

Tabela 3. Dane techniczne pompy ciepła [2] (wariant IV).

Table 3. Specifications heat pump [2] (variant IV).

Moc grzewcza pompy ciepła dobrana z katalogów [2]	Q_{PC}	15,7 kW
Wydajność chłodnicza	Q_k	12,0 kW
Pobór mocy elektrycznej	P	3,9 kW
Stopień efektywności	ε	3,8

Ilość ciepła jaką należy pobrać z gruntu obliczamy ze wzoru [2]:

$$Q_k = \frac{Q_{PC} \cdot (\varepsilon - 1)}{\varepsilon} \text{ [kW]} \quad (1)$$

Dla wariantów I, II, III obliczono:

$$Q_k = 9,52 \text{ kW}$$

Dla wariantu IV obliczono:

$$Q_k = 11,57 \text{ kW}$$

Dobór gruntowego wymiennika ciepła przeprowadzono zgodnie z zaleceniami producentów pomp ciepła [2]. Wymienniki są zaprojektowane, jako poziome z równoległym prowadzeniem rur.

Powierzchnię gruntowego wymiennika ciepła obliczamy ze wzoru:

$$F = \frac{Q_k}{q_e} \text{ [m}^2\text{]} \quad (2)$$

Dla wariantów III i IV ze względu na modernizację wariantu II przyjęto taką samą powierzchnię jak dla wariantu II (tab. 4).

Tabela 4. Zestawienie wskaźników dla gruntowych wymienników ciepła dla wszystkich wariantów.

Table 4. Summary indicators for ground heat exchangers for the all variants.

Wariant	Wskaźnik poboru ciepła z gruntu q^E	Wydajność chłodnicza pompy Q_k	Powierzchnia gruntowego wymiennika ciepła F
I	30 W/m ²	9,52 kW	317 m ²
II	15 W/m ²	9, 52 kW	635 m ²
III	30 W/m ²	9, 52 kW	635 m ²
IV	30 W/m ²	11,57 kW	635 m ²

Powierzchnia gruntowego wymiennika ciepła dla wariantów II – IV wynosi około 635 m² i jest dwukrotnie większa niż w wariantcie I, taka powierzchnia wiąże się z większymi kosztami poniesionymi na zakup i montaż instalacji, zwiększa straty hydrauliczne ale przede wszystkim wymaga od instalatora dużej powierzchni na zamontowanie wymiennika ciepła, co często może być niemożliwe do zrealizowania.

Spośród wielu znanych metod oceny ekonomicznej efektywności do najprostszych należy metoda prostego okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych. Do najprostszych z tych metod można zaliczyć metodę kosztów rocznych, którą opracowana dla potrzeb energetyki [3]. W wyborze najlepszego z wariantów układu ogrzewania wybiera się wariant o najniższych kosztach wytwarzania ciepła, wówczas porównywane warianty muszą dawać takie same efekty produkcyjne, albo porównywane są jednostkowe koszty produktu (ciepła) i wówczas wybiera się wariant o najniższych kosztach jednostkowych [3].

4. OKREŚLENIE EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ INSTALACJI OGRZEWANIA Z GRUNTOWĄ POMPĄ CIEPŁA

Obliczenia ekonomiczne wykonano w oparciu o schematy przedstawione na rysunkach 1 - 4. W tabeli 5 wyznaczono koszt inwestycyjny całej instalacji dla poszczególnych wariantów.

Tabela 5. Koszt inwestycyjny całej instalacji dla wszystkich wariantów [zł] [3].

Table 5. Cost the installation for the all variants [zł] [3].

	WARIANT I	WARIANT II	WARIANT III	WARIANT IV
Pompa ciepła [2]	28500	28500	28500	32000
Gruntowy wymiennik ciepła, obliczone według [3]	28500	40000	44000	44000
Pozostałe elementy instalacji: zbiornik ciepłej wody, rurow- ciągi, armatura, układ auto- matyki oraz robocizna i uru- chomienie instalacji, obliczone według [3]	14250	17125	18125	19000
Suma (K_{inpc})	71250	85625	90625	95000

Roczny koszt wytwarzania ciepła i jednostkowy koszt ciepła w instalacji pompy ciepła

Do obliczeń wykorzystano metodę kosztów rocznych [3].

Składowa kosztów rocznych [3]:

Rata zwrotu kapitałowego r (rata rozszerzonej reprodukcji) obliczamy ze wzoru [3]:

$$r = \frac{p \cdot (1+p)^N}{(1-p)^N - 1} [-] \quad (3)$$

gdzie:

p – stopa dyskontowa, $p = 0,08$, N – obliczeniowy okres eksploatacji obiektu, $N = 20$ lat,

stąd:

$$r = 0,10185$$

Rata kosztów stałych $r + r_{ce}$ (suma raty rozszerzonej reprodukcji i raty kosztów eksploatacyjnych stałych) obliczamy ze wzoru [3]:

$$r + r_{ce} \quad (4)$$

gdzie:

r_{ce} – stopa stałych kosztów eksploatacyjnych, przyjmując $r_{ce} = 0,03$,

stąd:

$$r + r_{ce} = 0,13185$$

Roczne koszty stałe K_{rst} obliczamy ze wzoru [3]:

$$K_{rst} = K_{rr} + K_{est} = K_{inpc} \cdot r + K_{inpc} \cdot r_{ce} = (r + r_{ce}) \cdot K_{inpc} [\text{zł}/\text{a}] \quad (5)$$

gdzie:

K_{rr} – koszty rozszerzonej reprodukcji, $K_{rr} = K_{inpc} \cdot r$, K_{est} – stałe koszty eksploatacyjne, $K_{rr} = K_{inpc} \cdot r_{ce}$, K_{inpc} – nakłady inwestycyjne, $K_{inpc I} = 71250$ zł, $K_{inpc II} = 85625$ zł, $K_{inpc III} = 90625$ zł, $K_{inpc IV} = 95000$ zł. (Tutaj i dalej indeksami I, II, III, IV określono kolejne warianty),

stąd:

$$K_{rst I} = 9394 \frac{\text{zł}}{\text{a}}, K_{rst II} = 11290 \frac{\text{zł}}{\text{a}}, K_{rst III} = 11949 \frac{\text{zł}}{\text{a}}, K_{rst IV} = 12526 \frac{\text{zł}}{\text{a}}$$

W literaturze [3] podawane są wzory na roczne koszty stałe, które w swoim składzie zawierają stałe koszty eksploatacyjne jak również koszty rozszerzonej reprodukcji. Jednakże to czy koszty rozszerzonej reprodukcji należy uwzględniać przy obliczeniach ekonomicznych dla domków jednorodzinnych pozostaje pod znakiem zapytania. Nie uwzględniamy tego w budżecie domowym ponieważ kupując np. urządzenie dla wykorzystania użytkowego nie możemy zakładać, że nam się zwróci.

Roczne koszty eksploatacyjne zmienne K_{ezm} obliczamy ze wzoru [3]:

$$K_{ezm} = \frac{Q_{pc} \cdot T_{ipc} \cdot c_{el} \cdot k_{mr}}{\varphi \cdot \eta_{sil}} \left[\frac{zł}{a} \right] \quad (6)$$

gdzie:

Q_{pc} – moc grzejna pompy ciepła, $Q_{pc I} = 12,8$ kW, $Q_{pc II} = 12,8$ kW, $Q_{pc III} = 12,8$ kW, $Q_{pc IV} = 15,7$ kW, T_{ipc} – czas użytkowania mocy zainstalowanej pompy ciepła, $T_{ipc} = 4380$ h, c_{el} – cena energii elektrycznej, $c_{el} = 0,45$ zł/kWh [6], k_{mr} – współczynnik kosztów materiałów ruchomych, $k_{mr} = 1,05$, φ – współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła, $\varphi I = 3,9, \varphi II = 3,9, \varphi III = 3,9, \varphi IV = 3,8$, η_{sil} – sprawność silnika sprężarkowego pompy ciepła, $\eta_{sil} = 0,85$, stąd:

$$K_{ezm I} = 7991 \frac{zł}{a}, K_{ezm II} = 7991 \frac{zł}{a}, K_{ezm III} = 7991 \frac{zł}{a}, K_{ezm IV} = 10059 \frac{zł}{a}$$

Koszty roczne wytwarzania ciepła K_{rpc} – jako suma składowej stałej i zmiennej ze wzoru [3]:

$$K_{rpc} = K_{rst} + K_{ezm} \left[\frac{zł}{a} \right] \quad (7)$$

Ze wzoru (7) dla różnych wariantów pracy obliczono:

$$K_{rpc I} = 17385 \frac{zł}{a}, K_{rpc II} = 19281, K_{rpc III} = 19940 \frac{zł}{a}, K_{rpc IV} = 22585 \frac{zł}{a}$$

Ilość ciepła użytecznego dostarczona w ciągu roku przez pompę ciepła Q_{apc} ze wzoru [3]:

$$Q_{apc} = Q_{pc} \cdot T_{ipc} \left[\frac{GJ}{a} \right] \quad (8)$$

Ze wzoru (8) dla różnych wariantów pracy obliczono:

$$Q_{apc I} = 56064 \frac{kWh}{a} = 202 \frac{GJ}{a}, Q_{apc II} = 56064 \frac{kWh}{a} = 202 \frac{GJ}{a},$$

$$Q_{apc III} = 56064 \frac{kWh}{a} = 202 \frac{GJ}{a}, Q_{apc IV} = 66138 \frac{kWh}{a} = 248 \frac{GJ}{a}$$

Jednostkowy koszt wytwarzania ciepła q_{pc} jest ilorazem kosztów rocznych i rocznie wytworzonego ciepła użytecznego ze wzoru [3]:

$$q_{pc} = \frac{K_{rpc}}{Q_{apc}} \left[\frac{zł}{kWh} \right] \quad (9)$$

Ze wzoru (9) dla różnych wariantów pracy obliczono:

$$q_{pc I} \cong 0,310 \frac{zł}{kWh}, q_{pc II} \cong 0,344 \frac{zł}{kWh}, q_{pc III} \cong 0,356 \frac{zł}{kWh}, q_{pc IV} \cong 0,328 \frac{zł}{kWh}$$

5. WNIOSKI

Koszty zakupu i montażu instalacji pompy ciepła z poziomym gruntowym wymiennikiem ciepła dla rozpatrywanych wariantów oscylują w granicach 71250 zł do 95000 zł. Wariant I dzięki zastosowaniu drenażu rozsączającego ścieki pozwala na zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła o najmniejszej powierzchni i okazuje się przypadkiem najtańszym w zakupie oraz eksploatacji (tańszy o około 14% od wariantu III) pod warunkiem, że koszty instalacji przydomowej oczyszczalni ścieków nie zostaną wliczone do ogólnych kosztów instalacji pompy ciepła. Wariant II i III są do siebie podobne pod względem rozwiązania z tą różnicą, że w III wariacie pompa ciepła może pracować efektywniej dzięki nawilżaniu gruntu wodą wodociągową. Oba warianty okazują się najdroższe w eksploatacji. Wariant IV dzięki temu, że zastosowano pompę ciepła o większej mocy, pozwala na ogrzewanie budynku i produkcję ciepłej wody użytkowej. Eksploatacja takiego rozwiązania okazuje się tańsza o około 10% od wariantu III.

Podsumowując, okazuje się, że drenaż rozsączający ścieki lub nawilżanie gruntu wodą wodociągową zmniejsza koszty instalacji oraz eksploatacji pompy ciepła dzięki zastosowaniu mniejszego gruntowego wymiennika ciepła, polepsza efektywność pracy pompy ciepła, pozwala na zastosowanie pompy ciepła o większej mocy przy takiej samej powierzchni wymiennika gruntowego w porównaniu do gruntu suchego.

6. LITERATURA:

- [1] Wytyczne projektowe – systemy pomp ciepła, Viessmann, 2002.
- [2] www.viessmann.pl.
- [3] Kusto Z.: Uwarunkowanie ekonomicznej efektywności pomp ciepła. Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2006.
- [4] Polska Norma: PN-EN 12831. Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [5] Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M.: Kolektory słoneczne. Poradnik wykorzystania energii słonecznej. COIB, Warszawa, 2001.
- [6] www.enea.pl
- [7] Danielewicz J., Sołdecki K.: Projektowanie kotłowni. Katalog De Dietrich, 2006.

TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF GROUND SOURCE HEAT PUMPS WORKING ON THE GROUNDS WITH DIFFERENT HUMIDITY

SUMMARY

This paper presents technical analysis and comparison economics of the operation of ground source heat pumps for heating systems and hot water on lands with various humidity for single-family buildings. The variants of working ground source heat pump and horizontal ground heat exchanger were analyzed with drainage, no drainage, irrigation ground and irrigation with the pump of higher efficiency.

Vyacheslav PISAREV, dr hab. inż., prof. PRz
Krzysztof NOWAK, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
e-mail: pisarev@prz.edu.pl
e-mail: krzynow@prz.edu.pl

ANALIZA TECHNICZNA I EKONOMICZNA OGRZEWANIA WODY Z WYKORZYSTANIA POMPY CIEPŁA DO PODLEWANIA ZIELEŃCÓW I OGRODÓW

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono analizę techniczną i ekonomiczną przydomowego systemu ogrzewania wody z wykorzystaniem pompy ciepła do podlewania zieleńców. Przeanalizowano możliwe warianty pracy instalacji. W systemie ogrzewania wykorzystano pompę ciepła i poziomy gruntowy wymiennik ciepła.

1. WPROWADZENIE

Wszystkie rośliny podlegają od pierwszej do ostatniej chwili swojego życia wpływom otoczenia, którego podstawowymi czynnikami są klimat oraz gleba. Czynniki środowiska należy rozpatrywać kompleksowo, z tego względu iż na roślinność działa jednocześnie określona temperatura, wilgotność, natężenie światła, ilość dostępnych składników pokarmowych itp. Zmiana jednego czynnika wpływa na drugi, potęgując lub obniżając jego działanie [7].

Warzywa zawierają 65-96 % wody, dlatego przykładowo w plonie wysokości 30-40 ton z hektara ilość wody zebranej w masie roślinnej wynosi 20-38 ton. Jest to jednak tylko woda zawarta w roślinie w momencie zbioru. Woda zużyta przez roślinę do wydania plonu w ciągu jej życia nie jest brana pod uwagę. Traci ona bowiem na skutek transpiracji prawie całą ilość wody pobieranej przez korzenie i przepływającej przez tkanki, jedynie 0,1-0,3% zostaje związane przy powstawaniu związków chemicznych. Podlewanie roślin jest więc czynnością niezwykle ważną, a właściwie niezbędną dla dobrego rozwoju roślin [7].

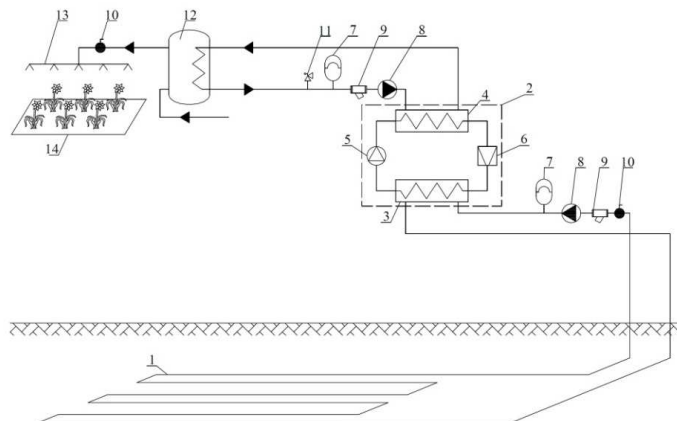
W dzisiejszych czasach nowoczesna technika stara się ułatwić człowiekowi wszystkie czynności związane z jego życiem. Tak jest też w przypadku podlewania roślin. Nowoczesne systemy nawadniające pozwalają precyzyjnie określić ile, w jakich odstępach czasu, w jakim tempie, o jakiej temperaturze wody i jak długo mają być nawadniane konkretne partie ogrodu [7].

Aby zapewnić odpowiednią wilgotność gruntu, należy podlewać rośliny uprawne wodą w ilości około $5 \text{ dm}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ [1]. Rośliny najlepiej podlewać wodą o temperaturze bliższej w okresie letnim temperaturze otoczenia, tj. około $20 \text{ }^\circ\text{C}$. W rozpatrywanej analizie zieleńce będą podlewane wodą wodociągową, dlatego konieczne jest zainstalowanie systemu, który będzie podgrzewać wodę o temperaturze około $10 \text{ }^\circ\text{C}$ do $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Analiza wstępna sporządzona dla powierzchni ogrodów 850 m^2 . Woda będzie podgrzewana za pomocą pompy ciepła współpracującej z wymiennikiem ciepła poziomym gruntowym.

2. OPIS ROZWIĄZANIA

Na rys. 1 przedstawiono schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleńców. Woda wodociągowa o temperaturze $8 \text{ }^\circ\text{C}$ będzie podgrzewana za pomocą pompy ciepła (2) do temperatury $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Pompa ciepła będzie pobierać ciepło z gruntu za pomocą wymiennika ciepła gruntowego poziomego (1), następnie ciepło będzie przekazywane do zasobnika ciepła (12) (można bez) i dalej do zraszaczy wodnych (13), które równomiernie będą zraszać rośliny. Czas pracy instalacji zakłada się 7 godzin, w tym czas postoju pompy 1 godzin.

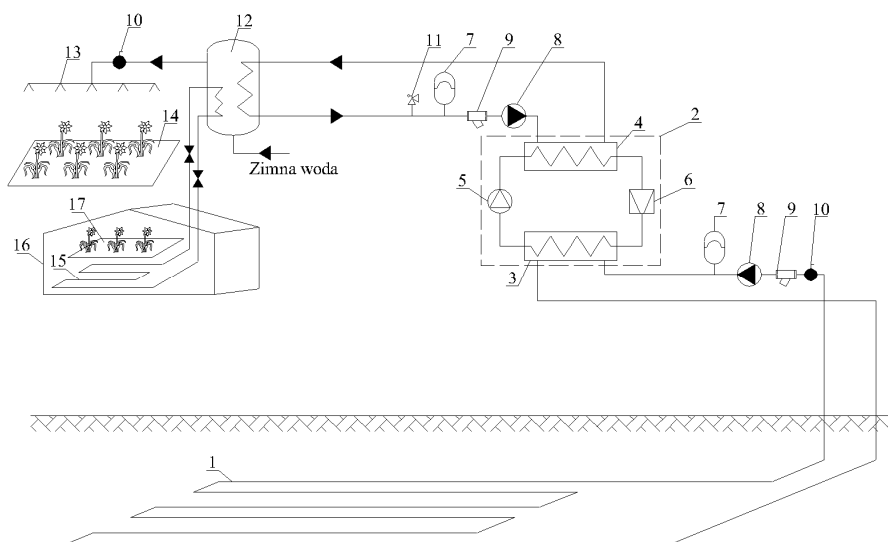


Rys. 1. Schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleńców.

Fig. 1. Installation of a heat pump to heat water used for watering greenhouses.

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 1: 1- wymiennik gruntowy, 2- pompa ciepła, 3 – parownik, 4 – skraplacz, 5 – sprężarka, 6 – zawór rozprężny, 7 – naczynie wzbiorcze, 8 – pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający, 11 – zawór bezpieczeństwa, 12 – zasobnik ciepła, 13 – zraszacze wodne, 14 – zraszana powierzchnia zieleńców.

Na rys. 2 przedstawiono schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleńców oraz zaprojektowano dodatkowy gruntowy poziomy wymiennik ciepła (15), który będzie wykorzystywany w szklarni (16) do podgrzewania wierzchniej warstwy gruntu w strefie korzeniowej roślin (17) w okresach zimniejszych. Pompa ciepła (2) będzie pobierać ciepło z gruntu za pomocą wymiennika ciepła gruntowego poziomego (1) lub pionowego, następnie ciepło będzie przekazywane do zasobnika ciepłej wody (12) i dalej do zraszaczy wodnych (13) lub wymiennika gruntowego (15). Czas pracy instalacji zraszania może być zaplanowany na okres wczesnej wiosny oraz jesieni, gdy rośliny potrzebują najwięcej wody a ich wegetacja jest najszybsza.



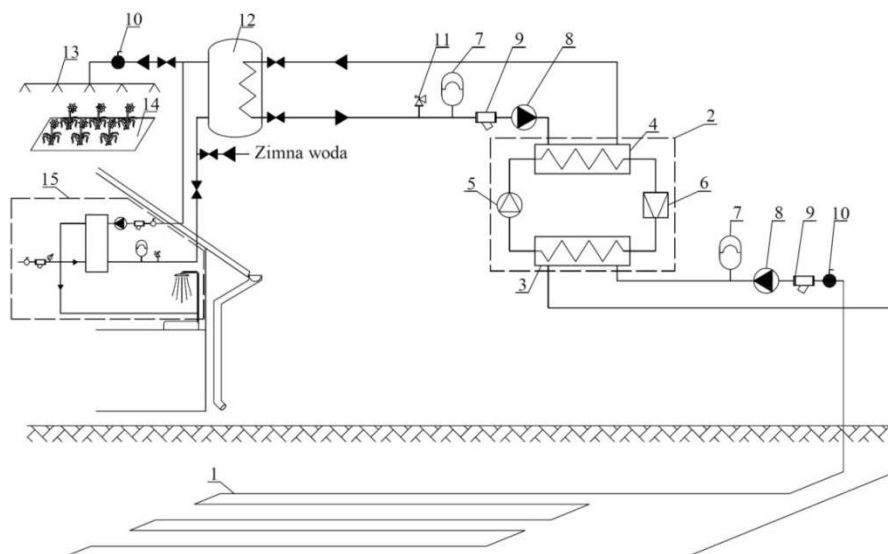
Rys. 2. Schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleni oraz z gruntowym wymiennikiem ciepła do podgrzewania gruntu.

Fig. 2. Installation of a heat pump to heat water used for watering the green with the ground heat exchanger to heat the ground.

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 2: 1- wymiennik gruntowy, 2- pompa ciepła, 3 – parownik, 4 – skraplacz, 5 – sprężarka, 6 – zawór rozprężny, 7 – naczynie wzbiorcze, 8 – pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający, 11 – zawór bezpieczeństwa, 12 – zasobnik ciepłej wody, 13 – zraszacze wodne, 14 – zraszana powierzchnia zieleńców, 15 – wymiennik gruntowy, 16 – szklarnia, 17 – podgrzewana powierzchnia gruntu.

Na rys. 3 przedstawiono schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleni oraz podłączenie instalacji pompy ciepła do budynku mieszkalnego jednorodzinnego na potrzeby produkcji ciepłej wody użytkowej. Dzięki temu, pompa ciepła może pracować nie tylko w okresie wegetacji roślin, ale przez cały rok, co przyczyni się do znacznie szybszego zwrotu kosztów poniesionych na wykonanie

i eksploatację pompy ciepła. Pompa ciepła może być wykorzystywana jako pomocnicze źródło ciepła podgrzewające ciepłą wodę użytkową, natomiast przez resztę roku, po zmianie parametrów na wyższe, może pracować jako podstawowe źródło ciepła.

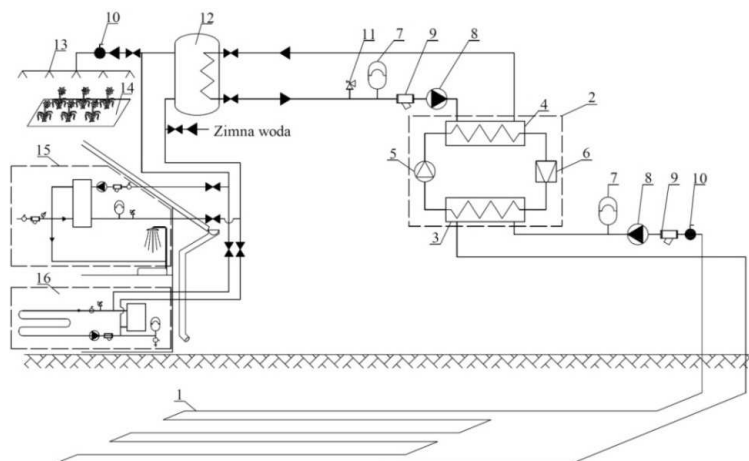


Rys. 3. Schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleni oraz produkcji ciepłej wody użytkowej dla budynku mieszkalnego.

Fig. 3. Installation of a heat pump to heat water used for watering the green and heat water for building.

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 3: 1- wymiennik gruntowy, 2- pompa ciepła, 3 – parownik, 4 – skraplacz, 5 – sprężarka, 6 – zawór rozprężny, 7 – naczynie wzbiorcze, 8 – pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 – filtr, 10 – zawór odcinający, 11 – zawór bezpieczeństwa, 12 – zasobnik ciepłej wody, 13 – zraszacze wodne, 14 – zraszana powierzchnia zieleńców, 15 – instalacja ciepłej wody użytkowej.

Na rys. 4 przedstawiono schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleni, produkcji ciepła dla systemu centralnego ogrzewania budynku jednorodzinnego oraz podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Produkcja ciepłej wody dla systemu ogrzewania budynku mieszkalnego oraz dla ciepłej wody użytkowej będzie odbywać się przede wszystkim w okresie zimowym, kiedy występuje maksymalne zapotrzebowanie.



Rys. 4. Schemat instalacji z pompą ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania zieleni.

Fig. 4. Installation of a heat pump to heat water used for watering the green.

Elementy składowe instalacji przedstawione na rys. 4: 1 - wymiennik gruntowy, 2- pompa ciepła, 3 - parownik, 4 - skraplacz, 5 - sprężarka, 6 - zawór rozprężny, 7 - naczynie wzbiorcze, 8 - pompa obiegowa po stronie instalacji, 9 - filtr, 10 - zawór odcinający, 11 - zawór bezpieczeństwa, 12 - zasobnik ciepłej wody, 13 - zraszacze wodne, 14 - zraszana powierzchnia zieleńców, 15 - instalacja ciepłej wody użytkowej, 16 - instalacja ogrzewania podłogowego.

3. WYNIKI ANALIZY OBLICZENIOWEJ

Analizę obliczeniową sporządzono dla wariantu najbardziej niekorzystnego, tj. wariantu I. Określono średnio dobowe zużycie wody dla celów podlewania roślin, średnie zapotrzebowanie na ciepło układu do podlewania roślin dla ogrodów o powierzchni 850 m², moc pompy ciepła przy współpracy z zasobnikiem ciepła. Dane zostały przedstawione w tabeli 1. W dalszej części na podstawie obliczeń dobrano pompę ciepła oraz gruntowy wymiennik ciepła.

Tabela 1. Zestawienie danych obliczeniowych dla wariantu I.

Table 1. Summary calculated data for the variant I.

1.	Średnio dobowe zużycie wody dla podlewania roślin [1]	Q_{sr}^{d}	4250 dm ³ /d
2.	Czas pracy pompy ciepła	t_{pc}	7 h
3.	Czas wykorzystania zasobnika ciepła (postoju pompy ciepła)	t_z	1 h
4.	Zapotrzebowanie na ciepło układu dla podlewania roślin	Q_{sr}^{R}	7,07 kW
5.	Obliczeniowa moc pompy ciepła (wzór 1)	Q_{PC}	8,08 kW

Podstawę doboru pompy ciepła stanowi średnia moc cieplna układu przygotowania ciepłej wody dla celów podlewania roślin $Q_{sr} = 7,07$ kW.

Moc grzejną pompy ciepła obliczymy ze wzoru [3]:

$$Q_{PC} = \frac{8}{8 - t_z} \cdot Q_{srw} \text{ [kW]} \quad (1)$$

gdzie:

czas pracy instalacji - 8h

stąd:

$$Q_{PC} = 8,08 \text{ kW.}$$

Na podstawie tej wartości dobrano przykładową pompę ciepła dostępną na rynku [4] (tab. 2).

Tabela 2. Dane techniczne pompy ciepła [4] (temperatura solanki 10°C, temperatura wody 20 °C).

Table 2. Technical data of the heat pump [4] (brine temperature 10 °C, water temperature 20 °C).

Moc grzewcza	Q_{PC}	8,2 kW
Wydajność chłodnicza	Q_d	7 kW
Pobór mocy elektrycznej	P	1,37 kW
Stożek efektywności	ε	6

Obliczanie ilości ciepła, jaką należy pobrać z gruntu.

Zapotrzebowanie na ciepło z dolnego źródła (gruntu) obliczono ze wzoru [4]:

$$Q_d = Q_{PC} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \text{ [kW]} \quad (2)$$

$$Q_d = 6,83 \text{ kW.}$$

Dobór wymiennika ciepła gruntowego dla gruntu wilgotnego gliniastego.

Dobór wymiennika gruntowego przeprowadzono zgodnie z zaleceniami producentów pomp ciepła [4]. Wymiennik zaprojektowano, jako poziomy z równoległym prowadzeniem rur.

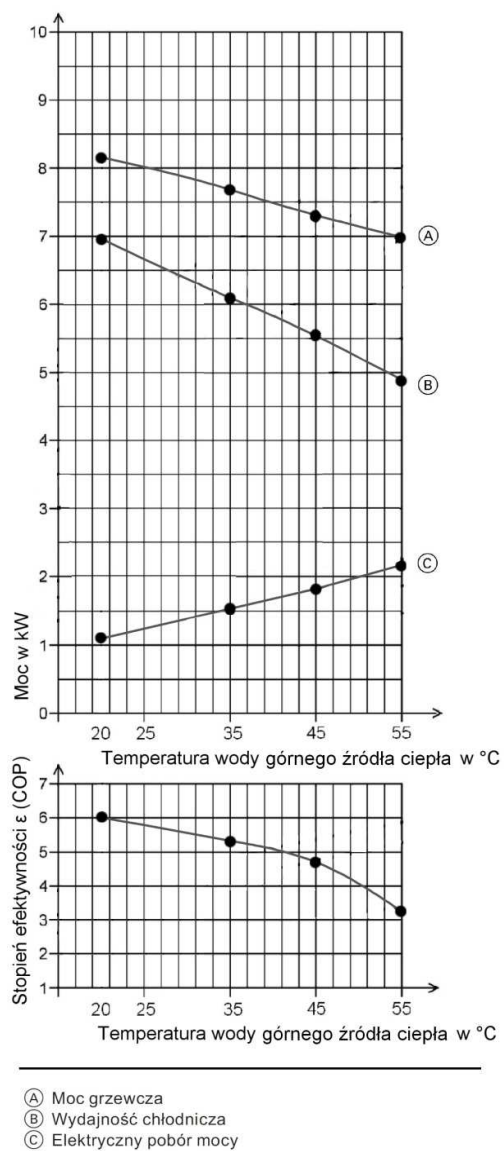
Średnia moc poboru ciepła z gruntu wynosi: $q_e = 35$ W/m (wartość dla gruntu wilgotnego gliniastego).

Długość wymiennika gruntowego liczymy ze wzoru [5]:

$$L = \frac{Q_d}{q_e} \text{ [m]} \quad (3)$$

$$L = 195 \text{ m.}$$

Przyjmując długość gruntowego wymiennika ciepła równą $L = 195$ m.



Rys.5 Dane techniczne pompy ciepła dla parametrów pracy 10 °C / 20 °C (wykres sporządzony na podstawie danych producentów[4]).
Fig.5 Specifications of the heat pump for the parameters 10 °C / 20 °C (graph drawn from the data producers [4]).

Określenie efektywności ekonomicznej pompy ciepła z gruntowym wymiennikiem ciepła.

Obliczenia ekonomiczne wykonano w oparciu o schemat przedstawiony na rysunku 1. W tabeli 3 wyznaczono koszt inwestycyjny instalacji.

Tabela 3. Koszt inwestycyjny instalacji [zł].

Table 3. The investment cost of installation [zł].

Pompa ciepła [4]	21 500 zł
Gruntowy wymiennik ciepła, obliczone według [6]	7 500 zł
Pozostałe elementy instalacji: zbiornik ciepłej wody, rurociągi, armatura, układ automatyki oraz robocizna i uruchomienie instalacji, obliczone według [6]	7 000 zł
Suma (K_{inpc})	36 000 zł

Roczny koszt wytwarzania ciepła i jednostkowy koszt ciepła w instalacji pompy ciepła

Do obliczeń wykorzystano metodę kosztów rocznych [6].

Tabela 4. Zestawienie założonych danych obliczeniowych.

Table 4. Summary assumed computational data.

1.	Obliczeniowy okres eksploatacji pompy ciepła [6]	N	25 lat
2.	Stopa dyskontowa [6]	p	0,05
3.	Stopa stałych kosztów eksploatacyjnych [6]	r_{ce}	0,02
4.	Czas użytkowania mocy zainstalowanej pompy ciepła [6]	T_{ipc}	1295 h/a
5.	Sprawność silnika sprężarkowego pompy ciepła [6]	η_{sil}	0,85
6.	Cena energii elektrycznej [8]	c_{el}	0,40 zł/kWh
7.	Współczynnik kosztów materiałów ruchomych [6]	k_{mr}	1,02

Rata zwrotu kapitałowego (rozszerzonej reprodukcji) r obliczamy ze wzoru [6]:

$$r = \frac{p \cdot (1 + p)^N}{(1 + p)^N - 1} [-] \quad (4)$$

$$r = 0,07095.$$

Rata kosztów stałych $r + r_{ce}$ (suma raty rozszerzonej reprodukcji i raty kosztów eksploatacyjnych stałych) obliczamy ze wzoru [6]:

$$r + r_{ce} = 0,09095. \quad (5)$$

Roczne koszty stałe K_{rst} obliczamy ze wzoru [6]:

$$K_{rst} = K_{rr} + K_{est} = K_{inpc} \cdot r + K_{inpc} \cdot r_{ce} = (r + r_{ce}) \cdot K_{inpc} [\text{zł/a}] \quad (6)$$

$$K_{rst} = 3274 \text{ zł/a.}$$

Roczne koszty eksploatacyjne zmienne – składowa zmienna kosztów rocznych obliczamy ze wzoru [6]:

$$K_{ezm} = \frac{Q_{pc} \cdot T_{ipc} \cdot c_{el} \cdot k_{mr}}{\varphi \cdot \eta_{sil}} \text{ [zł/a]} \quad (7)$$

$$K_{ezm} = 850 \text{ zł/a.}$$

Koszty roczne wytwarzania ciepła jako suma składowej stałej i składowej zmiennej ze wzoru [6]:

$$K_{rpc} = K_{rst} + K_{ezm} \text{ [zł/a]} \quad (8)$$

$$K_{rpc} = 4124 \text{ zł.}$$

Ilość ciepła użytecznego dostarczanego w ciągu roku przez pompę ze wzoru [6].

$$Q_{apc} = Q_{pc} \cdot T_{ipc} \text{ [kWh/a]} \quad (9)$$

$$Q_{apc} = 10619 \text{ kWh/a} = 38,23 \text{ GJ/a.}$$

Jednostkowy koszt wytwarzanego ciepła jest ilorazem kosztów rocznych i rocznie wytwarzanego ciepła użytecznego ze wzoru [6]:

$$q_{pc} = \frac{K_{rpc}}{Q_{apc}} \text{ [zł/kWh]} \quad (10)$$

$$q_{pc} = 0,388 \text{ zł/kWh.}$$

Oznacza to, że koszt wytworzenia 1 kWh ciepła przez pompę ciepła dla podgrzewania wody do podlewania ogrodów i zieleńców jest bliski wartości energii elektrycznej przy wykorzystaniu ogrzewania elektrycznego do wytwarzania ciepłej wody.

W miejscu, gdzie planuje się rozpocząć działalność gospodarczą, które jest oddalone od sieci ciepłowniczej, wykorzystanie pompy ciepła staje się ekonomicznie uzasadnione niż w przypadku ogrzewania elektrycznego.

4. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA POMPY CIEPŁA DO PODLEWANIA OGRODÓW I ZIELEŃCÓW

Instalacja pompy ciepła może być wykorzystywana zarówno w warzywnictwie jak i ogrodnictwie. Ze względu na wysoki koszt zakupu, należy dokładnie przeanalizować zyski i straty związane z jej wykorzystaniem. Pompa ciepła powinna mieć racje bytu w:

- dużych szklarniach i cieplarniach,
- hurtowniach ogrodniczych,
- hurtowniach kwiatów,
- szkółkach drzew i krzewów.

Poniżej przedstawiono przykład wykorzystania instalacji pompy ciepła przy hodowli tui w szkółkach drzew i krzewów.

Tuje to zimozielone drzewa, rzadziej krzewy o stożkowej, kolumnowej koronie. Krzewy wymagają stanowisk słonecznych do lekko cienistych, gleby świeżej, żyznej, przepuszczalnej, z umiarkowaną wilgotnością. Sadzonki roślin powinny być często podlewane świeżą wodą. Jej niedobór prowadzi do groźnych chorób grzybiczych (np. fitoftoroza), co w efekcie może prowadzić do wyginięcia wszystkich roślin [9].

Sadzonki gotowe do sprzedaży mają wysokość 60-80 cm. Zakłada się, że na 1m² rośnie około 10 sadzonek [10]. Przyjmując straty na poziomie 15 % średnia liczba krzewów z powierzchni 850 m² wynosi 7 225 szt. oraz cenę 15 zł/szt wartość produkcji wyniesie około 108 375 zł [11]. Koszty uprawy to około 27075 zł (dane praktyczne). Przychód netto ze sprzedaży roślin wynosi 81 300 zł.

Zakłada się, iż wykorzystanie instalacji pompy ciepła do podgrzewania wody służącej do podlewania krzewów zmniejszy straty z 15% do 5% co odpowiada utrzymaniu przy życiu około 723 szt. Zwiększony przychód netto z zastosowania pompy ciepła to około 8 130 zł.

5. OCENA EKONOMICZNOŚCI PRZEDSIĘWZIĘCIA

Do oceny projektów inwestycyjnych korzysta się z metod dynamicznych, które uwzględniają w swoim rachunku rozłożenie wpływów i wydatków inwestycyjnych w czasie. Metody te są najczęściej stosowane, ze względu na ich dyskontowy charakter. Dzięki dynamicznym metodom oceny projektów inwestycyjnych można przysłać inwestycję zdyskontować na dziś. Pozwala to na łatwiejsze porównanie inwestycji, które mają różne terminy wpływów i wydatków oraz wyciągnięcie wniosków [12].

Najpopularniejszym wskaźnikiem spośród dynamicznych metod oceny projektów inwestycyjnych jest wskaźnik NPV (net present value - wartość bieżąca netto). Jest to różnica pomiędzy zdyskontowanymi wpływami a wydatkami związanymi z przedsięwzięciem, w pewnym horyzoncie czasu. Przepływy pieniężne dyskontowane są na moment początkowy przedsięwzięcia [12]

Reguły podejmowania decyzji przy użyciu NPV [12]:

- jeżeli NPV > 0 inwestycja opłacalna,
- jeżeli NPV < 0 inwestycja nieopłacalna,
- jeżeli NPV = 0 inwestycję można zaakceptować.

Do obliczeń NPV uwzględniono zysk pochodzący z wypracowanego 10% zysku (8 130 zł), koszty roczne wytwarzania ciepła ($K_{pc} = 4124$ zł) oraz koszt inwestycyjny instalacji ($K_{inpc} = 36 000$ zł). Nie uwzględniono zysków z oszczędności energii wynikających z zastosowania instalacji pompy ciepła.

Tabela 5. Zestawienie danych oceny przedsięwzięcia z wykorzystaniem metody NPV (zł).

Table 5. Summary project evaluation using the NPV method (zł).

Okres N	Przychody P	Koszty K	Przepływ gotówkowy CF = P - K	Współ- czynnik dyskon- towy $d = \frac{1}{(1-p)^N}$	Zdyskon- towane przepływy pieniężne dCF	Bilans roczny
0	0	36000	-36000	1,00	-36000,00	-36000,00
1	8130	4124	4006	0,95	3815,24	-32184,76
2	8130	4124	4006	0,91	3633,56	-28551,20

3	8130	4124	4006	0,86	3460,53	-25090,67
4	8130	4124	4006	0,82	3295,75	-21794,92
5	8130	4124	4006	0,78	3138,81	-18656,12
6	8130	4124	4006	0,75	2989,34	-15666,78
7	8130	4124	4006	0,71	2846,99	-12819,79
8	8130	4124	4006	0,68	2711,42	-10108,37
9	8130	4124	4006	0,64	2582,30	-7526,07
10	8130	4124	4006	0,61	2459,34	-5066,73
11	8130	4124	4006	0,58	2342,23	-2724,50
12	8130	4124	4006	0,56	2230,69	-493,81
13	8130	4124	4006	0,53	2124,47	1630,65
14	8130	4124	4006	0,51	2023,30	3653,96
15	8130	4124	4006	0,48	1926,95	5580,91
16	8130	4124	4006	0,46	1835,19	7416,10
17	8130	4124	4006	0,44	1747,80	9163,91
18	8130	4124	4006	0,42	1664,58	10828,49
19	8130	4124	4006	0,40	1585,31	12413,80
20	8130	4124	4006	0,38	1509,82	13923,61
21	8130	4124	4006	0,36	1437,92	15361,54
22	8130	4124	4006	0,34	1369,45	16730,99
23	8130	4124	4006	0,33	1304,24	18035,23
24	8130	4124	4006	0,31	1242,13	19277,36
25	8130	4124	4006	0,30	1182,98	20460,34
NPV =					20460,34	

W związku z tym, że $NPV > 0$ inwestycja może być zaakceptowana do realizacji, ponieważ poza zwrotem nakładów początkowych przyniesie dodatkowo około 20 460 zł zysku z uwzględnieniem zmiany wartości pieniądza w czasie.

6. LITERATURA:

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie kreślenia przeciętnych norm zużycia wody. (Dz. U. Nr 8, poz. 70).
- [2] Danielewicz J. Gołcki K., Projektowanie kotłowni, De Dietrich, Wrocław 2006.
- [3] Grzegorz W. Stanisław G. Gryciuk M., Kolektory słoneczne, poradnik wykorzystania energii słonecznej, Warszawa 2001.
- [4] www.viessmann.pl.
- [5] Pompy ciepła. Poradnik projektanta, Viessmann, 2006.
- [6] Kusto Z.: Uwarunkowanie ekonomicznej efektywności pomp ciepła. Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2006.
- [7] Kołota E., Orłowski M., Biesiada A.: Warzywnictwo. Wydawnictwo UWP, Wrocław 2007.
- [8] www.enea.pl

-
- [9] www.swiatkwiatow.pl
[10] Inżynieria Rolnicza 3(91)/2007
[11] <http://www.sadowniczy.pl>
[12] <http://www.teoria-inwestowania.pl>

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS WATER HEATING WITH THE
USE OF HEAT PUMP FOR WATERING GREEN AND GARDENS**

SUMMARY

This paper presents technical and economical analysis of water heating system using a heat pump for watering green plants. Analyzed the possible variants of the installation. The heating system uses a heat pump and ground heat exchanger.

Vyacheslav PISAREV, dr hab.inż., prof. PRz

e-mail: vpisarev@prz.edu.pl

Elżbieta RYBAK-WILUSZ, dr inż.

e-mail: elrywi@prz.edu.pl

Paulina SAWICKA, mgr inż.

e-mail: sawicka61@wp.pl

Politechnika Rzeszowska

Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji

al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

ANALIZA WIELOWARIANTOWA ZINTEGROWANEGO SYSTEMU ZAOPATRZENIA BUDYNKU W ENERGIĘ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono porównanie wariantowe współpracy istniejącej instalacji hybrydowej wykorzystującej ciepło z miejskiej sieci ciepłej i energię promieniowania słonecznego z układem kogeneracyjnym oraz pompą ciepła, w domu studenckim „Promień” Politechniki Rzeszowskiej. Wykonano analizę ekonomiczną w celu określenia opłacalności zaproponowanych rozwiązań.

1. WPROWADZENIE

Poprawa efektywności energetycznej, rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko to główne kierunki przemian sektora energetycznego. Następuje systematyczny i znaczny wzrost cen paliw i energii. Niezbędna staje się więc potrzeba poszukiwania nowych rozwiązań systemów zaopatrzenia w energię elektryczną i ciepło takich jak, rozwój niskoemisyjnych technologii wytwarzania energii - zwłaszcza ze źródeł odnawialnych, poprawa sprawności wytwarzania energii, oraz rozwój źródeł skojarzonych i rozproszonych.

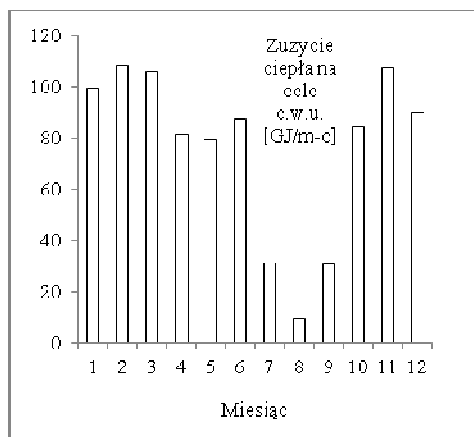
Przykładem realizacji przyjętego kierunku są stopniowe zmiany systemu zaopatrzenia w ciepło domu studenckiego „Promień” w Politechnice Rzeszowskiej. Budynek ten został oddany do użytku studentów w 1972 r. Pierwotnie zasilany w ciepło w celu ogrzewania budynku i podgrzewania ciepłej wody użytkowej z miejskiej sieci ciepłej, po modernizacji przeprowadzonej w 2010 r. wykorzystuje również dla celów przygotowania c.w.u. energię

promieniowania słonecznego. Kolejnym krokiem w poszukiwaniu nowych rozwiązań może stać się zastosowanie małej kogeneracji służącej do produkcji energii elektrycznej i ciepłej lub współpraca instalacji słonecznej z pompą ciepła.

2. STAN ISTNIEJĄCY

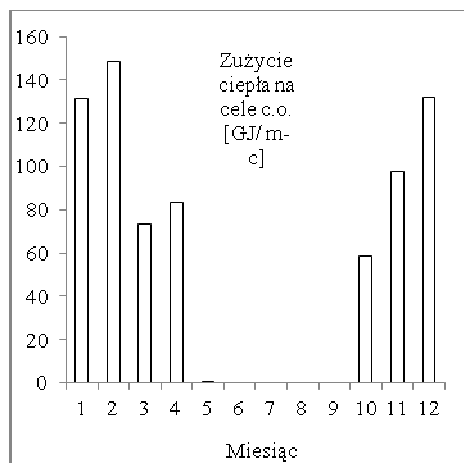
Analizowany obiekt to akademik „Promień” Politechniki Rzeszowskiej, budynek zbiorowego zamieszkania przeznaczony do okresowego pobytu studentów poza stałym miejscem pobytu. Jest budynkiem 5-cio kondygnacyjny. Na typowym piętrze znajduje się 26 pokoi 3-osobowych oraz pomieszczenia sanitarno-gospodarze. Na każdym piętrze jest pralnia oraz kuchnia.

Dom studenta to bardzo specyficzny budynek. Charakteryzuje się znacznym jednostkowym obciążeniem powierzchniowym wynoszącym $5,47 \text{ m}^2$ na mieszkańca oraz dużym zużyciem c.w.u. i energii elektrycznej, zwłaszcza w miesiącach od października do czerwca. Dane uzyskane z administracji budynku wskazują, że w okresie tym zameldowanych jest średnio 318 osób. W sezonie letnim obciążenie ciepłone i elektryczne maleje z uwagi na pobyt tylko ok. 50 osób. Rys. 1, 2 i 3 przedstawia zużycie ciepła na potrzeby ciepłej wody, centralnego ogrzewania, oraz zużycie energii elektrycznej. Wszystkie zamieszczone dane dotyczą 2009 roku [5].



Rys.1. Zużycie ciepła na potrzeby c.w.u. w 2009 r.[5]

Fig.1. The consumption of heat for hot water preparation in 2009 [5]



Rys.2. Zużycie ciepła na potrzeby c.o. w 2009 r.[5].

Fig.2. The consumption of heat for central heating in 2009 [5]

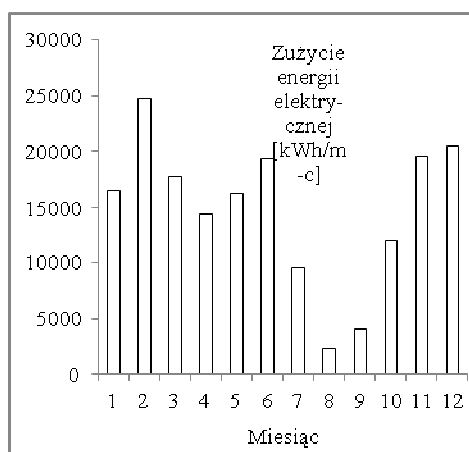
Zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby c.o. i c.w.u. wynosiło w 2009 roku 1639,9 GJ (w tym c.o. 725,7 GJ, c.w.u. 914,2 GJ), a na energię elektryczną 177 204 kWh [5].

Roczne koszty energii w 2009 roku wynosiły odpowiednio [1]:

- energia cieplna na potrzeby c.w.u. - 44 659 zł,
- energia cieplna na potrzeby c.o. - 35 587 zł,

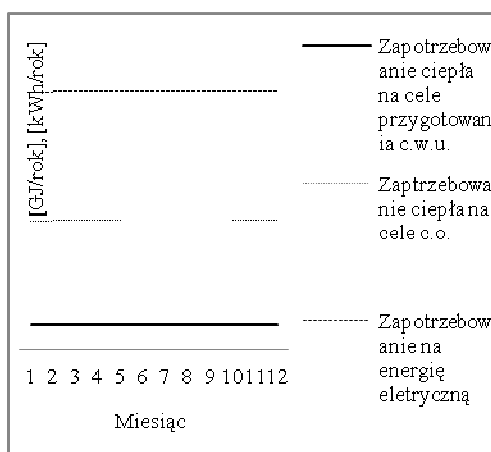
- energia elektryczna - 78 021 zł.

Na rys. 4 przedstawiono rozkład zapotrzebowania na energię cieplną na cele c.o., c.w.u. i energię elektryczną w ciągu roku. Energia cieplna na cele c.w.u. oraz energia elektryczna wykorzystywane są przez cały rok. Zapotrzebowanie na energię cieplną na cele c.o. występuje tylko w 8 miesiącach (od października do początku maja).



Rys.3. Zużycie energii elektrycznej w 2009 r. [5]

Fig.3. The consumption of electric energy in 2009 [5]



Rys.4. Roczne zapotrzebowania ciepła na cele c.o., c.w.u. i en. elektr. w 2009 r.[5]

Fig.4. Annual demand of heat for central heating, hot water and electricity in 2009[5]

3. OPIS ISTNIEJĄCEJ INSTALACJI

Węzeł c.o. i c.w.u. w domu studenckim „Promień” zasilany jest z miejskiej sieci ciepłej wodą o parametrach 135/70°C, z regulacją jakościową w źródle ciepła. Instalacja kolektorów słonecznych wspomaga instalację centralnej ciepłej wody w istniejącym węźle c.w.u. Na dachu budynku mieszczą się 4 zespoły baterii kolektorów słonecznych, po 5 kolektorów w każdym. Są to kolektory połączone systemem rurociągów. Dla zrównoważenia oporów przepływu czynnika w poszczególnych bateriach kolektorów, za rozdzielaczami, zaprojektowano zawory regulacyjne. Energia cieplna z kolektorów dostarczana jest do pomieszczenia węzła, gdzie zaprojektowano 3 pojemnościowe podgrzewacze c.w.u. pracujące w układzie Tichelmana.

Podgrzana w pojemnościowych podgrzewaczach woda zasila istniejący w węźle zespół 4 wymienników JAD 3/18 i w zależności od temperatury dostarczonej z podgrzewaczy wody zostaje dogrzana do docelowej temperatury, a następnie zakumulowana w zasobnikach ciepła. W okresie braku rozbioru c.w.u., gdy temperatura wody osiągnie wartość powyżej 60°C, a temperatura cieczy w kolektorach wzrośnie powyżej 110°C następuje przyłączenie zaworu trójdrogowego z siłownikiem. Włączony zostanie obwód przez chłodnicę glikolu, następuje uruchomienie chłodnicy oraz schłodzenie cieczy grzewczej kolektorów.

W celu zabezpieczenia instalacji przed rozwojem bakterii Legionelli w każdym pojemnościowym podgrzewaczu c.w.u. jest umieszczona grzałka elektryczna o mocy 4,5 kW, która powoduje przegrzanie wody do temperatury + 75°C przez okres co najmniej 5 min. Zgodnie z zaleceniem przeciwdziałania Legionellozie przegrzew wody w pojemnościowych podgrzewaczach c.w.u. odbywa się z częstotliwością 1 raz na 3 doby.

Do sterowania pracą instalacji słonecznej wykorzystano oddzielny sterownik. Sterownik jest zainstalowany w specjalnym cokole montażowym. Do cokołu montażowego podłączone są wszystkie przewody czujnikowe i zasilające. Energia elektryczna dostarczana jest do budynku z sieci elektrycznej [5].

Na podstawie normy [4] oraz opracowania [3] obliczono zapotrzebowanie ciepła:

- do ogrzewania pomieszczeń - 54,7 kW,
- do przygotowania c.w.u. - 36,8 kW.

Całkowite zapotrzebowanie na moc cieplną wynosi 91,5 kW, a rzeczywiste zużycie energii elektrycznej przez odbiorniki 62 kW.

W celu obniżenia kosztów ciepła i energii elektrycznej zaproponowano 2 warianty rozwiązań z wykorzystaniem zintegrowanych źródeł energii, a następnie porównano je pod względem ekonomicznym. Rozpatrywane warianty to:

- I wariant – zintegrowanie istniejącej instalacji z układem kogeneracyjnym, (rys. 5),
- II wariant – zintegrowanie istniejącej instalacji z pompą ciepła, (rys. 6).

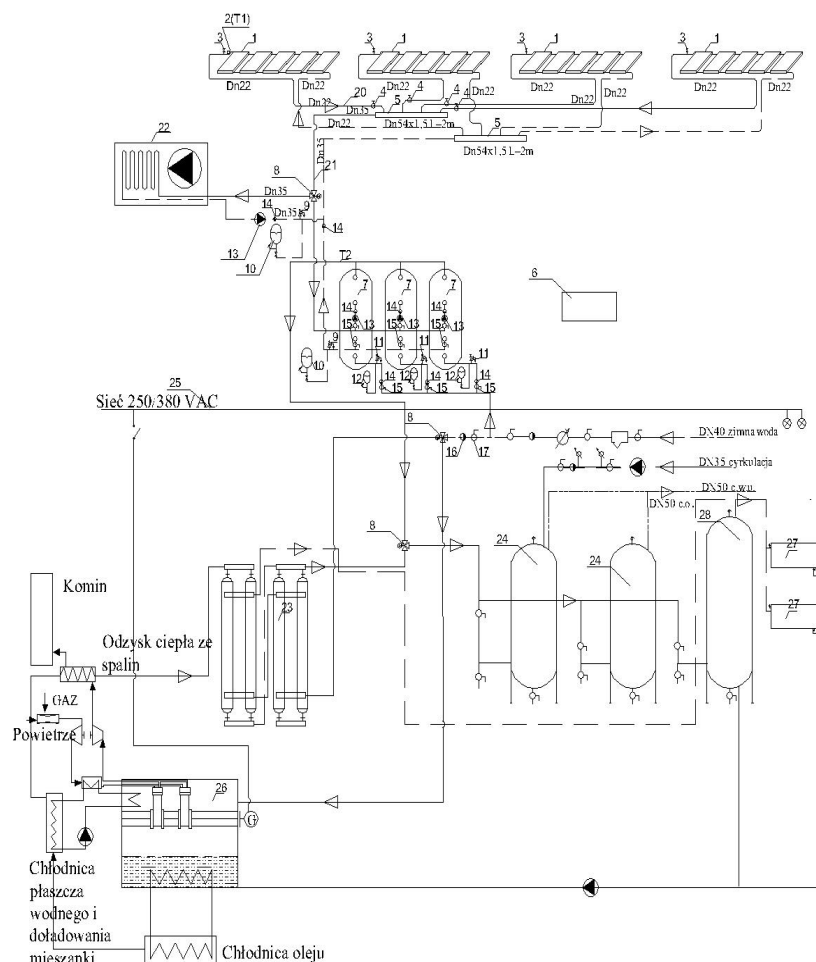
4. WSPÓŁPRACA ISTNIEJĄCEJ INSTALACJI Z AGREGATEM KOGENERACYJNYM

Na podstawie powyższych danych dobrano agregat kogeneracyjny, o następujących parametrach [6]:

- moc elektryczna 70 kW_e,
- moc cieplna 115 kW_t
- zużycie gazu 24 m³/h,
- sprawność elektryczna 32,8 %,
- sprawność cieplna 52,8%,
- sprawność ogólna 85,6%.

Rozpatrzono dwie odmiany pracy układu kogeneracyjnego (I wariant):

Pierwsza odmiana - układ kogeneracyjny pracuje przez cały rok. Doprowadzona jest sieć elektryczna i ciepłownicza, ale sieć ciepłownicza jest wyłączona. Energia cieplna na cele c.w.u. jest wytwarzana przez 11 miesięcy. W sierpniu 100% zapotrzebowanie na c.w.u. pokrywa instalacja słoneczna.



Rys. 5. Schemat instalacji współpracującej z agregatem kogeneracyjnym:

Fig. 5. Scheme of installation worked with the cogeneration unit:

1- bateria 5 kolektorów, 2 - czujnik temperatury w kolektorach, 3 - odpowietrznik z separatorem, 4 - zawór regulacyjny, 5 - rozdzielacz, 6 - sterownik z kompletem czujników, 7- pojemnościowy podgrzewacz wody z grzałką elektryczną 4,5 kW, 8 - zawór przełączający trójdrogowy z siłownikiem, 9 - zawór bezpieczeństwa 6 bar, 10 - naczynie wzbiorcze przeponowe z szybkozłączką, 11 - zawór bezpieczeństwa 6 bar, 12 - naczynie wzbiorcze przeponowe z złączką flowjet 11/4", 13 - pompa obiegowa, 14 - zawór zwrotny, 15 - zawór odcinający kulowy DN32, 16 - zawór zwrotny DN40, 17 - zawór odcinający kulowy DN40, 20 - rurociągi glikolu Dn22x1 w izolacji, 21 - rurociąg glikolu Dn35x1,5 w izolacji, 22 - chłodnica glikolu z automatyką typ, 23 - wymiennik JAD 3/18, 24 - zbiornik ciepłej wody, 25 - istniejąca sieć elektryczna, 26 - agregat kogeneracyjny, 27 - grzejnik, 28 - zbiornik ciepłej wody.

Energia ciepła na cele c.o. jest wytwarzana przez 8 miesięcy od października do maja, a energia elektryczna przez cały rok. Nadmiar energii elektrycznej i ciepłej sprzedawany jest do sąsiedniego domu akademickiego „Arkus” Politechniki Rzeszowskiej po cenie zawartej w umowie.

Druga odmiana - układ kogeneracyjny pracuje przez 8 miesięcy, od października do maja. Doprowadzona jest sieć elektryczna i ciepłownicza. W układzie zapewniona jest energia ciepła na cele c.w.u., c.o. oraz energia elektryczna przez 8 miesięcy, zaś w pozostałych miesiącach energia elektryczna dostarczana jest z sieci elektrycznej, a ciepło na potrzeby c.w.u. z sieci ciepłowniczej. Sieć ciepłownicza wspomagana jest dodatkowo przez instalację słoneczną, która w sierpniu zapewnia 100% pokrycie zapotrzebowania na c.w.u.. Nadmiar energii elektrycznej i ciepłej sprzedawany jest do sąsiedniego domu akademickiego „Arkus” Politechniki Rzeszowskiej po średnich cenach nośników energii z 2011 roku.

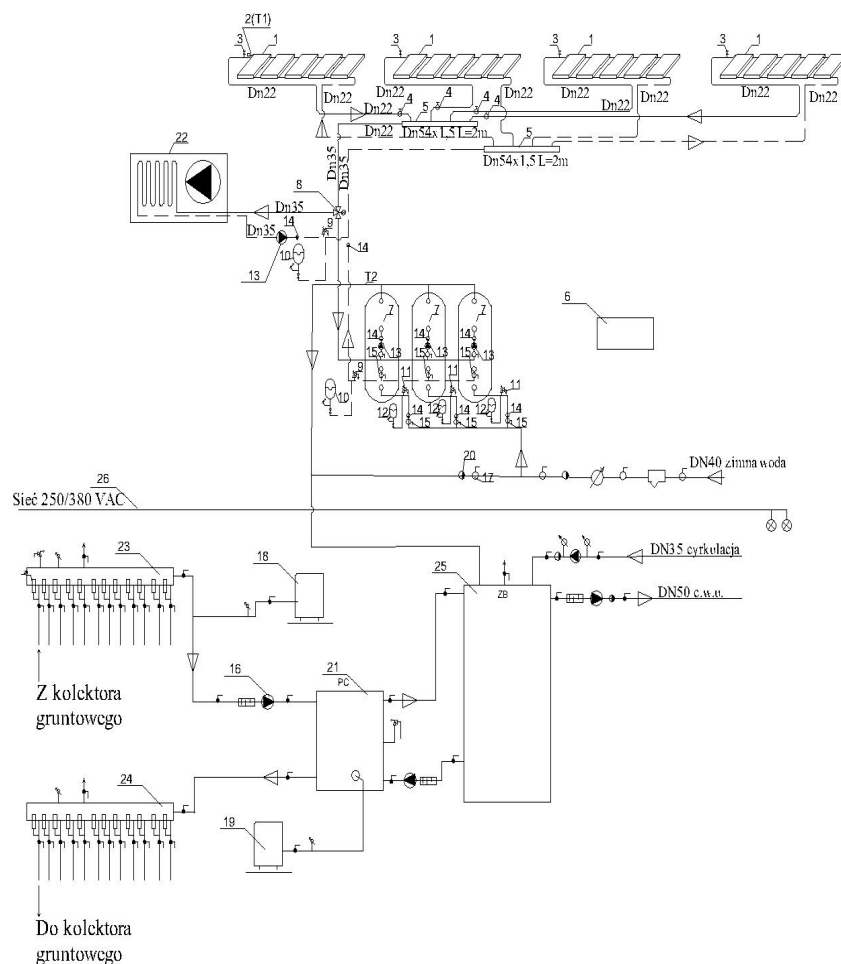
W każdym przypadku agregat pracuje 16 godzin w ciągu doby. Przez 8 godzin nocnych, od godz. 22 do 6 energia na potrzeby domu studenckiego dostarczana jest z sieci elektroenergetycznej po niższych cenach. Energia ciepła natomiast jest magazynowana w 3 zbiornikach ciepłej wody o pojemności 2000 dm³ każdy (24, rys. 5). Agregat jest zlokalizowany w maszynowni znajdującej się w piwnicy budynku. Parametry instalacji centralnego ogrzewania wynoszą 90/70°C. Temperatura ciepłej wody $T_c = 45^\circ\text{C}$. Instalacja kogeneracyjna będzie pracować z wykorzystaniem gazu ziemnego wysokometanowego.

Na rys. 5 przedstawiono schemat współpracy istniejącej instalacji z agregatem kogeneracyjnym.

5. WSTĘPNA ANALIZA EKONOMICZNA INSTALCJI Z UKŁADEM KOGENERACYJNYM

5.1. Koszty zakupu środków trwałych:

- agregat kogeneracyjny, 418 000 zł [6],
- zbiornik ciepłej wody, 14 640 zł [6],
- pompa obiegowa, 450 zł [7],
- armatura, 1 590 zł [6],



Rys.6. Schemat instalacji współpracującej z pompą ciepła:

Fig. 6. Scheme of installation worked with a heat pump:

1 - bateria 5 kolektorów, 2 - czujnik temperatury w kolektorach, 3 - separator, 4 - zawór regulacyjny Dn20, 5 - rozdzielacz Cu Dn54x1,5, 6 - Sterownik z kompletem czujników, 7 - pojemnościowy podgrzewacz wody z grzałką elektryczną 4,5 kW, 8 - zawór przelączający trójdrogowy DN25 z siłownikiem, 9 - zawór bezpieczeństwa Dn20 6 bar, 10 - naczynie wzbiorcze przeponowe z szybkozłączką, 11 - zawór bezpieczeństwa Dn20 6 bar, 12 - naczynie wzbiorcze przeponowe ze złączką flowjet 11/4", 13 - pompa obiegowa, 14 - zawór zwrotny DN32, 15 - zawór odcinający kulowy DN32, 16 - pompa obiegowa, 17 - zawór odcinający kulowy DN40, 18, 19 - ciśnieniowe naczynia przeponowe, 20 - zawór zwrotny DN40, 21 - pompa ciepła, 22 - chłodnica glikolu z automatyką, 23, 24 - rozdzielacz górnego i dolnego źródła, 25 - wymiennik buforowy, 26 - istniejąca sieć elektryczna.

- rury miedziane D18, $10 \cdot 7,25 = 72,5$ zł [8],
 - izolacja 18/13, $10 \cdot 7,25 = 72,5$ zł [8].
- Maksymalny koszt budowy instalacji kogeneracyjnej wynosi 700 000 zł [6].

5.2. Roczne możliwości produkcyjne modułu

Dla przyjętych założeń technicznych i eksploatacyjnych obliczono roczne możliwości produkcyjne układu kogeneracyjnego (tab. 1).

Tab.1. Roczne możliwości produkcyjne układu kogeneracyjnego.

Tab.1. The annual production possibilities of cogeneration system.

Rodzaj produkcji	I odmiana	II odmiana
Ilość wytworzonej energii elektrycznej, [kWh/rok]	408 800 (70 kW·16 h/d·365 dni)	274 400 (70 kW·16 h/d·245 dni)
Zużycie energii elektrycznej na potrzeby własne, [kWh/rok]	11 096 (1,9 kW·16 h/d·365 dni)	7 448 (1,9 kW·16 h/d·245 dni)
Sprzedaż energii elektrycznej, [kWh/rok]	35 624 [(70 kW-62 kW)·16 h/d 365 dni] - 11 096 kWh/rok	23 912 [(70 kW-62 kW)·16 h/d·245 dni]-7 448 kWh/rok
Maksymalna ilość wyprodukowanego ciepła [GJ/rok]	2 418 (115 kW 16 h/d 365 dni = 671 600 kWh/rok)	1 623 (115 kW·16 h/d·245 dni = 450 800 kWh/rok)
Sprzedaż ciepła [GJ/rok]	938 (115·16 h/d·365 dni-36,8 kW·16 h/d 334 dni-54,7 kW·16 h/d·45 dni)	332 (115-91,5 kW)·16 h/d·245 dni
Zużycie gazu ziemnego [m ³ /rok]	140 160 (24 m ³ /h·16 h/d·365 dni)	94 080 (24 m ³ /h·16 h/d·245 dni)

5.3. Koszty eksploatacji układu kogeneracyjnego

W tab. 2 przedstawiono koszty eksploatacji układu kogeneracyjnego.

Tab.2. Koszty roczne eksploatacji (zmiennie) układu kogeneracyjnego.

Tab.2. The annual operating costs of the cogeneration unit.

Eksploatacja	Cena jednostkowa	I odm. koszty [zł]	II odm. koszty [zł]
Koszty wody uzupełniającej	0,13 zł/GJ ciepła [1]	314	210
Koszty odprowadzania ścieków	0,02 zł/GJ ciepła [1]	48	32
Koszty emisji zanieczyszczeń	0,0041 zł/m ³ spalonego gazu [1]	575	386

Koszt zużycia gazu	1,50 zł/m ³ spalonego gazu dla I odm., 1,56 zł/m ³ dla II odm. [9]	210 240	146 765
Koszt materiałów pomocniczych	0,003 zł/kWh energii elektr. [1]	1 226	824
Koszty eksploatacji i remontów	0,03 zł/kWh energii elektr.[1]	12 264	8 244
	Suma	224 667	156 461

5.4. Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła

Przyjęto następujące średnie ceny nośników energii w 2011 r.:

- sprzedaż energii elektrycznej – 0,6 zł/kWh [10],
- sprzedaż ciepła – 60 zł/GJ [10].

Poniżej przedstawiono zyski roczne ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła dla dwóch odmian:

	I odmiana	II odmiana
- Energia elektryczna [zł]	21 374	14 347
- Ciepło [zł]	56 280	19 920
Suma [zł]	77 654	34 267

5.5. Oszczędność roczna O_r na przykładzie rzeczywistych kosztów w domu akademickim „Promień” - odmiana I

$$O_{rI} = K_o - K_{rI} - K_e + K_{zI} + K_{zc}, \quad [\text{zł} / \text{a}] \quad (1)$$

gdzie K_o jest to średni roczny koszt energii cieplnej na potrzeby c.w.u., c.o. i energii elektrycznej wg obliczeniowego zapotrzebowania i aktualnych kosztów nośników energii z 2011 roku, $K_o = 204\,470$ zł/a

K_{rI} - koszty roczne eksploatacji układu kogeneracyjnego I odm., $K_{rI} = 224\,667$ zł/a,

K_e - koszt energii elektrycznej dostarczonej w godzinach nocnych gdy agregat nie pracuje, przyjęto $K_e = 8\,000$ zł/a,

K_{zI} , K_{zc} - zysk ze sprzedaży energii cieplnej do akademika „Arkus” i elektrycznej do sieci $K_{zI} + K_{zc} = 77\,654$ zł/a,

$$O_{rI} = 204\,470 - 224\,667 - 8\,000 + 77\,654 = 49\,457 \text{ zł/a}$$

5.6. Zwrot kosztów inwestycji Z_k

$$Z_k = K_i / O_{rI}, \quad [\text{a}] \quad (2)$$

$$Z_k = 700\,000 / 49\,457 = 14,2 \text{ a}$$

5.7. Oszczędność roczna O_r – odmiana II

$$O_{rII} = K_o - K_{rII} - K_{eII} - K_{el} - K_{cwu} + K_{zII} + K_{zcII}, \quad [\text{zł} / \text{a}] \quad (3)$$

gdzie:

K_{rII} - koszty roczne eksploatacji układu kogeneracyjnego II odm., $K_{rII} = 156\,461$ zł/a,

$K_{\text{c.w.u.}}$ - koszt c.w.u. od 1 czerwca do 30 września, $K_{\text{c.w.u.}} = 14\,300$ zł,

K_{eII} - koszt energii elektrycznej dostarczonej w godzinach nocnych gdy agregat nie pracuje, przyjęto $K_e = 8\,000$ zł/a,

K_{el} - koszt energii elektrycznej od 1 czerwca do 30 września, $K_{\text{el}} = 28\,100$ zł,

K_{zcII} , K_{zII} - zysk ze sprzedaży energii cieplnej do akademika „Arkus” i elektrycznej do sieci, $K_{\text{zcII}} + K_{\text{zII}} = 34\,267$ zł/a,

wówczas

$$O_{\text{rII}} = 204\,470 - 156\,461 - 14\,300 - 8\,000 - 28\,100 + 34\,267 = 31\,876 \text{ zł/a.}$$

5.8. Zwrot kosztów inwestycji Z_k

$$Z_k = K_i / O_{\text{rII}}, [\text{a}] \quad (4)$$

$$Z_k = 700\,000 / 31\,876 = 22 \text{ a.}$$

6. WSPÓLPRACA ISTNIEJĄCEJ INSTALACJI Z POMPĄ CIEPŁA

W wariantcie II projektowana pompa ciepła typu solanka/woda będzie zaopatrywała w ciepłą wodę użytkową dom studencki „Promień”. Pompa ciepła współpracuje z kolektorem gruntowym i instalacją kolektorów słonecznych (rys. 6).

Ciepło pobierane jest ze źródła dolnego o średniej temperaturze gruntu 8°C za pośrednictwem pionowego gruntowego wymiennika ciepła. Wymiennik wykonany z rur z tworzywa sztucznego (HDPE) o średnicy $D_z = 32$ mm i grubości ścianki wynoszącej 3,0 mm. Stanowi go 12 sond gruntowych, w kształcie podwójnej U-rury, o łącznej długości przewodów równej 1200 m, połączonych ze sobą przez zgrzewanie. Sondy umieszczone zostały w dwóch pionowych otworach o głębokości 50 m oddalonych od siebie o 6m. Aby zapewnić równomierny rozdział nośnika ciepła w sondach, zastosowano rozdzielacze nośnika ciepła (23,24, rys. 6). Do przekazania ciepła z gruntu do parowacza służy niskokrzepnąca ciecz, roztwór na bazie glikolu etylenowego. Obieg nośnika ciepła jest wymuszony działaniem pompy obiegowej (16, rys. 6).

Zabezpieczenie obiegu dolnego źródła ciepła stanowi obliczone i dobrane naczynie wzbiorcze (18, rys. 6). W projekcie zastosowano pompę ciepła (21, rys. 6) o mocy grzewczej $Q_g = 68,8$ kW. Górne źródło pompy ciepła stanowi wymiennik zasobnikowy (25, rys. 6) o pojemności 2000 dm^3 . Zadaniem jego jest odbiór ciepła z pompy ciepła i akumulacja ciepłej wody użytkowej.

Nośnikiem ciepła górnego źródła jest woda o temperaturze na zasilaniu wężownicy wymiennika buforowego wynosząca 60°C , a na powrocie 40°C . Parametry wody zimnej doprowadzanej do wymiennika zasobnikowego z sieci wodociągowej to 5°C . Uzyskana temperatura ciepłej wody użytkowej wynosi 45°C .

Na rys. 6 przedstawiono schemat współpracy istniejącej instalacji z pompą ciepła.

7. ANALIZA EKONOMICZNA INSTALACJI Z POMPĄ CIEPŁA

Bilans energetyczny i wyznaczenie kosztów wytwarzania ciepła przy wykorzystaniu pompy ciepła z pionowym wymiennikiem gruntowym ciepła wykonano w oparciu o opracowanie Kusto [2].

7.1. Całkowite nakłady inwestycyjne na instalację pompy ciepła K_{inpc}

$$K_{inpc} = K_{ipc} + K_{isg} + K_{ipz}, \text{ [zł]} \quad (5)$$

gdzie K_{ipc} jest to nakład inwestycyjny na pompę ciepła,

K_{isg} - koszt wymiennika ciepła,

K_{ipz} - nakład inwestycyjny na pozostałe urządzenia instalacji z pompą ciepła.

- Nakład inwestycyjny na pompę ciepła K_{ipc}

$$K_{ipc} = 22300 + 340 \cdot Q_g, \text{ [zł]} \quad (6)$$

gdzie:

Q_g - moc grzejna pompy ciepła, $Q_g = 68,8 \text{ kW}$ [3],

$$K_{ipc} = 22300 + 340 \cdot 68,8 \text{ kW} = 45\,692 \text{ zł}$$

- Nakład inwestycyjny na wymiennik K_{isg}

$$K_{isg} = n \cdot h_{odw} \cdot k_{wymw}, \text{ [zł]} \quad (7)$$

gdzie:

n - liczba sond gruntowych, $n = 12$ szt,

h_{odw} - głębokość odwiertów, $h_{odw} = 50 \text{ m}$,

k_{wymw} - jednostkowy koszt inwestycyjny na wymiennik, $k_{wymw} = 90 \text{ zł/m}$ [4],

$$K_{isg} = 12 \cdot 50 \cdot 90 = 54\,000 \text{ zł.}$$

- Nakład inwestycyjny na pozostałe urządzenia instalacji z pompą ciepła

$$K_{ipz} = 0,25 \cdot (K_{ipc} + K_{isg}), \text{ [zł]} \quad (8)$$

$$K_{ipz} = 0,25 \cdot (45\,692 + 54\,000) = 24\,923 \text{ zł,}$$

ze wzoru (5):

$$K_{inpc} = 45\,692 + 54\,000 + 24\,923 = 124\,615 \text{ zł.}$$

7.2. Koszty roczne instalacji wytwarzania ciepłej wody użytkowej

$$K_r = K_{est} + K_{ezm}, \text{ [zł/a]} \quad (9)$$

gdzie K_{est} są to stałe koszty eksploatacyjne, K_{ezm} - roczny koszt energii elektrycznej do pracy pompy ciepła i materiałów ruchomych.

- Stałe koszty eksploatacyjne

$$K_{est} = r_{ce} \cdot K_{inpc}, \text{ [zł/a]} \quad (10)$$

gdzie: r_{ce} - rata stałych kosztów eksploatacyjnych, $r_{ce} = 0,02$ [2],

$$K_{est} = 0,02 \cdot 124\,615 = 2\,492 \text{ zł/a}$$

- Roczny koszt energii elektrycznej i materiałów ruchomych:

$$K_{ezm} = c_{el} \cdot k_{mr} \cdot E_{el\ a}, \text{ [zł/a]} \quad (11)$$

gdzie:

c_{el} - cena energii elektrycznej, $c_{el} = 0,60$ zł/kWh [10],

k_{mr} - współczynnik kosztów materiałów ruchomych, $k_{mr} = 1,02$ [2],

$E_{el\ a}$ - roczny pobór energii elektrycznej przez silnik napędowy sprężarki pompy.

- Roczny pobór energii elektrycznej przez silnik napędowy sprężarki pompy ciepła:

$$E_{el\ a} = (Q_g \cdot T_{ipc}) / (\varphi \cdot \eta_{sil}), \text{ [kWh/a]} \quad (12)$$

gdzie:

T_{ipc} - rzeczywisty czas użytkowania mocy zainstalowanej pompy ciepła,

$$T_{ipc} = Q_{apc} / Q_g, \text{ [h]} \quad (13)$$

gdzie Q_{apc} są to średnie roczne zapotrzebowanie na energię cieplną na potrzeby c.w.u. dla domu studenckiego, $Q_{apc} = 914,2$ GJ [5],

φ - współczynnik wydajności pompy ciepła (stały w ciągu roku):,

$$\varphi = \eta_{pc} (t_g + 273,15) / (t_g - t_d), \text{ [-]} \quad (14)$$

gdzie:

t_g - temperatura górnego źródła, $t_g = 60^\circ\text{C}$,

t_d - temperatura gruntu na głębokości ułożenia wymiennika, stała w ciągu roku, $t_d = 8^\circ\text{C}$,

η_{pc} - sprawność pompy ciepła, $\eta_{pc} = 0,52$ [6],

η_{sil} - sprawność silnika sprężarkowej pompy ciepła, $\eta_{sil} = 0,82$ [6].

Ze wzoru (13,14, 12 i 11) obliczono:

$$T_{ipc} = 914,2 \cdot 10^6 / (68,8 \cdot 3600) = 3\ 691 \text{ h}$$

$$\varphi = 0,52 \cdot (60 + 273,15) / (60 - 8) = 3,3$$

$$E_{el\ a} = (68,8 \cdot 3\ 691) / (3,3 \cdot 0,82) = 93\ 843 \text{ kWh/a}$$

$$K_{ezm} = 0,6 \cdot 1,02 \cdot 93\ 843 = 57\ 432 \text{ zł/a}$$

- Roczne koszty wytwarzania, ze wzoru (9) wynoszą:

$$K_r = 2\ 492 + 57\ 432 = 59\ 924 \text{ zł}$$

7.3. Oszczędność roczna O_r

$$O_r = K_o - K_r, \text{ [zł/a]} \quad (15)$$

gdzie K_o jest to średni roczny koszt energii cieplnej na potrzeby c.w.u., wg obliczeniowego zapotrzebowania i aktualnych kosztów nośników energii z 2011 roku, $K_o = 69\ 631$ zł/a.

$$O_r = 69\ 631 - 59\ 924 = 9\ 707 \text{ zł/a}$$

7.4. Zwrot kosztów inwestycji Z_k

$$Z_k = K_{\text{incp}} / O_r, [\text{a}] \quad (16)$$

$$Z_k = 124\,615 / 9\,707 = 12,8 \text{ a}$$

8. PODSUMOWANIE

Dom studenta „Promień” Politechniki Rzeszowskiej zasilany jest w ciepło z miejskiej sieci ciepłej oraz z instalacji słonecznej. W artykule przedstawiono propozycje, przedstawione na schematach, rozwiązań technicznych współpracy istniejącej instalacji hybrydowej z układem kogeneracyjnym (I wariant) oraz z pompą ciepła (II wariant). Wykonane porównanie wariantowe współpracy istniejącej instalacji z zaproponowanymi rozwiązaniami oraz przeprowadzona analiza ekonomiczna wykazały, że w przypadku wariantu I z agregatem kogeneracyjnym, w którym układ pracuje przez cały rok (odm. I) zwrot kosztów inwestycji nastąpi po ok. 14,2 latach, natomiast dla układu pracującego przez 8 miesięcy w roku (odm. II), po 22 latach. Pomimo wysokich kosztów inwestycyjnych możliwość produkcji i sprzedaży energii elektrycznej obniża czas zwrotu poniesionych nakładów. W przypadku rozwiązania z pompą ciepła zwrot nastąpi po ok. 13 latach. Należy zauważyć, że w tym przypadku ocena obejmowała tylko potrzeby ciepłe budynku związane z przygotowaniem ciepłej wody.

Analizując powyższe wyniki można stwierdzić, że najbardziej opłacalnym pod względem ekonomicznym rozwiązaniem jest układ współpracy istniejącej instalacji hybrydowej z agregatem kogeneracyjnym pracującym przez cały rok.

9. LITERATURA

- [1] Skorek J., Kalina J.: Ocena efektywności energetycznej i ekonomicznej gazowych układów kogeneracyjnych małej mocy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002
- [2] Kusto Z.: *Uwarunkowania ekonomicznej efektywności pomp ciepła*, Biblioteka Główna w Bydgoszczy, Gdańsk 2006
- [3] Recknagel, Sprenger, Schramek: *Ogrzewanie + klimatyzacja*, Wydawnictwo EWFE, Gdańsk 1994
- [4] PN-92/B-01706, Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu.
- [5] Zakład techniczny - Politechnika Rzeszowska
- [6] www.viessmann.pl
- [7] www.grundfos.pl
- [8] www.ramt.com.pl
- [9] www.pging.rzeszow.pl
- [10] www.pge.rzeszow.pl

ANALYSIS OF INTEGRATED BUILDING ENERGY SUPPLY SYSTEM**SUMMARY**

The paper presents the analysis of integrated energy supply system, in the hostel „Ray” of Rzeszow Technical University. The current hybrid installation uses the heat with district heating station and solar. At the work was described variant comparing the hybrid installation cooperating with the cogeneration system and with heat pump. In terms of the cost-effectiveness the proposed solutions were compared.

Vyacheslav PISAREV, dr hab. inż., prof. PRz
Natalia ZIEMNIAK

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy nr 6, bud. "K", 35-029 Rzeszów
e-mail: pisarev@prz.edu.pl

ANALIZA BASENOWYCH CENTRAL KLIMATYZACYJNYCH Z TRZYSTOPNIOWYM ODZYSKIEM CIEPŁA W OKRESIE ZIMOWYM

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono basenowe centrale klimatyzacyjne z trzystopniowym odzyskiem ciepła. Opracowano wstępną metodę projektowania procesów uzdatniania powietrza na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego wraz z przykładem obliczeniowym przy współpracy wszystkich elementów składowych centrali w okresie zimowym.

1. WPROWADZENIE

Kryte pływalnie basenowe charakteryzują się dużymi zyskami wilgoci. Powstają one w wyniku parowania wody zarówno z lustra basenu jak i z mokrych nawierzchni podłóg. Doprowadzenie powietrza o odpowiednich parametrach pozwala utrzymać wilgotność względną powietrza wewnątrz pływalni na wymaganym poziomie. Usuwanie wilgoci jest konieczne, ponieważ jej duża zawartość w powietrzu powoduje niszczenie konstrukcji przegród budowlanych oraz wpływa niekorzystnie na samopoczucie kąpiących się ludzi.

Na rynku istnieje wiele firm oferujących basenowe centrale klimatyzacyjne. Producenci położyli duży nacisk na maksymalny odzysk ciepła oraz odzysk wilgoci z powietrza wywiewanego zapewniając tym samym niski koszt użytkowania instalacji. Szczególnie ważne jest to w okresie zimowym, gdy w porównaniu do powietrza wewnętrznego strumień zewnętrzny charakteryzuje się znacznie niższą temperaturą oraz dużo mniejszą zawartością wilgoci. Dzięki kombinacji różnych rekuperatorów ciepła producentom systemów klimatyzacyjnych udało się ograniczyć udział powietrza zewnętrznego do minimum określonego względami higienicznymi. Efektywna praca rozpatrzonych basenowych central klimatyzacyjnych opiera się na trzystopniowym odzysku ciepła. Proces ten realizowany jest przez zastosowanie pompy ciepła, recyrkulacji oraz w zależności od produ-

centa rekuperatora: pojedynczego krzyżowego wymiennika ciepła [1, 2, 3, 4, 5], podwójnego krzyżowego wymiennika ciepła [6] lub rurki ciepła [2, 7, 8].

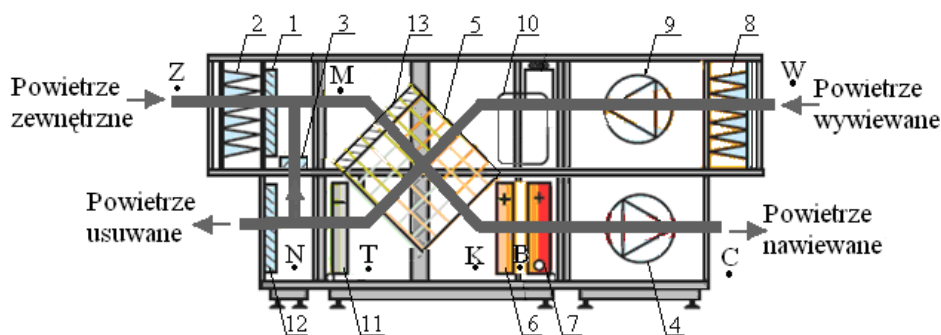
Celem opracowania jest analiza zasad pracy basenowych central klimatyzacyjnych różnych producentów (o różnej konstrukcji) w okresach kąpielowych przy niskich temperaturach zewnętrznych. W katalogach firm nie ma przykładowej metody projektowania zmian stanu powietrza, co było przyczyną opracowania procesów uzdatniania powietrza dla okresu zimowego na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego. W praktyce inżynierskiej brak tak istotnych informacji może zniechęcić przyszłych projektantów do wykorzystywania tych efektywnych, według producentów, central klimatyzacyjnych.

2. CENTRALE KLIMATYZACYJNE Z TRZYSTOPNIOWYM ODZYSKIEM CIEPŁA

Poniżej pokazano przykładowe schematy basenowych central klimatyzacyjnych z trzystopniowym odzyskiem ciepła (rys. 1 - 9). Na podstawie przedstawionych urządzeń klimatyzacyjnych opracowano wspólny schemat systemu klimatyzacji dla hal krytych pływalni z trzystopniowym odzyskiem ciepła pracujący w czasie użytkowania basenu w okresie zimowym, rys. 10. Jego reżim pracy pokrywa się z reżimami pracy wspomnianych wcześniej central klimatyzacyjnych. Na rysunkach przyjęto następujące oznaczenia: 1 - przepustnica powietrza zewnętrznego, 2 - filtr powietrza zewnętrznego, 3 - przepustnica powietrza obiegowego, 4 - wentylator nawiewny, 5 - rekuperator, 6 - skraplacz pompy ciepła (nagrzewnica powietrza), 7 - nagrzewnica wodna powietrza, 8 - filtr powietrza wywiewanego, 9 - wentylator wywiewny, 10 - sprężarka pompy ciepła, 11 - parownik pompy ciepła (chłodnica powietrza), 12 - przepustnica powietrza usuwanego, 13 - przepustnica obejścia rekuperatora. Punkty stanu powietrza odpowiadają punktom na wykresie entalpia właściwa - zawartość wilgoci powietrza wilgotnego (wykres $i-x$), rys. 11.

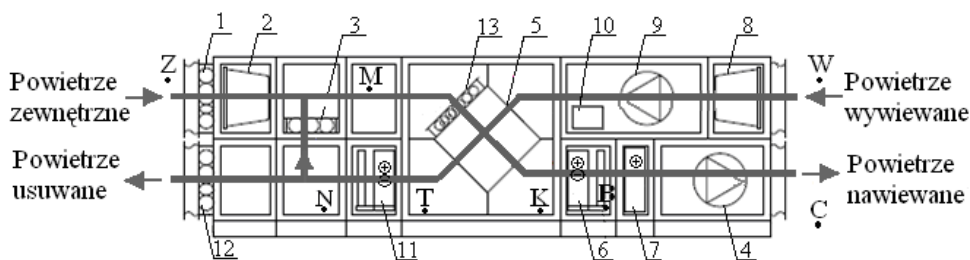
3. ZASADY PROJEKTOWANIA ZMIAN STANU POWIETRZA W SYSTEMACH KLIMATYZACJI Z TRZYSTOPNIOWYM ODZYSKIEM CIEPŁA

Powietrze wywiewane przepływając kolejno przez rekuperator (5, rys. 10) oraz parownik pompy ciepła (11) ochładza się poniżej punktu rosy (dochodzi do wykroplenia się zawartej w nim pary wodnej). Dalej powietrze zostaje podzielone na dwa strumienie (strumień powietrza wywiewanego oraz strumień powietrza recykulowany) w zależności od warunków wewnętrznych i zewnętrznych. Strumień obiegowy po wymieszaniu z powietrzem zewnętrznym trafia do rekuperatora (5), odbiera ciepło od powietrza wywiewanego, a następnie zostaje ogrzany przez skraplacz pompy ciepła (6). Po przejściu przez nagrzewnicę wodną (7), ogrzany do wymaganej temperatury nawiewu, zostaje doprowadzony do pomieszczenia. W ten sposób zarówno temperatura jak i wilgotność powietrza w pływalni zostają utrzymane na wymaganym poziomie przy minimalnym



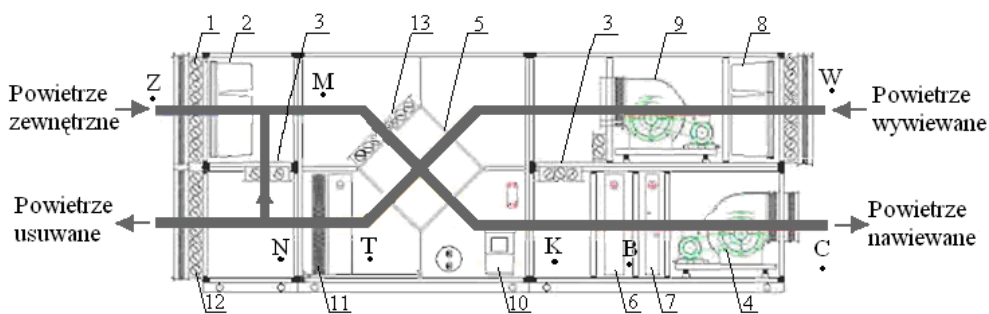
Rys. 1. Basenowa centrala klimatyzacyjna z krzyżowym wymiennikiem ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [1]

Fig. 1. Swimming pool air handling unit with cross - flow heat exchange, heat pump and recirculation [1]



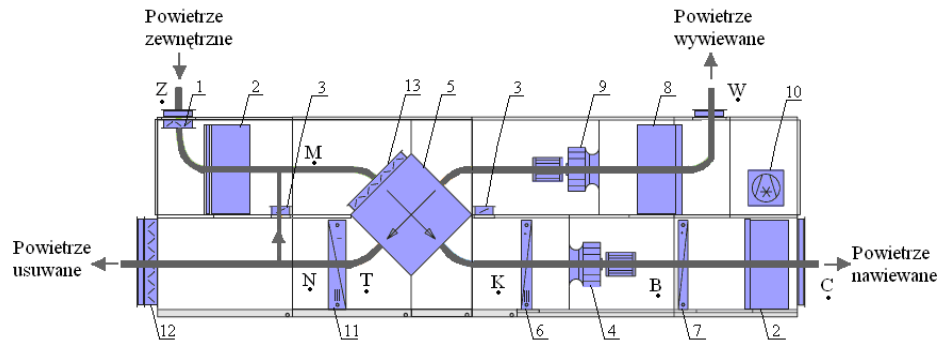
Rys. 2. Basenowa centrala klimatyzacyjna z krzyżowym wymiennikiem ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [2]

Fig. 2. Swimming pool air handling unit with cross - flow heat exchange, heat pump and recirculation [2]



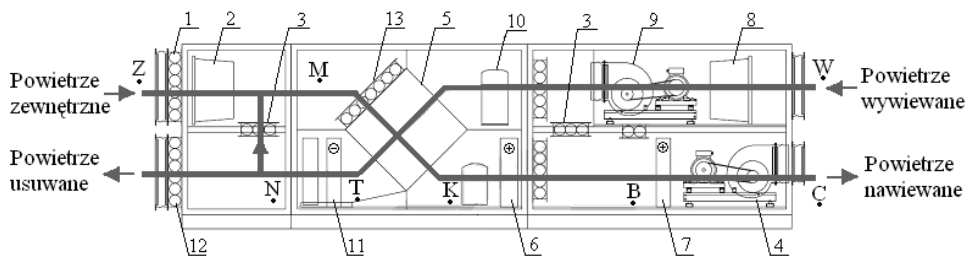
Rys. 3. Basenowa centrala klimatyzacyjna z krzyżowym wymiennikiem ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [3]

Rys. 3. Swimming pool air handling unit with cross - flow heat exchange, heat pump and recirculation [3]



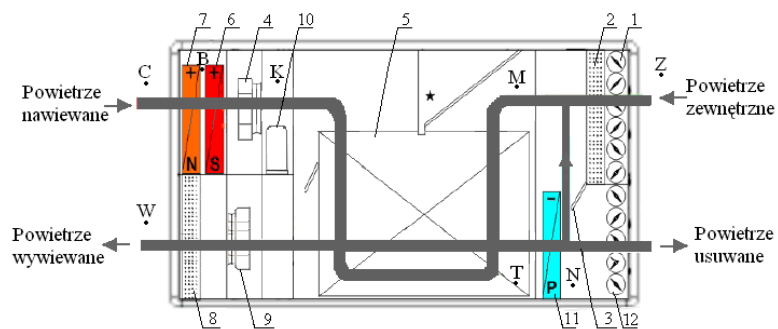
Rys. 4. Basenowa centrala klimatyzacyjna z krzyżowym wymiennikiem ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [4]

Fig. 4. Swimming pool air handling unit with cross - flow heat exchange, heat pump and recirculation [4]



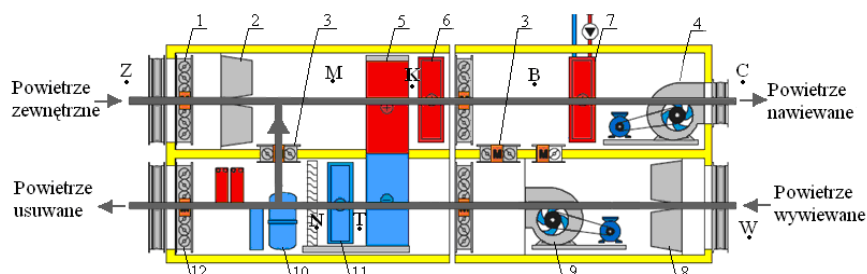
Rys. 5. Basenowa centrala klimatyzacyjna - Produkt z krzyżowym wymiennikiem ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [5]

Fig. 5. Product's swimming pool air handling unit with cross - flow heat exchange, heat pump and recirculation [5]



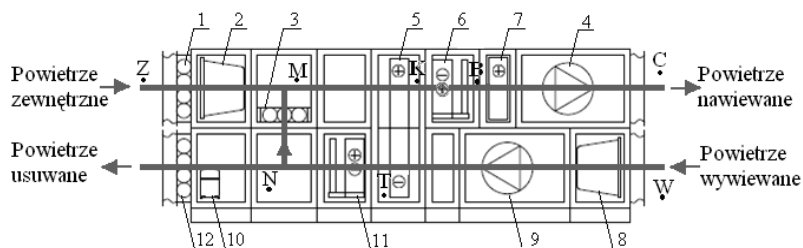
Rys. 6. Basenowa centrala klimatyzacyjna z podwójnym krzyżowym wymiennikiem ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [6]

Fig. 6. Swimming pool air handling unit with double cross - flow heat exchange, heat pump and recirculation [6]



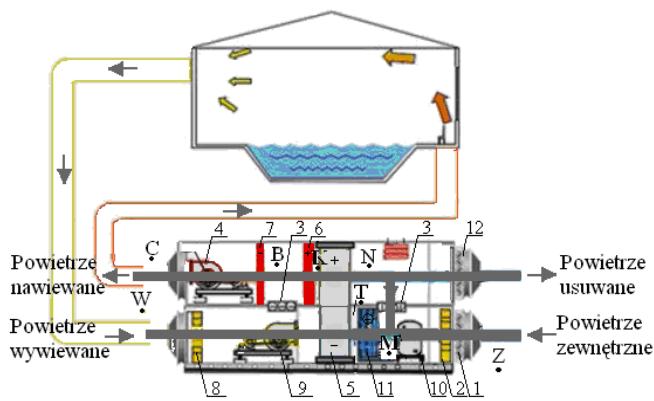
Rys. 7. Basenowa centrala klimatyzacyjna z rurką ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [7]

Fig. 7. Swimming pool air handling unit with heat pipe, heat pump and recirculation [7]



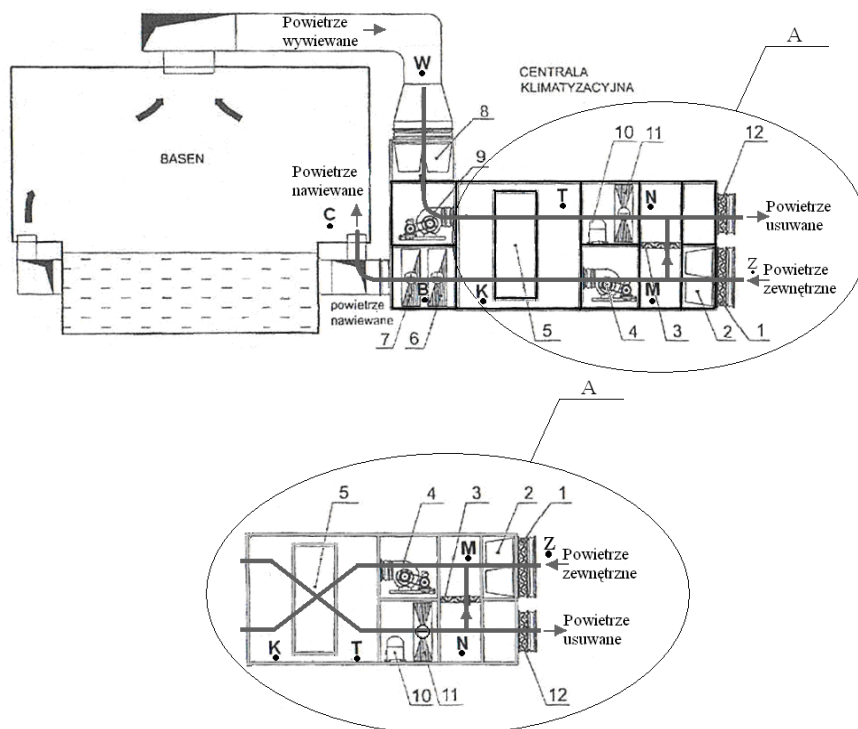
Rys. 8. Basenowa centrala klimatyzacyjna z rurką ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [2]

Fig. 8. Swimming pool air handling unit with heat pipe, heat pump and recirculation [2]



Rys. 9. Basenowa centrala klimatyzacyjna z rurką ciepła, pompą ciepła oraz recyrkulacją [8]

Fig.9 Swimming pool air handling unit with heat pipe, heat pump and recirculation [8]



Rys. 10. Schemat systemu klimatyzacji z wielostopniowym odzyskiem ciepła dla hal krytych pływalni

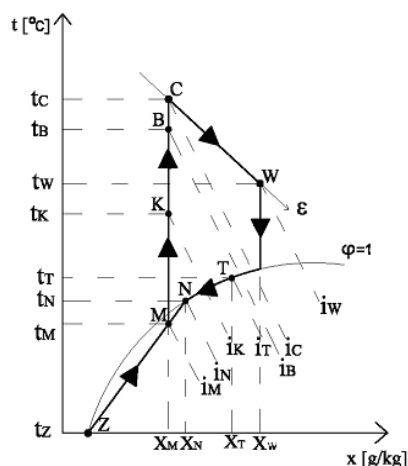
Fig. 10. Air - conditioning system for indoor swimming pools with multi – stage heat recovery

udziale powietrza zewnętrznego oraz przy maksymalnym wykorzystaniu ciepła i wilgoci ze strumienia usuwanego z hali.

Dane wyjściowe (okres zimowy):

- parametry powietrza zewnętrznego wg normy PN-78/B-03420 [9]:
 - temperatura powietrza na termometrze suchym – t_z , °C,
 - wilgotność względna – ϕ_z , %,
- parametry powietrza wewnętrznego w hali basenowej:
 - temperatura powietrza wewnętrznego – t_w , °C,
 - wilgotność względna – ϕ_w , %,
- parametry technologiczne (określane dla danego obiektu):
 - zyski ciepła całkowitego – ΔQ_C , kW,
 - zyski ciepła jawnego – Q_j , kW,
 - zyski wilgoci – W , kg/s,

- niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości – V_z , m^3/h .



Rys. 11. Przebieg zmian stanu powietrza wentylacyjnego na wykresie i-x powietrza wilgotnego w okresie zimowym

Fig. 11. Air conditioning processes on h - x chart for humid air during the winter

Na rysunku 11 zaznaczono procesy: WT – chłodzenie powietrza wywiewanego na krzyżowym wymienniku ciepła, TN – chłodzenie i osuszanie powietrza na parowniku pompy ciepła, NZ – mieszanie powietrza obiegowego z powietrzem zewnętrznym, MK – ogrzewanie powietrza na krzyżowym wymienniku ciepła, KB – ogrzewanie przez skraplacz pompy ciepła, BC – ogrzewanie powietrza przez nagrzewnicę wodną, CW – zmiana stanu powietrza w pomieszczeniu. Punkt M określa stan powietrza po wymieszaniu w komorze mieszania powietrza recyrkulacyjnego z powietrzem zewnętrznym V_z .

Projektowanie procesów obróbki powietrza dla schematu systemu klimatyzacji z wielostopniowym odzyskiem ciepła na rys. 10 zaczynamy od naniesienia na wykres i-x powietrza wilgotnego (rys. 11) punktu opisującego stan powietrza zewnętrznego Z (t_z, ϕ_z), oraz wewnętrznego W (t_w, ϕ_w). W kolejnym kroku zakładamy temperaturę nawiewu, która ze względów higienicznych powinna wynosić nie więcej niż 40 – 45 °C. Punkt C, opisujący stan powietrza nawiewanego do hali, otrzymamy na przecięciu linii $t_c = \text{const}$ i współczynnika kierunkowego przemiany stanu powietrza ϵ , który przeprowadzamy przez punkt W:

$$\epsilon = \frac{Q_c}{W} \text{ [kJ/kg]}, \tag{1}$$

Następnie obliczamy ilość powietrza nawiewanego:

$$V = \frac{W}{\rho \cdot (x_w - x_c)} \text{ [m}^3\text{/h]}, \quad (2)$$

gdzie: x_w, x_c – zawartość wilgoci odczytana z rys. 11, kg/kg,
 ρ – gęstość powietrza, kg/m³.

Znając ilość powietrza zewnętrznego zalecanego ze względów higienicznych oraz całkowitą ilość powietrza wentylacyjnego możemy określić stosunek długości odcinków ZM i MN na linii ZN opisujących proces mieszania się tych strumieni:

$$\frac{|NM|}{|ZN|} = \frac{V_z}{V}, \quad (3)$$

Zawartość wilgoci w punkcie C określa zawartość wilgoci w punkcie M. Teoretyczny proces odzysku ciepła przy kondensacji pary wodnej w krzyżowym wymienniku ciepła zachodzi po linii $\phi = 100\%$. Biorąc pod uwagę wszystkie te dane oraz miejsce usytuowania punktu Z w sposób geometryczny znajdujemy położenie punktu M (stan mieszania powietrza zewnętrznego i recyrkulowanego) oraz punktu N (stan powietrza wywiewanego za parownikiem pompy ciepła), budując linię ZN tak, żeby został spełniony warunek (3) oraz żeby punkt N leżał na linii $\phi = 100\%$.

Z założonej sprawności odzysku ciepła na wymienniku krzyżowym (średniej dla wymienników krzyżowych $\eta = 60\%$) określamy położenie punktu K (stan powietrza nawiewanego za wymiennikiem ciepła):

$$\eta = \frac{i_K - i_M}{i_W - i_M} \cdot \frac{V_1}{V_2} \text{ [%]}, \quad V_1 = V_2,$$

gdzie: η – sprawność temperaturowa odzysku ciepła wymiennika krzyżowego, %,
 i_M, i_W – entalpia odczytana z wykresu i-x powietrza wilgotnego (rys. 11), kJ/kg,
 V_1 – ilość powietrza nawiewanego, m³/h,
 V_2 – ilość powietrza wywiewanego, m³/h.

Po przekształceniu otrzymuje on postać:

$$i_K = i_M + \eta \cdot (i_W - i_M) \text{ [kJ/kg]}, \quad (4)$$

Położenie punktu K otrzymamy na przecięciu się prostej $i_k = \text{const}$ z prostą $x_c = \text{const}$. Punkt T wyznaczymy z bilansu cieplnego:

$$i_K - i_M = i_W - i_T.$$

Po przekształceniu:

$$i_T = i_W - i_K + i_M \text{ [kJ/kg]}, \quad (5)$$

Punkt T (stan powietrza wywiewanego po schłodzeniu na wymienniku ciepła) powstanie na przecięciu linii $\phi = 100\%$ z prostą $i_T = \text{const}$.

W kolejnym kroku wyznaczamy moc parownika pompy ciepła (11, rys. 10):

$$Q_{P,PC} = V \cdot \rho \cdot (i_T - i_N) \text{ [kW]}, \quad (6)$$

gdzie: i_M, i_W – entalpia odczytana z wykresu i-x powietrza wilgotnego (rys. 11), kJ/kg,

Określenie parametrów powietrza po wstępnym ogrzaniu (punktu B) wymaga obliczenia mocy skraplacza pompy ciepła (6, rys. 10) z zależności [10]:

$$Q_{Sk} = Q_{P,PC} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \text{ [kW]}, \quad (7)$$

gdzie: ε – współczynnik wydajności grzewczej (cieplnej) pompy ciepła [11].

Temperaturę w punkcie B określamy ze wzoru:

$$t_B = \frac{Q_{Sk}}{V \cdot \rho \cdot c} + t_K \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad (8)$$

Jeżeli $t_B > t_C$ nagrzewnica wodna (7, rys. 10) nie pracuje. Gdy $t_B < t_C$ nagrzewnica wodna będzie pracować z mocą cieplną:

$$Q_N = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_C - t_B) \text{ [kW]}, \quad (9)$$

Moc sprężarki obliczamy z zależności [10]:

$$N = \frac{Q_{P,PC}}{\varepsilon - 1} \text{ [kW]}. \quad (10)$$

4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Dane wyjściowe (okres zimowy):

- a) parametry powietrza zewnętrznego wg normy PN-78/B-03420 [9]:
 - temperatura powietrza na termometrze suchym – $t_z = -20$ °C,
 - wilgotność względna – $\varphi_z = 100$ %,
 - entalpia właściwa powietrza – $i_z = -18,4$ kJ/kg,
 - zawartość wilgoci – $x_z = 0,8$ g/kg,
- b) parametry powietrza wewnętrznego w hali basenowej [13]:
 - temperatura powietrza wewnętrznego – $t_w = 30$ °C,
 - wilgotność względna – $\varphi_w = 60$ %,
- c) parametry technologiczne [13]:
 - zyski ciepła całkowitego – $\Delta Q_C = 46,4$ kW,
 - straty ciepła jawnego – $Q_j = 47,4$ kW,
 - zyski wilgoci – $W = 132,3$ kg/h,
 - niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości (w przeliczeniu na jednostkę powierzchni, na 1 m^2 powierzchni lustra basenu przypada $10 \text{ m}^3/\text{h}$ świeżego powietrza) [12] -
 $V_Z = 363,4 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^2 = 3634 \text{ m}^3/\text{h}$.

Według zależności (1):

$$\varepsilon = \frac{46,4kW}{132,3kg/h} = 1260 \text{ kJ/kg.}$$

Następnie z zależności (2) obliczamy ilość powietrza nawiewanego, gdzie z rys. 12: $x_w = 0,0159 \text{ kg/kg}$, $x_c = 0,0119 \text{ kg/kg}$, $\rho = 1,18 \text{ kg/m}^3$:

$$V = \frac{132,3kg/h}{1,18kg/m^3 \cdot (0,0159kg/kg - 0,0119kg/kg)} \approx 28000m^3/h = 7,76 m^3/s.$$

Znając ilość powietrza zewnętrznego zalecanego ze względów higienicznych oraz całkowitą ilość powietrza wentylacyjnego możemy określić stosunek długości odcinków ZM i MN na linii ZN opisujących proces mieszania się tych strumieni (wzór 3):

$$\frac{|NM|}{|ZN|} = \frac{V_z}{V} = \frac{3634}{28000} = 0,13.$$

W sposób geometryczny znajdujemy położenie punktu M (stan mieszania powietrza zewnętrznego i recyrkulowanego) oraz punktu N (stan powietrza wywiewanego za parownikiem pompy ciepła), budując linię ZN tak, aby został spełniony warunek (3) oraz żeby punkt N leżał na linii $\varphi = 100 \%$.

Zakładając sprawności odzysku ciepła wymiennika krzyżowego równą 60 % określamy położenie punktu K (zależność 4) odczytując z wykresu i-x powietrza wilgotnego na rys. 12: $i_w = 71 \text{ kJ/kg}$, $i_M = 43 \text{ kJ/kg}$:

$$i_K = 43kJ/kg + 0,6 \cdot (71kJ/kg - 43kJ/kg) = 59,8 \text{ kJ/kg.}$$

Położenie punktu K otrzymamy na przecięciu się prostej $i_K = 59,8 \text{ kJ/kg}$ z prostą $x_c = 11,9 \text{ g/kg}$. Punkt T wyznaczymy z bilansu cieplnego (wzór 5):

$$i_T = 71kJ/kg - 59,8kJ/kg + 43kJ/kg = 54,2 \text{ kJ/kg.}$$

Punkt T (stan powietrza wywiewanego po schłodzeniu na wymienniku ciepła) powstanie na przecięciu linii $\varphi = 100 \%$ z prostą $i_T = 54,2 \text{ kJ/kg}$.

W kolejnym kroku wyznaczamy mocy parownika pompy ciepła (11, rys. 10) ze wzoru (6), przyjmując dane z wykresu i-x powietrza wilgotnego na rys. 12: $i_T = 54,2 \text{ kJ/kg}$, $i_N = 52,2 \text{ kJ/kg}$:

$$Q_{p,PC} = 7,75m^3/s \cdot 1,18kg/m^3 \cdot (54,2kJ/kg - 52,2kJ/kg) = 18,29kW.$$

Określenie parametrów powietrza po wstępnym ogrzaniu (punktu B) wymaga obliczenia mocy skraplacza pompy ciepła (6, rys. 10) z zależności (7), współczynnik wydajności grzewczej (cieplnej) pompy ciepła $\varepsilon = 5$ [11]:

$$Q_{skr} = 18,29kW \cdot \frac{5}{5-1} = 22,86 \text{ kW.}$$

Temperaturę w punkcie B określamy ze wzoru (8) odczytując z wykresu i-x powietrza wilgotnego (rys. 12) $t_K = 29,6 \text{ }^\circ\text{C}$:

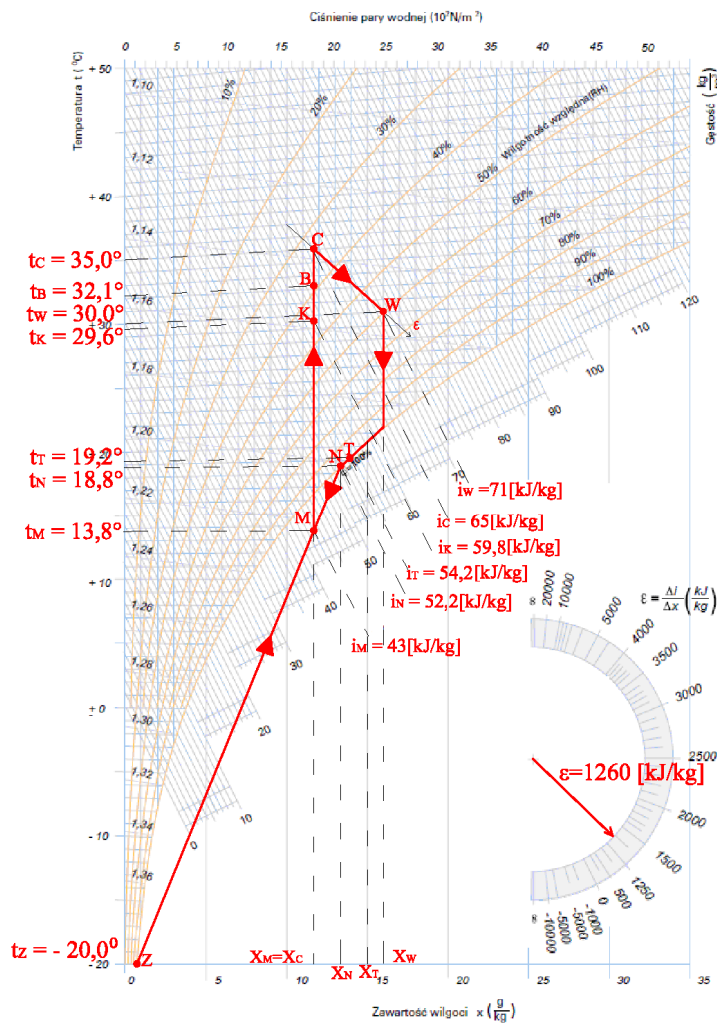
$$t_B = \frac{22,86kW}{7,75m^3/s \cdot 1,18kg/m^3 \cdot 1kJ/kg \cdot ^\circ\text{C}} + 29,6^\circ\text{C} = 32,1 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Ponieważ $t_B = 32,1\text{ }^\circ\text{C} < t_C = 35\text{ }^\circ\text{C}$ nagrzewnica wodna (7, rys. 10) będzie pracować z mocą cieplną z zależności (9):

$$Q_N = 7,75\text{m}^3 / \text{s} \cdot 1,18\text{kg} / \text{m}^3 \cdot 1\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (35^\circ\text{C} - 32,1^\circ\text{C}) = 26,52\text{ kW}.$$

Moc sprężarki obliczamy ze wzoru (10):

$$N = \frac{18,29\text{kW}}{5-1} = 4,57\text{ kW}.$$



Rys. 12. Przebieg zmian stanu powietrza na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego dla okresu zimowego

Rys. 12. Air conditioning processes on a Mollier $h-x$ diagram for humid air during the winter

5. PODSUMOWANIE

Omówiono dostępne na rynku basenowe centrale klimatyzacyjne różnych producentów z trzystopniowym odzyskiem ciepła. Po przeanalizowaniu przedstawionych urządzeń klimatyzacyjnych stwierdzono, że pomimo różnic konstrukcyjnych (różnych rekuperatorów) każdy z nich pracuje w takim samym cyklu ogrzewania i osuszania powietrza w okresie kąpielowym przy niskich temperaturach zewnętrznych (okresie zimowym). Przedstawiono wstępną metodę projektowania zmian stanu powietrza na wykresie i-x powietrza wilgotnego w okresie zimowym dla systemów klimatyzacji krytej pływalni basenowej z trzystopniowym odzyskiem ciepła (rekuperator, pompa ciepła, recyrkulacja) wraz z przykładem obliczeniowym. Opracowana metoda uzdatniania powietrza może być wykorzystane przez przyszłych projektantów basenowych instalacji klimatyzacyjnych.

6. LITERATURA

- [1] Katalog firmy Dantherm 01; Informacje ogólne DanX – XWP – odzysk ciepła,
- [2] Katalog techniczny firmy Clima Gold; Centrale klimatyzacyjne i wentylacyjne, 2008,
- [3] Katalog firmy Frampol; Centrale wentylacyjne AF wykonanie basenowe, 2008,
- [4] Katalog techniczny firmy Robatherm; Air Handling Systems for Indoor Pools , 2011,
- [5] Katalog techniczny firmy Clima – Produkt; Centrale wentylacyjne basenowe NEPTUN, 2003,
- [6] Katalog techniczny firmy Menerga; Centrala klimatyzacyjna z trzystopniowym odzyskiem ciepła dla hal basenowych typ 27 ... ThermoCond SolVent, 2003,
- [7] Katalog produktów firmy VBW Engineering; Centrale wentylacyjne basenowe Okeanos, Gdynia 2004,
- [8] Katalog firmy GEA; GEA CAIRfricostar, 2009,
- [9] PN-76/B-3420; Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego,
- [10] Rubik M.; Pompy ciepła, Technika instalacyjna w budownictwie, Warszawa 2000,
- [11] Zalewski W.; Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne, MASTA, 2001,
- [12] Jaskólski M., Milewicz Z.; Wentylacja hal krytych pływalni, MASTA, Gdańsk 2000.

ANALYSIS OF CONDITIONING SWIMMING POOLS AIR HANDLING UNITS WITH TREE - STAGE HEAT RECOVERY DURING THE WINTER OPERATION

SUMMARY

This paper presents the working principle of swimming pool air handling unit with three - stage heat recovery during the winter. Analyzed air operation on the i-x chart for humid air with the cooperation of all elements of AHU's. The author presented the method of designing an air - conditioning system using the heat pump, cross-flow heat exchanger and air recirculation along with a computational example.

Danuta PROSZAK- MIĄSIK, dr inż.
Sławomir RABCZAK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
e-mail: dproszak@prz.edu.pl

EKONOMICZNE ASPEKTY SYSTEMÓW WYTWARZANIA CIEPŁEJ WODY WSPOMAGANE ENERGIĄ SŁONECZNĄ DLA BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH

STRESZCZENIE

Obecnie duży nacisk kładzie się na rozwój instalacji wspomaganych źródłami odnawialnymi. W Polsce, w przypadku instalacji podgrzewu wody dla małych gospodarstw jest najczęściej wykorzystywana energia słoneczna. Przyjmuje się, iż kolektory słoneczne w Polsce wytwarzają rocznie 24 PJ energii na potrzeby podgrzewania wody użytkowej. Rokrocznie ta wartość rośnie ze względu na możliwość uzyskania dofinansowania tego typu instalacji. W referacie przedstawiono sposoby wykorzystania energii słonecznej w niewielkich instalacjach c.w.u. Pokazano przykład tego typu instalacji, jak również pokazano ekonomiczne aspekty zastosowania tego typu instalacji.

1. WPROWADZENIE

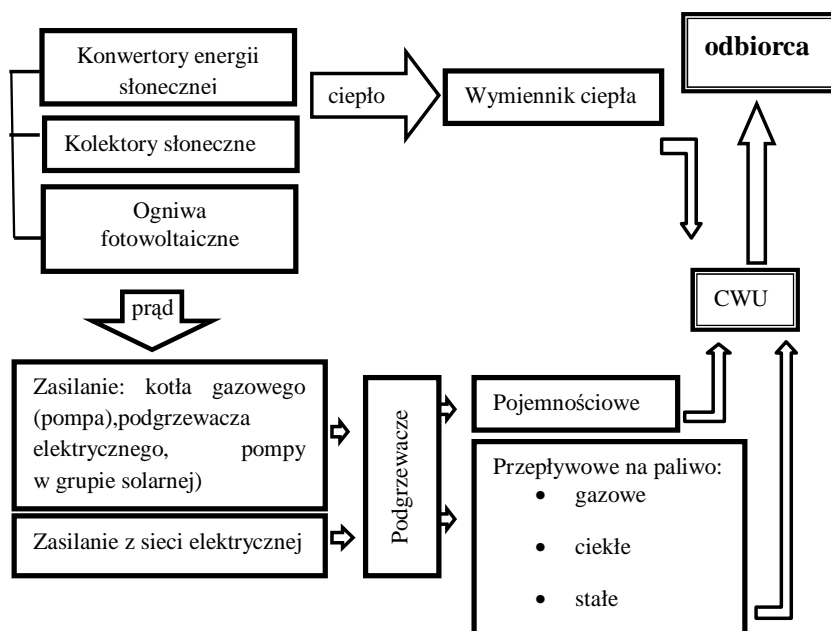
Obecnie na rynku paliwa tradycje drożeją w zastraszającym tempie, kolejna podwyżka gazu o 10% jak i wzrost cen oleju i innych paliw powodują zwiększenie popytu na instalacje wykorzystujące źródła odnawialne. Ze względu na przystępną cenę, łatwość montażu i możliwość dofinansowania- najczęściej montowane są instalacje z kolektorami słonecznymi.

2. SYSTEMY PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY

Instalacje ciepłej wody użytkowej możemy podzielić ze względu na źródło ciepła na:

- a) konwencjonalne urządzenia wspomagane energią odnawialną,
- b) urządzenia tradycyjne: kotły, podgrzewacze,
- c) indywidualne węzły ciepłne.

Wybór konkretnego sposobu uzależniony jest od dostępu budynku do odpowiednich źródeł energii. Jednym z tradycyjnych rozwiązań używanych w budynkach jednorodzinnych do ogrzewania wody użytkowej jest podgrzewacz, który może być zasilany gazem, prądem, paliwami stałymi lub też olejem opałowym w zależności od mediów dostępnych do budynku. Aby zmniejszyć zużycie danego medium, łączy się tradycyjny system z urządzeniami wykorzystującymi energię odnawialną. Do podstawowych źródeł energii odnawialnej zaliczamy: energię wiatru, słońca, powietrza, biomasy, wody i geotermalną [4]. W przypadku instalacji ciepłej wody, energia czerpana ze słońca jest najczęściej stosowanym dodatkowym źródłem energii w Polsce. Do głównych przetworników promieniowania słonecznego należą: kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne. Metody ogrzewania wody za pomocą źródeł tradycyjnych i niekonwencjonalnych z wykorzystaniem energii słonecznej pokazano na rys.1.



Rys.1. Układy wykorzystujące energię słońca stosowane do wytwarzania ciepłej wody.

Fig.1. Arrangements exploiting the solar energy to hot water production.

Korzystając z kolektorów słonecznych najkrótszą drogą otrzymujemy ciepło do podgrzania wody, natomiast ogniwa fotowoltaiczne przetwarzają energię słoneczną na energię elektryczną, którą możemy wykorzystać do zasilania podgrzewaczy elektrycznych lub do zasilania pompy grupy solarnej czy też pompy w kotłach gazowych, ale jest to o wiele droższe rozwiązanie. Dlatego najpopularniejsze są kolektory słoneczne. Trzeba jednak pamiętać, że oba rozwiązania w ciągu całego roku nie pokryją nam całkowitego zapotrzebowania na c.w.u. i wymagają współpracy z konwencjonalnymi podgrzewaczami wody. Rozwiązaniem może być zastosowanie zasobników, ale ich ograniczona pojemność również może wpływać na niedobór potrzebnej ilości ciepłej wody.

Praca kolektorów i ilość wytworzonego ciepła zależy przede wszystkim od 2 parametrów:

- 1) nasłonecznienia regionu,
- 2) rodzaju zastosowanych kolektorów.

ad 1) nasłonecznienie regionu

Promieniowanie słoneczne jest to strumień energii emitowany przez Słońce równomiernie we wszystkich kierunkach. W trakcie przechodzenia przez atmosferę ziemską promieniowanie słoneczne ulega osłabieniu na skutek pochłaniania, odbicia i rozproszenia w atmosferze. Strumień promieniowania, który dociera na ziemię składa się z promieniowania bezpośredniego, jak i promieniowania rozproszonego. Najważniejsze jest promieniowanie bezpośrednie, którego wielkość zależy nie tylko od natężenia promieniowania słonecznego, a więc szerokości geograficznej punktu obserwacji, a także jego wysokości nad poziomem morza. Przyjmuje się, że roczna gęstość promieniowania na obszarze w Polsce na płaską powierzchnię mieści się w przedziale 930-1250 kWh/m²a i zależna jest od zachmurzenia i pory roku. Średnia liczba słonecznych godzin to około 1500-1600 h/rok. Około 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia przypada na sześć miesięcy sezonu wiosenno-letniego, od początku kwietnia do końca września, przy czym czas operacji słonecznej w lecie wydłuża się do 16 godz/dzień, natomiast w zimie skraca się do 8 godzin dziennie. Rzeszów jest położony w strefie korzystnych warunków słonecznych. Suma rocznego promieniowania przewyższa 1060 kWh/m². Usłonecznienie jest powyżej 1800 godzin rocznie [1].

ad 2) kolektory słoneczne

Najpopularniejszymi urządzeniami do konwersji energii promieniowania słonecznego na ciepło są kolektory słoneczne. Energia docierająca do kolektora służy do produkcji nośnika ciepła, którym może być ciecz (glikol, woda) lub gaz (np. powietrze).

Podstawowy podział kolektorów stosowanych najczęściej obejmuje kolektory:

- płaskie (aktywne), które absorbują promienie słoneczne poprzez powłokę z blachy miedzianej; po spodniej stronie kolektora płaskiego zamontowane są kanały przepływowe, w których krąży niezamarzająca ciecz odbierająca ciepło; całość umieszczona jest w aluminiowej oprawie, która od spodu izolowana jest wełną mineralną lub poliuretanem. Od góry obudowa przykryta jest hartowanym szkłem odpornym na uszkodzenia mechaniczne np. grad. W płaskich kolektorach słonecznych, o możliwości przetwarzania energii promieniowania słonecznego na ciepło użyteczne decyduje promieniowanie całkowite, dochodzące ze wszystkich kierunków półsfery. Na promieniowanie całkowite składa się promieniowanie bezpośrednie o długości fali zawierające się w przedziale 0,30 - 2,5 μm oraz długofalowe promieniowanie rozproszone (dyfuzyjne) powstałe w wyniku załamania, odbicia i częściowego pochłaniania promieniowania bezpośredniego w atmosferze ziemskiej [3].
- rurowo-próżniowe (pasywne) - wykonane z dwóch rur szklanych połączonych ze sobą i oddzielonych próżnią, która pełni rolę izolatora; wewnętrzną rurę szklaną pokrywa się od strony próżni powłoką absorpcyjną. Próżnia zapewnia doskonałą przenikalność promieniowania słonecznego do absorbera i minimalną emisję promieniowania cieplnego z nagrzanego absorbera do otoczenia. Wewnątrz rury próżniowej znajduje się aluminiowy radiator i rurka cieplna zakończona kondensatorem, które odbierają ciepło z absorbera. W rurce cieplnej znajduje się niewielka ilość płynu niezamarzającego

i parującego w temperaturze 20 -27 °C (w zależności od użytego płynu), co zapewnia pozyskanie energii słonecznej nawet w dni pochmurne. Wytworzona para zbiera się w kondensatorze rurki ciepłej umieszczonym w wymienniku ciepła. Przez wymiennik ciepła przepływa pośredni czynnik grzewczy, który odbierając ciepło z kondensatora powoduje skroplenie pary a kondensat wraca do rurki ciepłej i cały proces powtarza się od nowa. Dzięki takiej pracy sprawność kolektora próżniowego jest o nawet o 30% większa od kolektora płaskiego.

Sprawność energetyczna kolektora- jest to stosunek ilości ciepła odprowadzonego przez czynnik roboczy z kolektora do sumy promieniowania docierającego do powierzchni przykrycia kolektora w określonym czasie [1]. Dlatego uzyskana przez kolektor energia użytkowa zależy od wielu czynników, najważniejsze z nich to :

- a) roczna wartość insolacji,
- b) kąt pochylenia i ukierunkowania kolektora.

ad a) wartość nasłonecznienia (insolacji) - wyraża ilość energii słonecznej padającej na jednostkę powierzchni płaszczyzny w określonym czasie. Wartość ta zależy od rejonu Polski i wynosi w skali roku od 850 kWh/m do 1100 kWh/m.

ad b) dla uzyskania optymalnego odbierania energii przez kolektory, konieczne jest ich ustawienie w kierunku do słońca. Optymalny kąt pochylenia zależy od okresu ekspozycji kolektora, który zimą powinien wynosić 60°, a latem 30°. W praktyce, jako zalecany przyjmuje się kąt pochylenia około 45°. Drugim parametrem dla ustawienia kolektora jest azymut, który nie powinien odbiegać od 0° (kierunek południowy). Nie zawsze jest to możliwe, dlatego dopuszcza się odchylenie od kierunku południowego do 45°[2].

3. TYPOWA INSTALACJA C.W.U. WSPÓŁPRACUJĄCA Z KOLEKTOREM

Całodzienne zapotrzebowanie na ciepłą wodę dla 1 osoby wynosi 50 l/dobę. Cztero osobowa rodzina zużywa średnio 200 l dziennie wody o temperaturze 45°C na osobę. Temperatura wody w sieci to 10°C. Oznacza to, że codziennie podgrzewamy $V=0,2$ [m³] wody o $\Delta T=35$ °[K]. Zakładając gęstość wody $\rho=995,7$ [kg/m³] masa wody wynosi[4]:

$$m = \rho \cdot V = 995,7 \cdot 0,2 = 199,14 \text{ [kg/ dobę]}, \quad (1)$$

stąd potrzebną energię obliczymy ze wzoru:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 199,14 \cdot 4,19 \cdot 35 = 29203,88 \text{ [kJ/ dobę]}, \quad (2)$$

gdzie: c_p - ciepło właściwe wody; $c_p=4,19$ [kJ/(kg·K)], zamieniamy to na kWh czyli: $29203,88 \div 3600 = 8,11$ [kWh].

Straty ciepła w rurach, zasobniku i pozostałych elementów przyjęto 1 kWh. Zatem:

$$F_C = n \cdot F_{kol} = 4 \cdot 1,2 = 4,8 \text{ [m}^2\text{]} \quad (3)$$

gdzie: n- liczba mieszkańców, F_{kol} - wymagana powierzchnia absorbera, m²/osobę.

Dobrano 2 kolektory słoneczne typu Vitosol, o powierzchni 2,5 m². Kolektory te współpracują z podgrzewaczem solarnym.

Całkowita objętość podgrzewacza solarnego z uwzględnieniem zapotrzebowania na wodę na okres 2 dni:

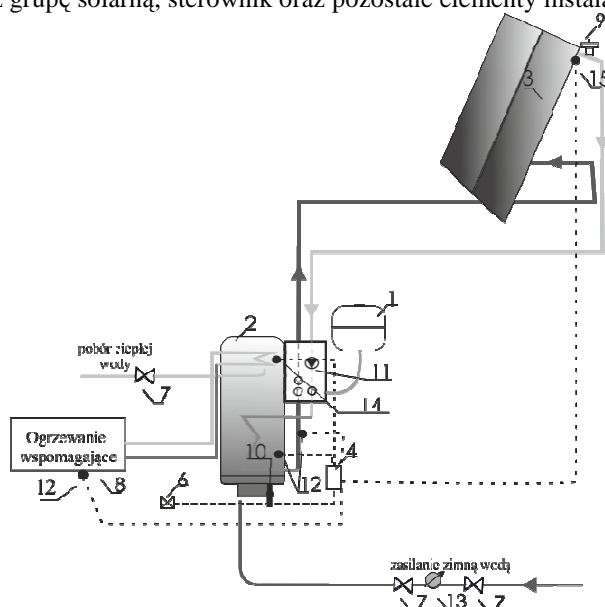
$$V_{min} = \frac{\tau \cdot V_{c.w.u.} \cdot n \cdot (T_{p.c.w.u.} - T_s)}{(T_{c.w.u.} - T_s)}, \quad (4)$$

gdzie: τ -okres na jaki ma z akumulować ciepłą wodę podgrzewacz, $V_{c.w.u.}$ -jednostkowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę [dm³/osobę], $T_{p.c.w.u.}$ - temperatura wody w punkcie poboru [°C], T_s - temperatura wody sieciowej [°C], $T_{c.w.u.}$ - temperatura cwu w podgrzewaczu [°C], stąd:

$$V_{min} = (2 \cdot 50 \cdot 4 \cdot (45 - 10)) / ((60 - 10)) = 280 \text{ [dm}^3\text{]}.$$

Dobrano pojemnościowy podgrzewacz wody o pojemności 300 l.

Dobrano również grupę solarną, sterownik oraz pozostałe elementy instalacji (rys. 2).



Rys. 2. Schemat instalacji c.w.u. wspomaganej kolektorami: 1. Naczynie wzbiornicze, 2. Zasobnik 300l, 3. Kolektory płaskie, 4. Sterownik typu DeltaSol, 5. Ciepłomierz, 6. Gniazdo zasilające 230V/50Hz, 7. Zawór odcinający, 8. Ogrzewanie wspomagające, 9. Zawór odpowietrzający DN 15, 10. Zawór bezpieczeństwa DN 15, 11. Grupa solarna typu FV 70, 12. Czujnik temperatury, 13. Wodomierz, 14. Czujnik temp. wody pobieranej przez użytkownika, 15. Czujnik temp. absorbera.

Fig.2. Schema of hot water installation with solar collectors: 1. vessel, 2. Storage container of 300 l, 3. Flat solar panels, 4. Driver of the type DeltaSol, 5. Heat meter, 6. Powering nest 230 V/ of 50 Hz, 7. Stopcock, 8. Supporting heating, 9. Bleed valve, 10. Safety valve, 11. Solar group of the type FV 70, 12. Temperature sensor, 13. Water meter, 14. Temperature sensor of water taken by the user, 15. Temperature sensor of absorber.

4. ZWROT KOSZTÓW INWESTYCJI

Obliczenia wykonano przy założeniu, iż 40% ciepłej wody będzie podgrzewana przez kolektory do żądanej temperatury. W rzeczywistości parametry ciepłej wody będą zależały od warunków meteorologicznych i będą zmienne w ciągu roku.

Cena energii elektrycznej (EE) w 2011 roku w Rzeszowie w taryfie G11[5] wynosiła 0,2703 PLN brutto za kWh a sprawność systemu uwzględniając straty przesyłu i akumulacji $\eta=0,47$, stąd:

$$EE_{G11} = (9,11 \cdot 0,2703) \div 0,47 = 5,24 \text{ PLN/kWh}, \quad (5)$$

co daje rocznie 1912,6 PLN. Wykorzystując kolektory słoneczne można uzyskać do 60% ciepłej wody z energii słonecznej, w takim przypadku energia elektryczna pokryje nam do 40% potrzeb. Więc:

$$EE_{G11} = 1912,4 \cdot 0,4 = 764,96 \text{ PLN/rok}, \quad (6)$$

i jest to roczny koszt za energię elektryczną na przygotowania c. w. u. Jeżeli będziemy posiadać kolektory słoneczne, dzięki temu oszczędzamy:

$$EE_{G11} = 1912,4 - 764,96 = 1147 \text{ PLN/rok}. \quad (7)$$

Uwzględnić również musimy koszty związane z funkcjonowaniem kolektorów:

- koszt energii elektrycznej - pompka obiegowa pobiera ok. 0,04 kW na godzinę. Średni roczny koszt pracy instalacji słonecznej - 45 zł.
- raz w roku - zalecany przegląd instalacji obejmujący, sprawdzenie ciśnienia i szczelności instalacji, wyregulowanie pompy obiegowej, czyszczenie powierzchni kolektora (w celu uniknięcia strat), sprawdzenie anody zapobiegającej korozji w zbiorniku - 250-350 zł.
- uzupełnienie płynu solarnego – 30 zł
- raz na 5-8 lat - wymiana płynu solarnego - 200 zł + płyn.

Rocznie koszty eksploatacji to 375 zł/rok. Zatem oszczędności wynoszą:

$$O = 1147 - 375 = 772 \text{ zł/rok}, \quad (8)$$

gdzie: O- oszczędności wynikające z założenia kolektorów

Zakładając dla 4 osobowej rodziny koszt całkowity instalacji równy 10000 PLN, inwestycja zwróci się po:

$$t = 10000 \div 772 \approx 13 \text{ latach}. \quad (9)$$

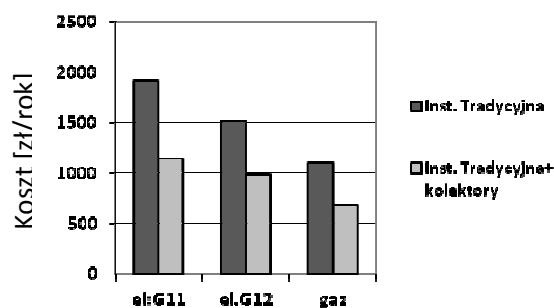
Można jeszcze rozważyć rozliczanie się za energię elektryczną w taryfie G12, gdzie buforowy podgrzewacz c. w. u. sterowany zegarem będzie jedynie korzystał z tańszej nocnej strefy. Wtedy to zakup jednej kWh wynosi 0,21 PLN brutto. I wtedy mamy:

$$EE_{G12} = (9,11 \cdot 0,21) \div 0,46 = 4,16 \text{ PLN}, \quad (10)$$

co daje rocznie 1518 PLN i zwrot kosztów po 9 latach. Jednak w przypadku kolektorów słonecznych zastosowanie taryfy G12 [5], ze względu na specyfikę pracy (dogrzew elektryczny w godzinach szczytu popołudniowego) wydaje się być nieuzasadnione ekonomicznie. Korzystanie z taryfy G12 musi być uzasadnione ogólnie wysokim zużyciem energii w okresie obowiązywania tańszej strefy. Podczas szczytu, kiedy zazwyczaj wszyscy używają najwięcej energii, w taryfie tej energia jest droga [5].

Można pomyśleć o zainstalowaniu ogniw fotowoltaicznych, ale instalacja dla budynku jednorodzinne o takiej mocy to koszt rzędu, 120000, więc czas zwrotu inwestycji byłby jeszcze dłuższy. Zamiast podgrzewacza elektrycznego można zastosować podgrzewacz

gazowy przepływowy- przy mocy 9 kW zużywa on 1,5 m³/h. Biorąc pod uwagę, że dziennie będzie podgrzewacz pracował średnio 2 godz. to rocznie zużycie gazu wyniesie 1095 m³/rok. Cena gazu to 0,71 PLN/m³, co nam daje średnio 780 zł kosztów rocznie za podgrzew wody. Jeżeli zainstalujemy kolektory, to tylko 40% ciepłej wody będzie podgrzewana przez podgrzewacz. Wtedy za gaz zapłacimy 310 zł, czyli zaoszczędzimy 784 zł. Inwestycja zwróci się po 15 latach. Uwzględniając kwotę na przegląd instalacji i eksploatację, czas ten może się dwukrotnie wydłużyć. Zestawienie kosztów wyprodukowania energii w różnych podgrzewaczach ciepłej wody pokazano na rys.3. Im droższa jest cena podgrzania 1m³ wody sieciowej do wymaganej temp. przez źródło tradycyjne, tym krótszy czas zwrotu kosztu instalacji solarnej.



Rys.3. Zestawienie kosztów za energię użytą do podgrzania wody na cele c.w.u. w ciągu roku przez podgrzewacz elektryczny (taryfa G11 i G12), podgrzewacz gazowy.

Fig. 3. Cost summary for consumed energy to hot water production in annual period for electric heater (G11 and G12 tariff) and for gas heater.

Jeżeli wybierzemy elektryczne urządzenie dogrzewające, to najbardziej opłacalny będzie wariant 1, mimo że zwrot kosztów nastąpi po 13 latach. Założenie taryfy G12 oznacza nocne zużywanie energii elektrycznej, co w przypadku kolektorów słonecznych jest kłopotliwe.

5. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie energii promieni słonecznych do przetworzenia w ciepło użytkowe daje nam niepowtarzalną okazję korzystania z darmowego paliwa. Niedrogie obecnie technologie wytwarzania kolektorów oraz zmniejszenie kosztów instalacji stwarza możliwości korzystania z niewyczerpalnego i darmowego źródła energii, jakim jest słońce. Duża część społeczeństwa dostrzegła już praktyczno-ekonomiczne oszczędności, jakie zapewnia użytkownikowi "ekologiczna instalacja". Dowodem tego są tysiące systemów zamontowanych przez inwestorów indywidualnych, jak i instytucjonalnych. Raz poczyniona inwestycja zmniejsza koszty energetyczne dla danego obiektu. Początkowo poniesione nakłady, rekompensują się i pozwalają obniżyć koszty średnio nawet o ok. 60% oszczędności związanych z rocznymi kosztami ponoszonymi na tradycyjne nośniki energii.

6. LITERATURA

- [1] Foit H., Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011
- [2] Bogadanienko J. , Odnawialne źródła energii, Warszawa 1979,
- [3] Weinberger H., Solar Energy, Elsevier 1986,
- [4] Klugmann- Radziemska E.; Odnawialne źródła energii, Gdańsk, 2009,
- [5] <http://pge-obrot.pl/start.aspx?id=14>.

ECONOMICS ASPECTS OF HOT WATER SOLAR ENERGY ASSISTED PRODUCTION SYSTEM IN SINGLE-FAMILY HOUSING

SUMMARY

More and more accent in present days is considered to development of installation cooperated with renewable energy sources. In Poland, most common system to hot water production, especially in domestic sector based on solar energy. The annual energy consumption to hot water in Poland is assumed on 24 PJ and is increasing due to subsidize from European Union for such kind of installation. The method of solar system application for small hot water installation has been presented in the article. The main examples used in real condition and their economical aspects have been described.

Krzysztof PYTEL, dr inż.
Agnieszka KŁOS, mgr inż.

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie
Instytut Techniki
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków
e-mail: kpytel@up.krakow.pl

OPLACALNOŚĆ WYKORZYSTANIA SŁONECZNEJ INSTALACJI GRZEWCZEJ CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ W BUDYNKU JEDNORODZINNYM

STRESZCZENIE

W publikacji przedstawiono analizę rentowności wykorzystania kolektorów słonecznych do produkcji ciepłej wody użytkowej w budynku jednorodzinnym. Zaprezentowano mocne i słabe strony wykorzystania instalacji solarnych. Uzyskane wyniki wskazują na opłacalność montowania instalacji solarnej dla wybranych wariantów obliczeniowych w domach jednorodzinnych. Przedstawione wskaźniki ekonomiczne sugerują możliwość zaangażowania w wykorzystanie proekologicznych rozwiązań. Bezobsługowość i bezemisyjność pracy instalacji to dodatkowe istotne aspekty wpływające na wartość ekologiczną przedsięwzięcia uwzględniającą koszty społeczne wykorzystania wybranego odnawialnego zasobu energetycznego.

1. WPROWADZENIE

Dostęp do energii jest istotnym bodźcem decydującym o rozwoju społeczeństw, nierozzerwalnie wiążącym się z postępem technicznym, poziomem życia oraz rozwojem gospodarczym. Szacuje się, że mieszkańcy Ameryki Północnej, Japonii oraz Unii Europejskiej zużywają około 60% dostępnej na rynku energii, która w znacznej większości uzyskiwana jest z paliw kopalnych. Pod względem ekologicznym korzystanie z konwencjonalnych źródeł energii ciągle jeszcze wpływa niekorzystnie na stan środowiska przyrodniczego. Pogarszający się jego stan wywołany przez zanieczyszczenie atmosfery, gleby, wody, emisję gazów cieplarnianych oddziałuje negatywnie na zdrowie człowieka i stanowi przyczynę szeregu chorób. Kilkusetletnie uzależnienie od nieodnawialnych zasobów energii skutkujące postępującym kryzysem energetycznym dobitnie wskazuje na po-

trzebę korzystania ze źródeł odnawialnych. Racjonalne korzystanie z energii pochodzącej z tych źródeł stanowi jeden z elementów zrównoważonego rozwoju i pociąga za sobą korzystne efekty ekologiczne, energetyczne, przyczynia się do oszczędzania nieodnawialnych surowców energetycznych, wpływa na poprawę stanu środowiska [2].

Odnawialne źródła energii wykorzystują zasoby, które jedynie zmieniają swe natężenie. W najbliższych latach możemy spodziewać się dalszego rozwoju tych źródeł energii z uwagi na konieczność realizacji międzynarodowych zobowiązań dotyczących wzrostu udziału energii odnawialnej w ogólnym bilansie energetycznym oraz konieczność redukcji emisji CO₂.

Wśród odnawialnych zasobów energetycznych ważną rolę pełni najbardziej powszechna energia promieniowania słonecznego, dlatego w publikacji podjęto problematykę opłacalności zastosowania kolektorów słonecznych do produkcji ciepłej wody użytkowej w budynku jednorodinnym. Przeprowadzając analizy uwzględniono korzyści wynikające z bezobsługowej pracy instalacji oraz wskazano na ewentualne koszty i utrudnienia.

2. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO DO PRODUKCJI CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ W UKŁADACH Z ZESTAWEM SOLARNYM

Aktywność Polski w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii jest niewielka, co jest spowodowane m.in. bogatymi złożami węgla. Jednak członkostwo w strukturach Unii Europejskiej obliguje do korzystania z energii wytworzonej ze źródeł odnawialnych. Jednym z ważniejszych celów polityki Unii Europejskiej jest wspieranie rozwoju odnawialnych źródeł energii, a zgodnie z wytycznymi w Polsce w 2020 r. udział energii odnawialnej ma wynieść 15 [%] energii elektrycznej wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii w zużyciu energii elektrycznej brutto. Spośród wszystkich dostępnych odnawialnych zasobów energetycznych, największy potencjał wykazuje energia promieniowania słonecznego, której zasoby wielokrotnie przewyższają obecne światowe zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepłą, przy czym należy zauważyć, że realny potencjał energii słonecznej w Polsce wynosi ponad 83 000 [TJ] i jest wykorzystywany zaledwie w 0,18 [%].

Pozytywnym następstwem faktu, że zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii jest wpisane w strategię rozwoju wielu państw, jest rozwój technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, co w konsekwencji wpływa na ich dostępność dla indywidualnych odbiorców. Kolektory słoneczne są coraz powszechniej dostępne, a przez to coraz tańsze i cieszące się coraz większym zainteresowaniem użytkowników. Szacuje się, że instalacja do podgrzewania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) wykorzystująca kolektory słoneczne może pokryć około 60% rocznego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową na obszarze szerokości geograficznej Polski, przy czym ilość energii jest wyższa w okresie od maja do września i wynosi do 90 [%], natomiast w pozostałym okresie spada do około 30 [%]. Energia słoneczna wykorzystywana w budownictwie zapewnia ciepłą wodę użytkową a także podgrzaną wodę do instalacji centralnego ogrzewania.

Analizę opłacalności wykorzystania energii promieniowania słonecznego przeprowadzono dla wolnostojącego domu jednorodzinnego zamieszkałego przez cztery osoby, zlokalizowanego na obszarze małopolski (okolice Kraków-Balice). Założono, że kolektory

słoneczne zostaną zainstalowane tak, aby uzyskać optymalne kąty nachylenia płaszczyzn eksponowanych w kierunku południowym. Przy określaniu wielkości instalacji solarnej oszacowano wymaganą ilość ciepłej wody użytkowej dla jednej osoby na 50 [l/d] (35 ÷ 65 [l/d] [3]).

Oszacowano średnie dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową $q_{dśr}$:

$$q_{dśr} = U \cdot q_0 = 200 [l/d] \quad (1)$$

gdzie U to liczba użytkowników, q_u to dzienne zużycie c.w.u. przez 1 osobę. Przyjęto zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u. przy założeniu, że wodę ogrzewamy od temperatury 10 [°C] do temperatury 50 [°C] [3]:

$$Q_{hmax} = q_{hmax} \cdot c_w \cdot \rho \cdot (t_c - t_z) = 3,5 [kW] \quad (2)$$

gdzie q_{hmax} to maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę [m^3/s], c_w to ciepło właściwe wody (4,2 [kJ/kgK]), ρ to gęstość wody (1000 [kg/m^3]), t_c to obliczeniowa temperatura ciepłej wody (50 [°C]), t_z to obliczeniowa temperatura zimnej wody (10 [°C]). Obliczono sezonowe zapotrzebowanie na energię do potrzeb c.w.u.:

$$Q_{S-cwu} = \frac{q_{dśr} \cdot c_w \cdot \rho \cdot (t_c - t_z) \cdot k_t \cdot t_{UZ}}{1000 \cdot 3600} = 3439,1 [kWh] \quad (3)$$

gdzie k_t to mnożnik korekcyjny dla temperatury ciepłej wody innej niż 55 [°C] (przyjęto 1,12), t_{UZ} to czas użytkowania instalacji c.w.u. z uwzględnieniem przerw urlopowych i wyjazdów (przyjęto 0,9·365dni = 329dni), przyjęto 3600 jako współczynnik przeliczenia jednostek [kJ/kWh].

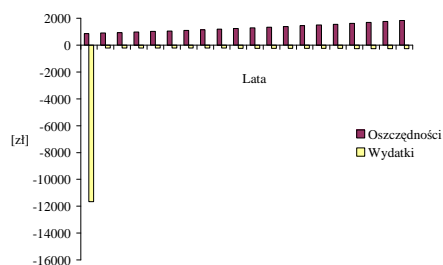
Tabela 1. Dane proponowanych do analizy kolektorów słonecznych
Table 1. Specifications of examined solar collectors

Typ		kolektor płaski	kolektor próżniowy
Powierzchnia brutto	[m ²]	2,51	4,34
Powierzchnia absorbera	[m ²]	2,32	3,02
Powierzchnia czynna absorbera	[m ²]	2,33	3,22
Wymiary zewnętrzne	szerokość	[mm]	2 129
	wysokość	[mm]	2 040
	głębokość	[mm]	145
Ciężar	[kg]	43	87
Powierzchnia brutto kolektora	[m ²]	5,02	4,34
Stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową	[%]	54	67

Obecnie na rynku dostępny jest szeroki wachlarz kolektorów słonecznych, różniących się typem, rodzajem absorbera, parametrami technicznymi, ceną. W analizach uwzględniono dwa markowe zestawy solarne jednego producenta różniące się budową i wydajnością

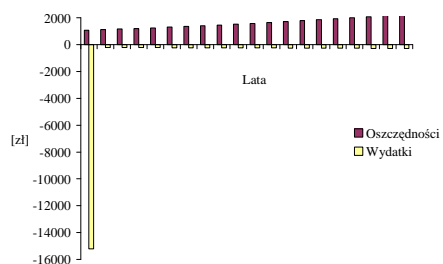
(Tabela 1). Założono wykorzystanie biwalentnego podgrzewacza c.w.u. o pojemności 1,5 - 2 razy większy niż dzienne zużycie wody. Zestawiono dwa układy składające się z dwóch kolektorów słonecznych, podgrzewacza c.w.u. o pojemności 300 [l] oraz wyposażone w niezbędne elementy instalacji solarnej wraz z zestawem do montażu kolektorów [4].

Podczas analizy opłacalności wykorzystania instalacji do produkcji c.w.u. wyposażonej w kolektory słoneczne uwzględniono koszty inwestycyjne oraz koszty eksploatacyjne. Spośród kosztach inwestycyjnych uwzględniono projekt instalacji, zakup kolektorów wraz z podgrzewaczem wody i niezbędnym oprzyrządowaniem oraz montaż kolektorów słonecznych wraz z aparaturą. Koszty eksploatacyjne uwzględniają koszty związane z utrzymaniem i konserwacją instalacji, koszty zużycia energii elektrycznej, koszty wymiany czynnika grzewczego, koszty związane z przeglądem instalacji, nie uwzględniają natomiast nieplanowanych napraw.



Rys. 1. Oszczędności i wydatki w poszczególnych latach inwestycji dla wariantów analizy dla kolektora płaskiego oraz zastępowanego paliwa w postaci energii elektrycznej

Fig. 1. The savings and spending in each year of investment for variants of analysis for flat-plate collectors and for the energy source to be replaced



Rys. 2. Oszczędności i wydatki w poszczególnych latach inwestycji dla wariantów analizy dla kolektora próżniowego oraz zastępowanego paliwa w postaci energii elektrycznej

Fig. 2. The savings and spending in each year of investment for variants of analysis evaluated-tube collectors and for the energy source to be replaced

Z dokonanych obliczeń wynika, że przy obecnych cenach paliw, największe oszczędności w skali roku przynosi zastąpienie przygotowania c.w.u. przy wykorzystaniu energii elektrycznej kolektorami słonecznymi. W przypadku zastosowania zestawu

z kolektorem płaskim uzyskano roczne oszczędności w wysokości 867 zł, natomiast dla zestawu z kolektorem próżniowym oszacowano na 1 068 zł. Porównując przygotowanie c.w.u. przez kolektory słoneczne zamiast przez olej opałowy oszacowano oszczędności roczne na około 807 zł dla zestawu z kolektorem płaskim oraz 993 zł dla zestawu z kolektorem próżniowym. Jeżeli inwestor decyduje się zastąpić instalację wykorzystującą gaz ziemny instalacją solarną, przy przygotowaniu c.w.u. uzyskuje roczne oszczędności w wysokości 393 zł dla zestawu z kolektorem płaskim oraz 484 zł dla zestawu z kolektorem próżniowym. Obliczenia wskazują na najmniej opłacalne zastępowanie instalacji opartej o węgiel kamienny przez instalację z kolektorami słonecznymi, gdyż w tym przypadku oszczędności wynoszą jedynie 207 zł dla zestawu z kolektorem płaskim oraz 254 zł dla zestawu z kolektorem próżniowym (w skali całego roku).

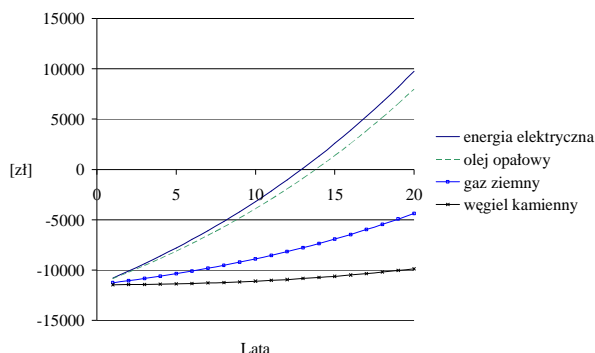
Kolektory słoneczne zlokalizowane na zewnątrz budynku narażone są na działanie czynników zewnętrznych, w tym duże różnice temperatur i opady atmosferyczne [5]. Jednocześnie przyjmuje się, że kolektory powinny charakteryzować się długoletnią trwałością (minimum 20 lat). Do analizy wybrano kolektory posiadające odpowiednie certyfikaty gwarantujące zakładaną trwałość. Istotnym czynnikiem, decydującym o wykorzystaniu energii słonecznej jest opłacalność finansowa [6]. Zakładając użytkowanie instalacji solarnej przez 20 lat, należy uwzględnić zmiany cen nośników energii. Poziom wzrostu tych wskaźników jest bardzo trudny do oszacowania, gdyż jest on zależny od wielu czynników, nie tylko gospodarczych. Jest jednak pewne, że ceny konwencjonalnych zasobów energetycznych będą rosnać. Dla potrzeb analizy przyjęto ostrożne oszacowanie wzrostu cen nośników energii w skali roku na poziomie 4 [%].

Stworzono model symulacyjny, w którym coroczne oszczędności wynikają z faktu zastępowania paliwa konwencjonalnego wykorzystywanego do przygotowania c.w.u. energią z instalacji solarnej. Przyjęto sprawność całkowitą systemu podgrzewu c.w.u. na poziomie 35 %. Oszczędności wzrastają w miarę upływu lat, ze względu na przyjęcie wskaźnika wzrostu cen paliwa konwencjonalnego. Pochodną wydatków i wysokości oszczędności w poszczególnych latach inwestycji są skumulowane przepływy pieniężne.

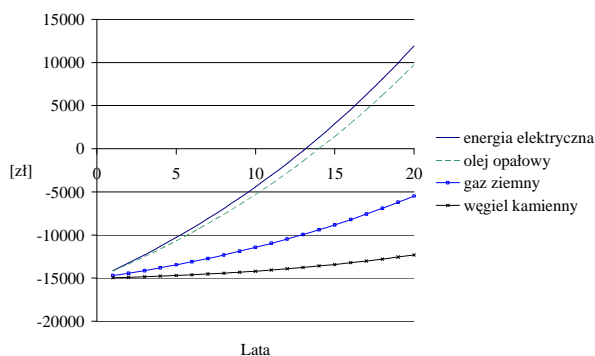
Tabela 2. Czas zwrotu inwestycji w zależności od zastępowanego nośnika energii
Table 2. Payback time depending on the energy source to be replaced

Zastępowany nośnik energii			Czas zwrotu inwestycji [lata]	
			układ z kolektorem płaskim	układ z kolektorem próżniowym
	Przyjęta do analizy cena	Przyjęta sprawność wytworzenia energii		
En. elektryczna	0,46 [zł/kWh]	99 [%]	12,5	12,7
Olej opałowy	4,18 [zł/l]	90 [%]	13,2	13,6
Gaz ziemny	1,99 [zł/m ³]	90 [%]	25,8	26,9
Węgiel kamienny	730 [zł/t]	70 [%]	41,2	43,5

Wykres skumulowanych przepływów pieniężnych dla każdego z rozpatrywanych wariantów charakteryzuje się tym samym trendem (Rys. 1-4), jednakże zupełnie różny jest czas zwrotu zainwestowanego kapitału (Tabela 2).



Rys. 3. Skumulowane przepływy pieniężne dla wariantów analizy dla kolektora płaskiego
Fig. 3. Cumulative cash flow for variants of analysis for flat-plate collectors



Rys. 4. Skumulowane przepływy pieniężne dla wariantów analizy dla kolektora próżniowego
Fig. 4. Cumulative cash flow for variants of analysis for evacuated-tube collectors

Jak pokazują wyniki analiz, w przyjętym czasie eksploatacji instalacji solarnej (20 lat), oba zaproponowane zestawy solarne zwrócą zainwestowany kapitał jeśli zastępowanym paliwem będą energia elektryczna bądź olej opałowy, przy czym podkreślić należy, że krótszy okres zwrotu występuje w przypadku zastępowania energii elektrycznej (13 lat), nieznacznie tylko dłuższy jest okres zwrotu inwestycji w przypadku, gdy zastępowanym paliwem jest olej opałowy (14 rok). Znacznie gorzej sytuacja przedstawia się w przypadku, gdy zastępowanym paliwem jest gaz ziemny i węgiel kamienny, gdyż czas zwrotu inwestycji przekracza zakładany czas eksploatacji instalacji. Jak pokazują analizy, nie w każdym przypadku inwestycja w kolektory słoneczne do produkcji c.w.u. jest opłacalna finansowo.

Pozostają jednak jeszcze inne metody oszczędzania energii poprzez redukcję ilości zużywanej wody, czego przykładem może być wykorzystanie w łazienkach i sanitariatach baterii jednouchwytowych (szacowana oszczędność wody to 20 [%]), wprowadzanie baterii bezdotykowych z czujnikiem ruchu (szacowana oszczędność wody 30 [%]), wprowadzenie baterii termostatycznych (szacowana oszczędność wody 50 [%]).

Równocześnie zaproponowany do analizy czas eksploatacji (20 lat) może ulec wydłużeniu z uwagi na ciągły rozwój techniki i zastosowanie coraz nowszych i bardziej skutecznych rozwiązań kolektorów słonecznych sprzyjających wydłużeniu ich żywotności.

Również prognozowany wzrost cen energii ze źródeł konwencjonalnych jest szacunkowy i ostrożny, dlatego założone do analizy ceny poszczególnych nośników energii mogą się różnić od realnych cen osiąganych w kolejnych latach, przy czym, obserwując tendencje na rynkach światowych można założyć, że ewentualne odchylenia od zaplanowanych wartości będą dotyczyły bardziej zdecydowanego wzrostu cen energii.

3. PODSUMOWANIE

Istnieje szereg korzyści wynikających z pozyskiwania energii promieniowania słonecznego, wśród których ważniejsza jest możliwość stosowania źródeł energii słonecznej w domach, co przyczynia się do poprawy indywidualnego bezpieczeństwa energetycznego. Przeprowadzona analiza opłacalności wykorzystania kolektorów słonecznych do produkcji ciepłej wody użytkowej w budynku jednorodzinnym pozwala wnioskować, iż na końcowy wynik opłacalności ma wpływ szereg czynników, spośród których jako na ważniejsze można wskazać na wybór producenta kolektorów i związaną z tym jakość, sprawność instalacji oraz jej cenę, która stanowi największą część poniesionych kosztów, ponadto przyjęty wzrost cen źródeł energii, liczbę mieszkańców, realne zapotrzebowanie na c.w.u. oraz przyjęty czas eksploatacji instalacji kolektorów słonecznych.

W przypadku zastosowania zaproponowanych kolektorów słonecznych, instalacja kolektorów słonecznych do produkcji c.w.u. jest najbardziej opłacalna w sytuacji, gdy zastępowanym paliwem jest energia elektryczna, bowiem wówczas okres zwrotu inwestycji jest najkrótszy. Nieco dłuższy okres zwrotu występuje przy założeniu, że zastępowanym paliwem jest olej opałowy.

W sytuacji, gdy zastępowanym paliwem jest gaz ziemny oraz węgiel kamienny, czas zwrotu inwestycji jest większy niż przyjęty okres eksploatacji instalacji.

Wyniki analiz mogą stanowić pomoc przy podejmowaniu decyzji dotyczących instalowania kolektorów przez potencjalnych inwestorów. Należy przy tym pamiętać, że każdy przypadek powinien być traktowany indywidualnie i dla każdego potencjalnego inwestora powinno się przeprowadzać dokładną analizę, uwzględniającą jego potrzeby, wymagania oraz możliwości finansowe.

Stosując tego typu przyjazne środowisku rozwiązania, jednocześnie przyczyniamy się do wzrostu świadomości ekologicznej społeczeństwa [7].

4. LITERATURA

- [1] Dąbrowski J.; Kolektory słoneczne do podgrzewania wody użytkowej. Efektywność i opłacalność instalacji, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2009,

- [2] Juchelková D., Raclavská, H., Čech, B.; Problematika využívání alternativních paliv, Acta Mechanica Slovaca, 2004,
- [3] Klugmann-Radziemska E.; Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe. Wyd. Politechniki Gdańskiej, 2010,
- [4] Vitosol – wytyczne projektowe, Viessmann, 2011,
- [5] DeWinte F.; Solar Collectors, Energy Storage, and Materials, MIT, 1991,
- [6] Killian A.V.; Solar Collectors: Energy Conservation, Design and Applications (Renewable Energy: Research, Development and Policies), Nova, 2009,
- [7] Noga H., Deprešova J., Vargova M.; Aksjologiczne wyzwania wobec socjalizacyjnych treści medialnych i multimedialnych, Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis. Studia Technica, 2010,

PROFITABILITY ANALYSIS OF SOLAR-THERMAL WATER HEATING SYSTEM INSTALLED IN A SINGLE FAMILY HOUSE

SUMMARY

The paper presents the profitability analysis of solar-thermal water heating system installed in a single family house. This paper presents a critical review of the strengths and weaknesses of designs involving flat-plate and evacuated-tube collectors. The results showed that the solar energy systems have a great potential in single family houses. Presented indicators suggest important issues for regarding research policy at the use of environmentally friendly solutions. Emission free natural energy and near zero maintenance water heating system components are additional important factors affecting the ecological value of the project taking into account the economic and social costs of renewable energy resource use.

Krzysztof PYTEL, dr inż.
Małgorzata TWOREK, mgr inż.

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie
Instytut Techniki
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków
e-mail: kpytel@up.krakow.pl

WYKORZYSTANIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII NA PRZYKŁADZIE BIOGAZOWNI

STRESZCZENIE

W publikacji przedstawiono możliwości wykorzystania gazu wysypiskowego do produkcji energii. Uzyskane wyniki analiz wskazują na możliwość zaangażowania w wykorzystanie instalacji biogazowni. Pod bieżącą kontrolą parametrów procesu, instalacja biogazowni jest bezpieczna i minimalizuje niepożądane oddziaływanie składowiska odpadów na środowisko. Parametry pozyskiwanego biogazu decydują o możliwości wykorzystania go do celów energetycznych, a z kolei uzyskana ilość energii elektrycznej i cieplnej decyduje o opłacalności stosowania instalacji odgazowywania składowisk odpadów.

1. WPROWADZENIE

Polityka proekologiczna krajów wysokorozwiniętych formowała się przez szereg dziesięcioleci, przy czym zawsze duży nacisk był pokładany na zagadnienia związane bezpośrednio z ochroną środowiska. Wieloletnie doświadczenie doprowadziło do pełnej zbieżności przepisów z zakresu ochrony środowiska z regulacjami związanymi z rozwojem gospodarczym i dlatego zostają one adoptowane do polskich realiów [1]. Utworzone programy dostosowawcze ujednoliciły polskie prawo z europejskim. Zasady zrównoważonego rozwoju i przepisy ochrony środowiska utworzyły spójną platformę do przygotowania i poprawy wszelkich inicjatyw polityki przestrzennego zagospodarowania terenu, proekologiczne scenariusze rozwoju zapewniły zachowanie jego walorów krajobrazowych, natomiast respektowanie aktów prawnych odnoszących się do kwestii ochrony i kształtowania środowiska, troska o zasoby naturalne i ochrona walorów przyrodniczych pobudziły zdolności rozwojowe [1].

2. CZYSTE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA ENERGII

Współcześnie w ramach rosnącej świadomości społeczeństwa dotyczącej problemu ochrony środowiska, ciekawą alternatywą staje się możliwość stosowania czystych technologii przy produkcji energii ze źródeł konwencjonalnych [2]. Jednym ze związków o negatywnym oddziaływaniu na środowisko jest CO₂, dlatego na wyróżnienie zasługują wciąż budzące wiele kontrowersji technologie Carbon Capture and Storage (CCS) pozwalające na redukcję emisji tego gazu do powietrza atmosferycznego. Wychwycenie, transport i podziemne składowanie CO₂ wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych wynikających z realizacji kolejnych etapów niezbędnych procedur podziemnego składowania CO₂. Powszechne wdrażanie technologii CCS realizowane w wyeksploatowanych zbiornikach ropy, wyeksploatowanych zbiornikach gazu czy w zasolonych wodach znajdujących się poniżej 1000 metrów powinno być bezpieczne dla otoczenia, gdyż odnotowano również naturalne występowanie CO₂ pod ziemią. Mało aktywny sejsmicznie obszar Polski zapewnia niskie prawdopodobieństwo rozszczenia skał, a więc odpowiednia lokalizacja nie powinna stanowić zagrożenia dla bezpieczeństwa ludzi. Naturalne wycieki CO₂ nie powodują negatywnych następstw, a więc ewentualne rozszczenia i erupcja na powierzchnię CO₂ również nie powinna stanowić zagrożenia. Jedynie gwałtowny wyciek za pośrednictwem otworu wiertniczego mógłby stanowić zagrożenie dla lokalnej społeczności.

Do czystych technologii zaliczyć można również energię pochodzącą z atomu. Metoda wykorzystująca paliwo jądrowe do produkcji energii budzi sprzeciw wśród lokalnych społeczności, a nagłaśnianie w mediach katastrofy wywołują obawy, których głównym źródłem jest strach przed promieniowaniem.

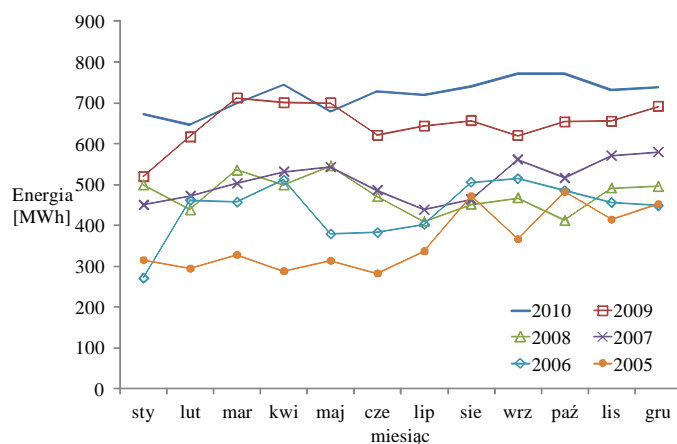
Rozwiązanie pozytywnie postrzegane przez społeczeństwo to mikrogeneracja pozwalająca na zaspokajanie lokalnych potrzeb energetycznych i ewentualne przekazanie nadwyżki wyprodukowanej energii do sieci. Mikrogeneracja polegająca na wytwarzaniu energii elektrycznej i cieplnej w skojarzeniu wymaga kosztownych inwestycji ze względu na kosztowne urządzenia, a więc rozwój technologii rozproszonego wytwarzania uzależniony jest od polityki państwa oraz dostępu do innowacyjnych technologii. Małe instalacje realizowane przez prywatnych inwestorów oparte w dużej mierze na odnawialnych źródłach energii pozwalają na zaspokojenie potrzeb energetycznych gospodarstwa domowego przy jednoczesnym nienaruszeniu stanu środowiska.

Alternatywą dla sektora energetycznego jest gaz uwięziony w łupkach, który szczególnie dla Polski jest szansą na uniezależnienie. Proces eksploatacji gazu łupkowego jako niezwykle kosztowne przedsięwzięcie możliwy jest dzięki nowoczesnym technologiom odwiertów pozwalającym na dostanie się do surowców zamkniętych w skałach macierzystych. Biorąc pod uwagę małą emisyjność CO₂ wzrost wydobycia gazu łupkowego mógłby zahamować inwestycje oparte na źródłach konwencjonalnych i drogich odnawialnych.

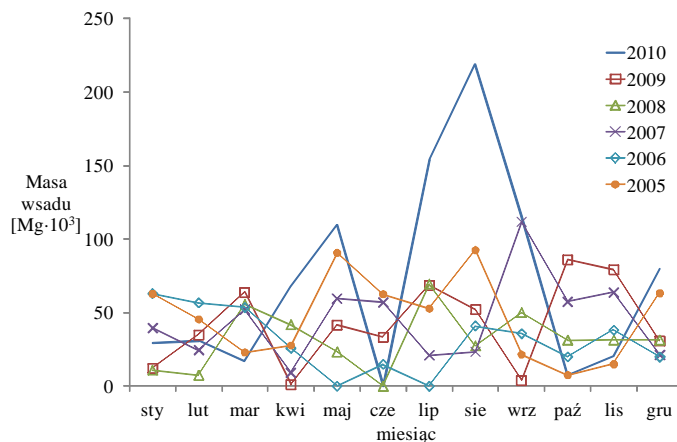
3. PRODUKCJA ENERGII Z BIOGAZU

Wybór technologii jaka będzie wykorzystana do produkcji energii w dużym stopniu zależy od surowca z którego ma być uzyskiwana [3]. W okresie wyczerpanych poszukiwań odnawialnych zasobów energii, biogaz odgrywa ważną rolę. Fermentacja organicznych odpadów przemysłowych i konsumpcyjnych oraz działania proekologiczne

towarzyszące powstawaniu biogazu ukazały jego potencjał w realizacji celów ochrony środowiska [4].



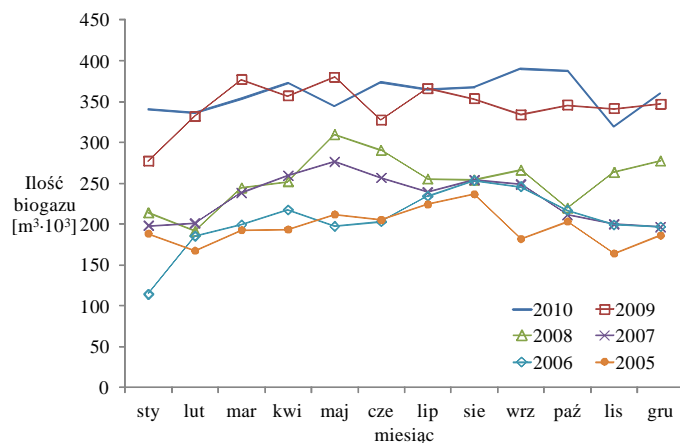
Rys. 1. Ilość wytworzonej energii z bloków energetycznych
Fig. 1. The output power of an electrical generator



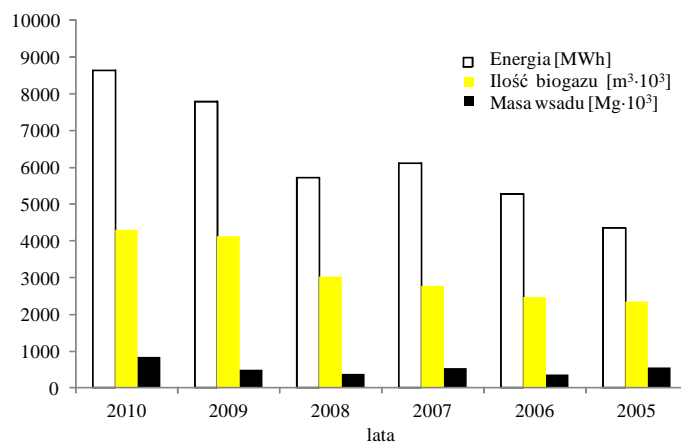
Rys. 2. Suma zgromadzonych odpadów organicznych i nieorganicznych
Fig. 2. Total volume of accumulated organic and inorganic wastes

Budowa biogazowni to dobór instalacji i urządzeń związanych z rodzajem wsadu do produkcji biogazu, zaś parametry uzyskiwanego gazu zależą od przebiegu fermentacji, temperatury, odczynu pH oraz obecności niezbędnych bakterii, czyli od zachodzenia reakcji chemicznych zależnych od ilościowego i jakościowego składu wsadu oraz panujących warunków [5]. Składowisko odpadów komunalnych jest jedną z możliwych lokalizacji do realizacji instalacji wykorzystujących gaz wysypiskowy, gdyż jest to jedno z większych

antropogenicznych źródeł emisji CH_4 . Biogaz można spalać w pochodni lub wykorzystywać na cele energetyczne. Zainstalowane studnie poziome i horyzontalne pozwalają na sprawne pozyskiwanie gazu wysypiskowego [6].



Rys. 3. Ilość pozyskiwanego biogazu w kolejnych latach funkcjonowania inwestycji
Fig. 3. The amount of biogas harvested in subsequent years of the investment



Rys. 4. Porównanie ilości wytworzonej energii z bloków energetycznych z ilością pozyskanego biogazu w relacji do sumy zgromadzonych odpadów organicznych i nieorganicznych

Fig. 4. Comparing the amount of power generated from energy blocks with the amount of collected biogas in relation to the amount of accumulated organic and inorganic wastes

Przeprowadzono analizę funkcjonowania wybranego składowiska odpadów komunalnych. Biorąc pod uwagę znaczną odległość biogazowni od budynków mieszkalnych, uzyskiwana

energia wykorzystywana jest na potrzeby zakładowe. W ciągu 1h przetwarzane jest tam 500 m³ biogazu, który po odebraniu z wysypiska jest transportowany do stacji zbiorczej biogazu celem odprowadzenia wilgoci i sprężenia, potem bez oczyszczania trafia do bloków energetycznych pracujących przy bezpiecznej zawartości metanu w gazie na poziomie 40%. Wyniki analiz z bloków energetycznych wskazują, że z roku na rok instalacja odgazowująca pozwala na uzyskanie większych ilości energii (Rys. 1). W 2005 roku bloki energetyczne wytworzyły 4344,75 MWh, by w 2010 ilość ta wzrosła do 8638,63 MWh. Ilość pozyskiwanego biogazu zwiększa się również z roku na rok, czego przyczyną jest optymalizacja procesu systemu pozyskiwania biogazu.

Uzyskiwane ilości biogazu są zazwyczaj najmniejsze w miesiącach zimowych, co potwierdza wpływ temperatury na tworzenie się gazu wysypiskowego (Rys. 2). Porównując ilość pozyskiwanego biogazu z ilością składowanych odpadów nie ma podobnej analogii (Rys. 3). Wraz ze wzrastającą ilością odpadów nie zawsze wzrasta ilość pozyskiwanego biogazu (Rys. 4). Ta nieproporcjonalność wynika z faktu, że liczba odpadów nie pozwala na miarodajne określenie ile spośród nich miało charakter organiczny, a więc pozwalający na dalsze przemiany chemiczne jakie towarzyszą powstawaniu metanu, a ile nieorganiczny. Jednocześnie zajście kolejnych reakcji zamyka się w pewnym okresie i maksymalny odbiór biogazu następuje w odstępie do 2 lat [7].

4. PODSUMOWANIE

Główną zaletą biogazowi jest możliwość wytwarzania energii odnawialnej w sposób ciągły. Sumaryczna emisja szkodliwych substancji przez generatory jest znacznie mniejsza niż w przypadku uwalniania się metanu bezpośrednio do atmosfery [8]. Instalacja biogazowi pozwala przetworzyć gaz wysypiskowy na energię cieplną i elektryczną, przez co istnieje możliwość wyeliminowania konwencjonalnych źródeł energii. Nadwyżki energii elektrycznej wytwarzanej przez generatory sprzedawane są do sieci, przez co przyspieszają zwrot nakładów poniesionych na budowę biogazowi. Możliwość dofinansowania z programów pomocowych Unii Europejskiej i innych organów wspierających ochronę środowiska i odnawialne źródła energii pozwala obniżyć koszty realizacji kosztownej inwestycji.

Zagadnienia związane ze zmianami klimatycznymi i wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, czego doskonałym przykładem jest instalacja biogazowi zlokalizowana na składowisku, są istotne ze względu dążenie przez społeczeństwo do osiągnięcia jakości życia na poziomie na jaki pozwala obecny rozwój cywilizacyjny, a możliwy jest tylko rozwój zrównoważony, w którym potrzeby obecnego pokolenia muszą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie [9].

5. LITERATURA

- [1] Tauseef, S.M., Abbasi, S.A.; Biogas Energy, SpringerBriefs in Environmental Science, 2012,
- [2] Nijaguna B. T.; Biogas Technology, New Age International, 2002,
- [3] Pawłowska M.; Możliwość zmniejszenia emisji metanu z wysypisk na drodze jego biologicznego utleniania w rekultywacyjnym nadkładzie glebowym, Politechnika Lubelska, 1999,

- [4] Deublein D., Steinhauser A.; *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Wiley-VCH, 2008,
- [5] Juchelková, D.; *Využívání biomasy, Obnovitelné zdroje energie*, 2003,
- [6] Craddock D.; *Renewable Energy Made Easy: Free Energy from Solar, Wind, Hydropower, and Other Alternative Energy Sources*, Atlantic Publishing, 2008,
- [7] Juchelková, D., Koppe, K.; *Nutzung der Biomasse - Využívání biomasy*, Repronis Ostrava, 2003,
- [8] Mital K. M.; *Biogas Systems: Policies, Progress and Prospects*, New Age International, 1997,
- [9] Noga H., Deprešova J., Vargova M.; *Aksjologiczne wyzwania wobec socjalizacyjnych treści medialnych i multimedialnych*, *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis. Studia Technica*, 2010,

RENEWABLE ENERGY FROM BIOGAS

SUMMARY

The paper presents the possibility of use of landfill gas for energy production. The results showed that the biogas energy systems have a great potential. Biogas plant in which the parameters of the process are under current control is safe for environment and minimizes adverse impacts of landfill site. The parameters of biogas sourced determine the possibility of using it for energy purposes and in turn obtained the amount of electricity and heat determines the profitability of using installation of degassing landfills for energy generation.

Sławomir RABCZAK, dr inż.
Danuta PROSZAK-MIĄSIK, dr inż.

Rzeszow University of Technology
Division of Heating and Air-conditioning
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
rabczak@prz.edu.pl

REAL WORKING CONDITION OF NATURAL VENTILATION

ABSTRACT

Role of ventilation on level of CO₂ concentration and effects connected to dissatisfy natural ventilation operation in buildings have been discussed. The main assumptions of natural ventilation in habitable buildings according to obligatory Polish law regulations have been presented. The obtained real operational conditions of natural ventilation in buildings have been associated with comfort feeling and effect to human health.

1. INTRODUCTION

The most common ventilation system in habitable buildings in Poland is a natural ventilation, often named as gravitational one. That system is functioning in over 98% of buildings, more or less successfully. Ventilation in buildings and apartments is required due to keep the comfort condition and well self feelings related to air freshness in closed spaces. Natural ventilation should ensure uninterrupted air change placed inside the building and replacing it to fresh air from outside of the building. Today, in centre of big cities is hard to say the outside air is fresh. It is usually contaminated by exhaust gases, has unpleasant smell and traced amount of toxic substances. Despite of it ambient air make possible to remove products of ordinary human activities as humidity, generated during metabolic processes and from kitchen, bathroom and as well as from gas burning in gas stove outside of the building. Air is also very important and obligate element to all combustion process itself. The bathroom gas heater is still popular method to hot water production, especially with open combustion chamber, even central heating gas furnace is placed inside of apartments, what is misunderstanding (with open combustion chamber as well). In this case the whole air flow volume necessary to gas burning may exceed minimal air flow obtained

by Polish regulation in PN-03430: *Ventilation of living houses, collective living houses and public utilities. Requirements or in Technical conditions for buildings and its location* [1, 2]. These regulations obligate users of mentioned buildings for support minimal ventilation air for selected rooms on level not less than:

- Kitchen $70 \text{ m}^3/\text{h}$
- Bathroom $50 \text{ m}^3/\text{h}$
- Toilet $30 \text{ m}^3/\text{h}$
- Auxiliary room, without window as wardrobe, pantry $15 \text{ m}^3/\text{h}$

In this case some assumption is made in Polish regulations. Air to above rooms inflow to them from other spaces as restroom, living room, guest room, bedroom. It means, that the same air is used several times in different parts of the buildings – the intermediate system of ventilation is applied. Firstly, the ventilation air inflow to all rooms and from them flow into hall and finally, flow to technical rooms as kitchen, bathroom, separate toilet and auxiliary rooms where air come not exactly from outside building (as should) but from the rest of rooms and it is used second time (figure 1).

Assuming, single – level apartment with 3 bedrooms, living room, kitchen, bathroom, auxiliary room and separately toilet, the overall air flow volume takes value $165 \text{ m}^3/\text{h}$ or $135 \text{ m}^3/\text{h}$ with toilet inside bathroom.

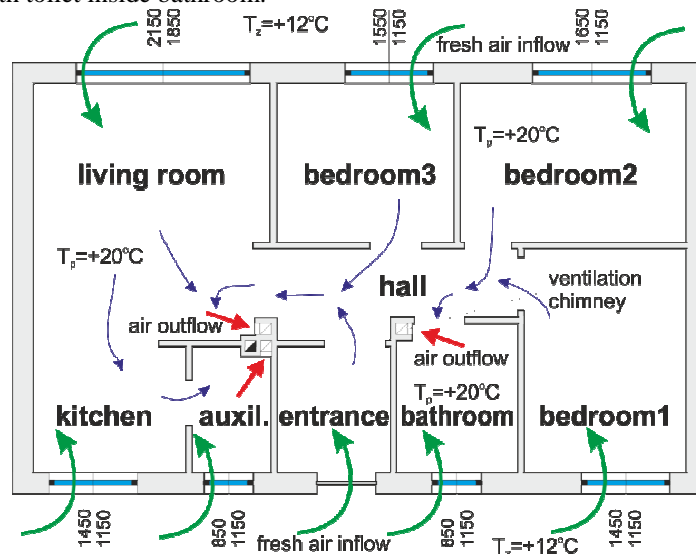


Fig 1. Intermediate system of natural ventilation in living buildings [author]

Rys. 1. Pośredni system wentylacji budynków mieszkalnych [autor]

That air volume must be entered and removed by special natural ventilation duct (chimney) located in rooms where the air must be removed from, according to Polish regulations. The minimal air volume per person is set on $20 \text{ m}^3/\text{h}$ by Polish standard PN-03430. During ordinary activity of inmates one can obtain amount of CO_2 emission from person due to

respiration process and then calculate the minimal air flow volume necessary to remove and dilute the CO₂ concentration to health safety level. In table 1 data on CO₂ emission by people depending on activities and corresponding to it total metabolic heat generation is presented.

Table 1. CO₂ emission from human in activity dependencies [3]

Tabela 1. Emisja CO₂ w zależności od ludzkiej aktywności [3]

Activity type	Metabolic total heat gain Q _h [W/h]	CO ₂ emission E _{CO₂} [dm ³ /h]
Resting	100	10÷15
Light work	160÷320	19÷24
Moderate work	320÷480	33÷43
Hard work	480÷650	55÷70
Heavy work	650-800	

To dilute CO₂ to safety level for human the needed air flow volume can be determined from below formula.

$$V_{\text{in}} = \frac{E_{\text{CO}_2} \cdot 10^3}{c_{\text{lim}} - c_s} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1)$$

Value of CO₂ concentration in supply air is connected with concentration of this gas in ambient air, it is usually between 350 and 450 ppm (ppm = part per million) – average 400 ppm. The concentration of exhaust gas should be less or equal to maximum acceptable value for safety human reside in closed spaces in building. This value is set as Pettenkofer factor on 1000 ppm. Maximum instantaneous acceptable in short time CO₂ concentration level in building can't exceed 15 000 ppm or 5 000 ppm in long time [4]. German regulation DIN 1948 set the maximum safety for health CO₂ concentration on 1 500 ppm. At such gas concentration level (tolerated in submarines at medical care) the accelerated breath and disorders in acid – alkali blood balance are observed.

For making above assumption the minimal hygienic air volume per person have been established and presented in figure 2.

According to technical condition [2] the hygienic value of air flow volume is set on 20 m³/h in detached houses or 30 m³/h if opening windows are not allowed or in spaces to collective staying and in public utility buildings. Analyzing photo 2 the most closed spaces are not suitable for more activities than light work. More activity leads to more CO₂ generation from metabolic processes compare to provide hygienic air flow volumes by regulation. In fact, the resting is only acceptable if the safety CO₂ concentration level inside building is taking under consideration. Application of gas water heater and gas furnace to space heating with open combustion chamber in building is widespread in Polish conditions. That resolving of heating installation or hot water preparation forces the additional supply air necessary to gas burning. Even fireplace (on solid fuel) with air taking from inside of building is a high dangerous engineering solution.

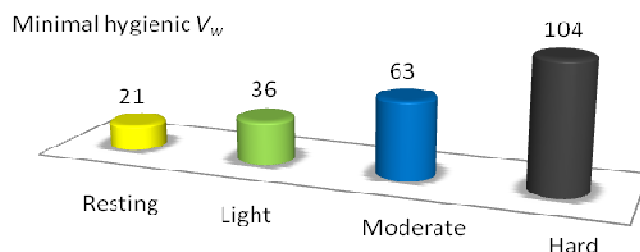


Fig. 2. Minimum air flow volume for removing CO_2 in depends of human activity
 Rys. 2. Minimalny strumień powietrza niezbędny do usunięcia CO_2 w zależności od aktywności [autor]

If the power of installed gas equipments is low, the air demand for combustion is also low and enough to gas burning completely to products as CO_2 and vapor. In case of relatively high power the necessary air to combustion can be equal or exceed the ventilation air, what is strongly dangerous and leads to incomplete combustion, so CO (carbon monoxide) may be emitted to habitable space. Carbon monoxide is a highly poisoning without smell and color. The CO poisoning occurs very often, especially in winter period what is the main reason of many desists. Necessary air to combustion can be obtain approximately in easy way. For each 1 kW of installed power the approx. 10 m³/h air supply is required for gas fuel and for solid one as well. If air demanded devices are placed in bathroom – gas water heater, usually without accumulation tank but as a flow one of average 7,5 kW installed heat power – a whole amount of air volume to combustion process should be on level of 75 m³/h. Air volume to bathroom ventilation according to regulation is 50 m³/h and this means the air volume to combustion demand is 50% more, especially if hot water consumption take place during long time period. In such case, is not possible to combust of gas totally and it is the occasion while CO is emitted to inside air in occupation zone. Potentially dangerous installation systems appear in that situation are common known as fireplace or gas furnace using to space heating with air collection from housing zone. Regulation on technical conditions for buildings and its location allows to mount the central heating gas furnace inside occupation zone, but its heat power is limited to 24 kW [2]. Necessary air volume to gas combustion in this case – 240 m³/h – significantly exceeds amount of ventilation air follows to Polish regulation for the entire housing zone. This large air demand leads to formation of high underpressure in building trying to compensate deficit of oxygen O_2 required to combustion process.

2. SELECTED WORKING PROBLEM OF NATURAL VENTILATION

Regular and correct air inflow to house should take place through special air diffusers mounted in top of windows, above windows and without diffusers, by infiltration – assuming the required leakage in windows construction. Air volume which can flow through window is given by producer at strictly condition of pressure difference between

both sides of window sets as 10 Pa. As a result of these assumptions the infiltration factor is defined a_{inf} [5]. Amount of a_{inf} is usually in range from 0,5 up to 1,5 $m^3/mhdP^{2/3}$. It means, that at 1 dPa pressure difference during 1 hour and 1 m leakage length through window flows the 0,5 to 1,5 m^3 of ambient air (figure 3).

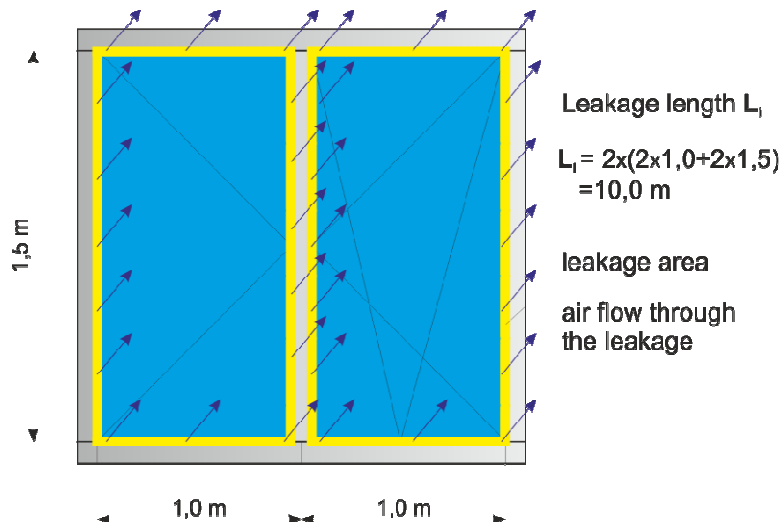


Fig. 3 Schema of leakage length obtaining for air infiltration

Rys. 3. Schemat długości nieszczelności do ustalenia infiltracji powietrza [autor]

If overall length of leakage L_i and infiltration factor a_{inf} are known the air flow volume V_{inf} through the window can be determined according to:

$$V_{inf} = a_{inf} \cdot L_i \cdot \Delta p_{inf}^{1/3} \quad [m^3/h] \quad (2)$$

One can notice, that Δp_{inf} in equation (2) must be placed in dPa not in Pa (dPa = 10 Pa) what is commonly lapse.

In these circumstances the main problem is to generate the 1 dPa underpressure in building to prevent proper condition to windows diffusers or infiltration working. Underpressure in building is generated by temperature difference between ambient and indoor air. These temperatures are set as 20°C in occupation zone and 12°C in outside air. Calculating temperature of ambient air results from heating period, time when ambient air temperature is less or equal 12°C, what currently is out of date, because the heating season strongly depends on customer preferences. Above 12°C natural ventilation is not needed to operate properly (one can open window to ventilate rooms without cost incurring for air heating – heating season has finished).

Numerical value of this underpressure Δp_n is combined with gravitational acceleration g , chimney high h_k and density difference between ambient ρ_e and indoor ρ_w air.

$$\Delta p_n = h_k \cdot g \cdot (\rho_w - \rho_e) \quad [Pa] \quad (3)$$

The density difference is strongly related to temperature difference and also with air humidity, but in most cases it can be skipped (except intense usable bathroom and kitchen). Height of chimney in natural ventilation system refers to virtual length measure from average level of air inflow from outside to room and down edge of air exhaust form ventilation chimney to atmosphere above roof (see figure 4).

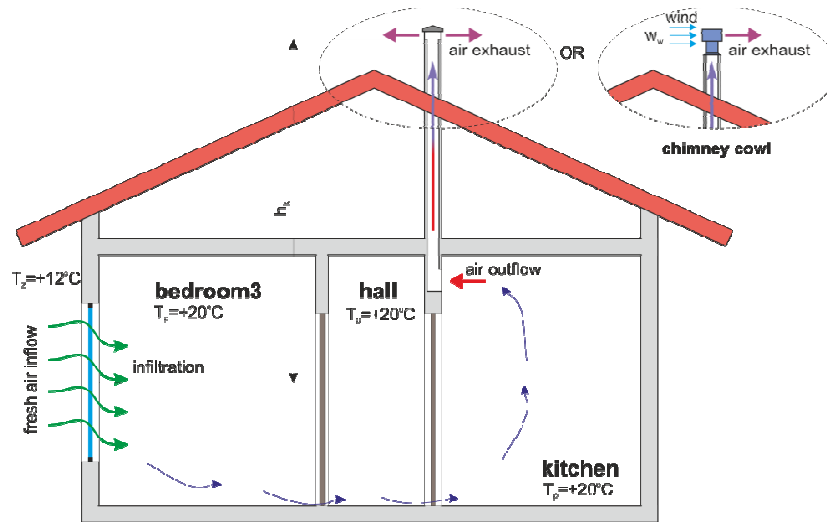


Fig. 4 Schema of natural ventilation operation without and with chimney cowl
Rys. 4. Schemat wentylacji naturalnej działającej z i bez wywietrzaka [autor]

It is obvious, that level of underpressure created by natural ventilation (“active pressure”) is a driving force to air infiltration. If active pressure is small the infiltration is also small and can be occurs that air flow volume through the all building is not enough even for ventilation (and for gas combustion as well). For conditions assuming in Polish regulation one can obtain the real air flow through occupation zone.

As a example, the height of ventilation chimney h_k in kitchen in detached house should be obtain. In chimney, according to mentioned above regulation, flows $V_w = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ at indoor temperature $T_w = 20^\circ\text{C}$ and ambient $T_z = 12^\circ\text{C}$. Air inflows to room through window leakages at pressure losses $\Delta P_{inf} = 10 \text{ Pa}$. Pressure loses in chimney was ignored. Dimension of ventilation chimney is $14 \times 14 \text{ cm}$. Density of air is set as:

- $\rho_z = 1,238 \text{ kg/m}^3$ for $T_z = 12^\circ\text{C}$
- $\rho_w = 1,204 \text{ kg/m}^3$ for $T_z = 20^\circ\text{C}$

Ventilation air should flow in chimney with velocity w :

$$w = \frac{V_w}{3600 \cdot A} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (4)$$

where A is a cross section area of chimney, $A = 0,14 \cdot 0,14 = 0,0196 \text{ m}^2$.

Hence $w = 0,99 \text{ m/s}$. This velocity is necessary to generate proper natural ventilation conditions by transforming all active pressure to dynamic one p_d according to below relation:

$$\Delta p_n - \Delta p_{inf} = p_d \quad [\text{Pa}] \quad (5)$$

Dynamic pressure is formulated as:

$$p_d = \frac{\rho_w \cdot w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (6)$$

Hence

$$p_d = \frac{1,204 \cdot 0,99^2}{2} = 0,59 \quad [\text{Pa}]$$

There is only one unknown quantity in equation (5) – h_k . It can be determined in easy way from equation (3) and (5). Finally, searching height of natural ventilation chimney for condition according to Polish regulation is [6]:

$$h_k = \frac{p_d + \Delta p_{inf}}{g \cdot (\rho_z - \rho_p)} \quad [\text{m}] \quad (7)$$

After substituting values:

$$h_k = \frac{0,59 + 10}{9,81 \cdot (1,278 - 1,204)} = 31,75 \quad [\text{m}]$$

According to obligated regulation in habitable buildings height of natural ventilation chimney in kitchen should be not less than 31,75 m. It can be noticed that in analyzed example friction and local pressure losses was skipped. This result is a little unexpected, because it showed that is impossible to provide necessary air flow volume in building at conditions entered in regulation.

But, if assume, that air inflows to building without any pressure losses $\Delta p_{inf} = 0 \text{ Pa}$, than according to (7):

$$h_k = \frac{0,59}{9,81 \cdot (1,278 - 1,204)} = 1,77 \quad [\text{m}]$$

Such assumption is made in *technical condition for building and its location* [2]: minimum height of ventilation chimney should be not less than 2,0 m – wide open window, chimney hydraulically without roughness and local friction not at all. There is no such construction. For 2,0 m height of ventilation chimney calculated air flow volume through window leakages is:

$$V_{inf} = a_{inf} \cdot L_i \cdot [h_k \cdot g \cdot (\rho_w - \rho_z)]^{2/3} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (8)$$

As one can see, the air flow depends on length of leakages in window construction. To provide $V_{inf} = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ of fresh air to kitchen ventilation at assumed a_{inf} in range 0,5 to 1,5 $\text{m}^3/\text{mhdP}^{2/3}$, the necessary leakage length L_i should be on level from 284 up to 851 m what is impossible in reality. In other way, the real air flow volume at above condition and approximately 10,0 m leakage length (from figure 3) reaches 0,8 to 2,5 m^3/h . It means the natural ventilation is working no more.

In these circumstances, devices place inside the buildings, which get air from combustion from occupation zone are able to suck air from ventilation systems (“backward flow”). It

can often leads to improper process of combustion in environmental of low O_2 concentration and as a product of such installation behavior is poisoning carbon monoxide CO emission (figure 5).

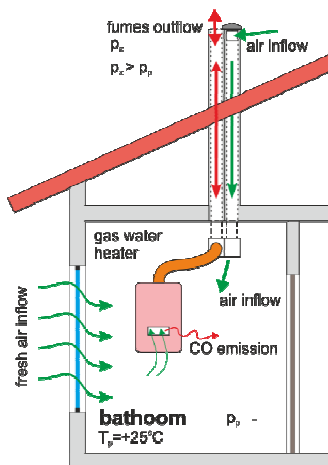


Fig. 5 Schema improper operation of natural ventilation with bath stove
Rys. 5. Schemat nieprawidłowego działania wentylacji naturalnej z gazowym podgrzewaczem ciepłej wody [autor]

Less air flow volume leads to negative effects connected with localization of gas stove and resulting carbon monoxide poisoning. In such dangerous situation only solution is unseals windows. Currently, all traded windows have possibility to control wing opening by put in several different positions. One of these positions allows unseal window without opening it. It is very important to understand that most causes of CO poisoning are sealed windows, and is not important if window has or not the certificate. The localization of devices with open combustion chamber in rooms with low effectiveness of natural ventilation generate larger air consumption, often much more than minimum air flow volume to building ventilation obtained by regulations. Polish regulations in night period allow to reduce ventilation air to 60%. CO_2 from combustion process can be taking out less efficiently than during day period.

In case of low human activity, person is mostly in standing or sitting position and air flow around them practically in each side what allows to remove gains of CO_2 . In case of lying position CO_2 removing from surface of skin is strongly limited or blocked – accumulation of carbon dioxide is take place to concentration higher than acceptable – above 1000 ppm, usually more than 5 – 8 thousands ppm. Human also is breathing through skin and due to it air must flows around person to remove or dilute harmful at such high concentration CO_2 . At ineffective working of natural ventilation is almost impossible.

Effectiveness of natural ventilation strongly depends on outside temperature T_z . To intensify of natural ventilation on top of the chimney a ventilation cowl is mounted. Ventilation cowl allows to transform a part of wind energy to active pressure Δp_H , which is summarized to active pressure of ventilation chimney Δp_H .

Due to it, the larger level of underpressure is generated in building to make possible infiltrate air through window leakages or special diffusers.

$$\Delta p_W = K \frac{\rho \cdot w_w^3}{z} \quad [\text{Pa}] \quad (9)$$

$$\Delta p_n + \Delta p_W = \Delta p_{inf} \quad [\text{Pa}] \quad (10)$$

For example, one of the most common cylindrical ventilation cowl has been taken with possibility of wind energy recovery for active pressure $K = 0,4$.

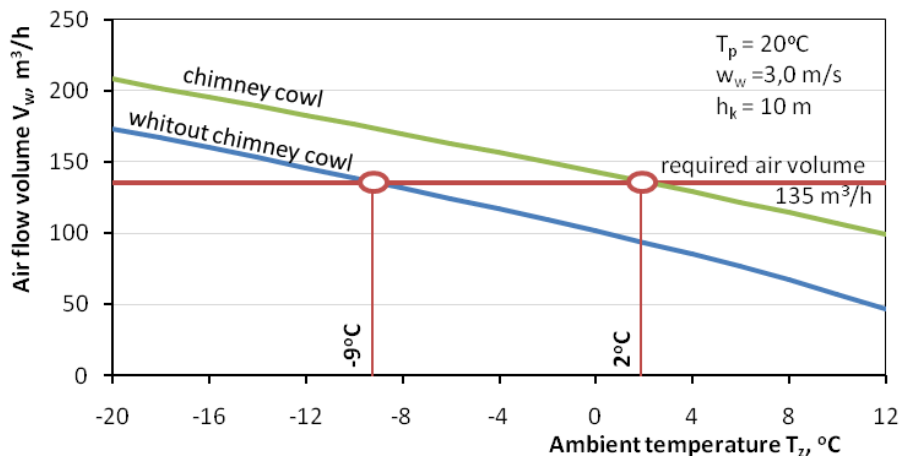


Fig 6 Air flow volume in function of ambient temperature

Rys. 6. Strumień przepływu powietrza w funkcji temperatury zewnętrznej [autor]

Wind velocity was set as $w_w = 3,0$ m/s. Ventilation cowl intensify overall air flow volume in system not more than 10-20% compared to ventilation system without it (building with kitchen 70, bathroom 50 and auxiliary room 15 m³/h, see figure 6).

Efficiently natural ventilation system operates only below temperature +2°C in case of ventilation cowl mounted on top of the chimney. Without ventilation cowl, temperature below it the air flow volume demand is achieved starts from -9°C. Between +2 and -9°C for localization in Rzeszow there are 108 days – this is the difference in time operation between standard system and with ventilation cowl option (based on data from meteorological station Rzeszow-Jasionka). If the 12°C has been taken as a beginning point below which the natural ventilation should works, it will be properly working only 13,5 days in the heating season (all heating season takes 231 days) or a little bit longer in case of ventilation cowl – 106 days. It means that ventilation works properly only in 6% time in season or 46% in case of ventilation cowl. That is way ventilation cowl is so important for prove air flow volume on certain level as long as it is possible.

In analyzed example a hydraulic friction and local losses has been not taken into account. Hence, in the real condition air flow volume can be even less.

3 CONCLUSIONS

Human, during his lifetime approximately 85% of time occurs in closed areas. Effectiveness of natural ventilation operating has significant influence on comfort filling and as well as health itself. Main product of human metabolism as heat, humidity and CO₂ must be remove efficiently out from a skin or dilute to health safety level. At ineffective ventilation it becomes impossible. Effective ventilation has a great deal of importance in case heating devices with open combustion chamber located inside the building. These devices together with sealed windows carpentry is a main reason of CO poisoning. That is way the windows should not be sealed, needed position in all the time should be kept as unsealed but not open, what provide uninterrupted air flows volume through the building. It allows to avoid many technical and health problems during natural ventilation exploitation.

4 REFERENCES

- [1] PN-83/B-03430/Az3:2000: *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego I użyteczności publicznej. Wymagania*
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z 2002 r. ze zmianami Dz. U. Nr 201 poz. 1238 z 06.11.2008 r.): *Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*
- [3] Lambertsen C. J. (1971): *Carbon Dioxide Tolerance and Toxicity*. Environmental Biomedical Stress Data Center, Institute for Environmental Medicine, University of Pennsylvania Medical Center. IFEM (Philadelphia, PA) Report No. 2-71. Retrieved 2008-05-02
- [4] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej (Dz. U. nr 79/1998) dotyczące najwyższych dopuszczalnych stężeń szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy
- [5] PN-EN 12207:2001: *Okna i drzwi - Przepuszczalność powietrza – Klasyfikacja*
- [6] Opaliński S., Rabczak S. (2002): *Wentylacja grawitacyjna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rolę wentylacji naturalnej w odniesieniu do poziomu koncentracji CO₂ w budynkach mieszkalnych. Omówiono główne założenia działania wentylacji w oparciu o obowiązujące przepisy prawne oraz jej oddziaływanie na odczucie komfortu jak i jej wpływ na zdrowie ludzi.

Elżbieta RYBAK-WILUSZ, dr inż.

Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
e_mail: elrywi@prz.edu.pl
Politechnika Rzeszowska
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Krzysztof PRUC, mgr inż.

“BH-Res” Firma handlowa
e_mail: k.pruc@bh-res.pl
ul. Torowa 3, 35-205 Rzeszów

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA ZWIĘKSZENIA GRUBOŚCI IZOLACJI PRZEWODÓW OGRZEWANIA POWIETRZNEGO

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono ocenę ekonomiczną zwiększenia grubości izolacji cieplnej przewodów ogrzewania powietrznego spowodowanego realizacją wymagań dotyczących poprawy charakterystyki energetycznej budynków. Przeprowadzono również ocenę wzrostu powierzchni i kubatury zajmowanej przez przewody ogrzewania powietrznego o zróżnicowanych grubościach izolacji cieplnej.

1. WPROWADZENIE

W rozporządzeniu [1] z 2008 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, zawarte wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej związane z oszczędnością energii, określają minimalną grubość izolacji cieplnej przewodów i komponentów. Dla przewodów ogrzewania powietrznego przy zastosowaniu materiału o współczynniku przewodności cieplnej $\lambda=0,035$ W/(m·K) ułożonych wewnątrz izolacji cieplnej budynku wymagana obecnie grubość izolacji wynosi 40 mm, a ułożonych na zewnątrz izolacji cieplnej budynku 80 mm. Zastosowanie materiału o innej izolacyjności wymaga skorygowania grubości warstwy izolacyjnej. Spowodowało to zasadniczą zmianę w stosunku do poprzednich przepisów, które zalecały projektowania izolacji przewodów tak, by ilość energii cieplnej wymaganej

do użytkowania budynku, zgodnie z jego przeznaczeniem, była utrzymana na racjonalnie niskim poziomie. Dotychczas najczęściej stosowanymi przewodami do przesyłania powietrza i instalacjach ogrzewania powietrznego były kanały wentylacyjne ze standardowo wykonaną izolacją o gr. 20 mm lub 25 mm, tzw. kanały preizolowane.

Przedstawiona w artykule [2,3] analiza wpływu zwiększania grubości izolacji cieplnej przewodów instalacji ogrzewania powietrznego na efektywność cieplną budynku wykazała, że zwiększenie grubości izolacji cieplnej przewodów ogrzewania powietrznego do wartości 40 mm prowadzi pozornie do uzyskania oszczędności eksploatacyjnej budynku. Wyniki obliczeń wskazały, że przy zwiększeniu o 5 mm dotychczas powszechnie stosowanej grubości izolacji wynoszącej 20 mm, udział strat ciepła przewodów w całkowitym zapotrzebowaniu ciepła budynku jest taki sam, a w niektórych przypadkach analizowanych budynków większy, jak przy zwiększeniu grubości izolacji o 15 mm, z 25 mm do wymaganych 40 mm. Udział ten wyniósł ok. 2,0 – 3,5%.

Uzasadnieniem obligatoryjnie przyjmowanej grubości izolacji może stać się ocena efektywności ekonomicznej zwiększenia grubości izolacji cieplnej przewodów, uwzględniając przy tym nowelizację wymagań w zakresie ochrony cieplnej budynków zawartą w Dyrektywie 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [4]. Wskazano w niej na zagadnienie efektywności ekonomicznej rozwiązań służących zmniejszeniu zużycia energii. W Dyrektywie stwierdza się, między innymi, że minimalne wymagania w zakresie charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków powinny zostać określone w sposób zapewniający osiągnięcie optymalnej pod względem kosztów równowagi między wymaganymi nakładami i kosztami energii zaoszczędzonymi podczas cyklu życia budynku. Jednocześnie pozostawiono państwom członkowskim prawa do określenia minimalnych wymagań, które byłyby efektywniejsze energetycznie niż optymalne po względem kosztów poziomu efektywności energetycznej.

2. OBLICZENIE WZROSTU KOSZTÓW INWESTYCYJNYCH PRZY ZASTOSOWANIU DODATKOWEJ IZOLACJI WYNIKAJĄCEJ Z NOWELIZACJI ROZPORZĄDZENIA

Zastosowanie dodatkowej izolacji wynikającej z rozporządzenia [1] wiąże się ze wzrostem kosztów inwestycyjnych. Analizę kosztów inwestycyjnych przy zastosowaniu dodatkowej izolacji wykonano dla sześciu instalacji ogrzewania powietrznego w czterech różnych budynkach. W budynku jednorodzinny (I), klubie sportowym (II), budynku 5-cio kondygnacyjnym oraz budynku parterowym. Zestawienie parametrów budynku zawiera tab.1.

Obliczono zużycie materiału izolacyjnego, koszty materiałów i wykonania izolacji przewodów 6 instalacji ogrzewania powietrznego dla trzech rodzajów izolacji:

- a) kanał wentylacyjny preizolowany (ze standardową 20 mm izolacją) z dodatkową izolacją o gr. 20 mm,
- b) kanał z blachy stalowej z izolacją o gr. 40 mm,
- c) kanał z blachy stalowej z izolacją o gr. 20 mm.

Kanał z izolacją o grubości 20 mm przyjęto jako poziom odniesienia wyznaczając wzrost kosztów izolacji przewodów do wymaganej 40 mm grubości.

Obliczenie wzrostu kosztów inwestycyjnych wykonano przy następujących założeniach:

- kanały zostały zaizolowane izolacją [5].

Tab. 1. Zestawienie parametrów obliczeniowych.

Tab. 1. List of evaluation parameters.

L.p.	Nazwa budynku	Kubatura budynku [m ³]	Długość przewodów L_{inst} [m]	Pole powierzchni wew. przewodu P_w [m ²]	Zużycie izolacji [m ²]
I.	Budynek jednorodzinny	511	76	65,4	a - 79,1 b - 77,9 c - 71,5
II.	Klub sportowy	1 921	115	110,3	a - 131,0 b - 128,7 c - 119,5
III.	Budynek 5-cio kondygnacyjny	10 206	376	554,8	a - 622,5 b - 615,0 c - 584,9
IV.	Budynek 5-cio kondygnacyjny	10 206	381	454,2	a - 522,8 b - 515,2 c - 484,7
V.	Budynek parterowy $t_{10}=26^{\circ}\text{C}$	2 700	200	698,4	a - 734,4 b - 730,4 c - 714,4
VI.	Budynek parterowy $t_{10}=40^{\circ}\text{C}$	2 700	200	382,4	a - 418,4 b - 414,4 c - 398,4

- ilość roboczogodzin wyznaczono na podstawie KNR 2-16 0103-02. Przyjęto izolację przewodów wełną mineralną luzem, liczba roboczogodzin izolatorów wynosi 0,51 r.g./m², a robotników gr. I 0,87 r.g./m².

Zużycie materiału izolacyjnego wyznaczono w oparciu o zewnętrzne wymiary kanału wg wzorów:

$$U_{izol} = 2(A+2C)+2(B+2C) = 2A+2B+8C, \text{ [m]} \quad (1)$$

gdzie U_{izol} jest to obwód kanału z uwzględnieniem grubości izolacji, [m], A – szerokość kanału, [m], B – wysokość kanału, [m], C – grubość izolacji, [m],

$$P_{izol} = U_{izol} \cdot L_{inst} \text{ [m}^2\text{]} \quad (2)$$

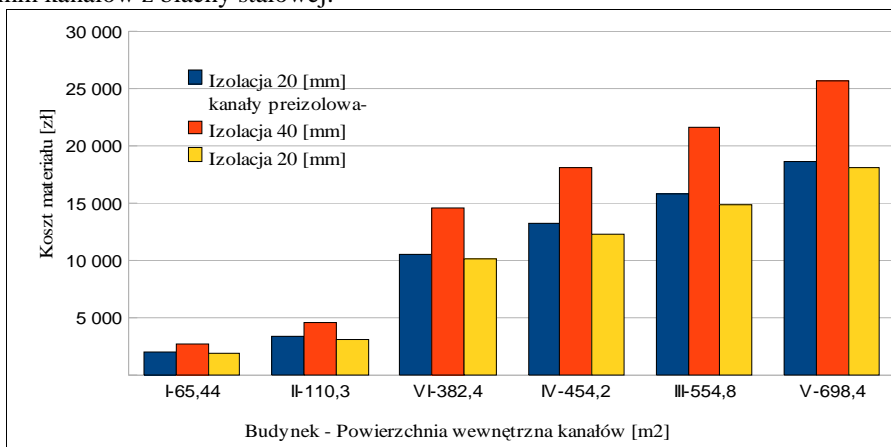
gdzie:

P_{izol} – pole powierzchni izolacji, [m²],

L_{inst} – długość przewodu, [m].

Cena jednostkowa izolacji kanału wentylacyjnego wykonanej z wełny o gr. 20 mm wynosi 25,30 zł/m², natomiast o gr. 40 mm 35,10 zł/m². Przyjęto koszt roboczogodziny 23,0 zł/r.g.

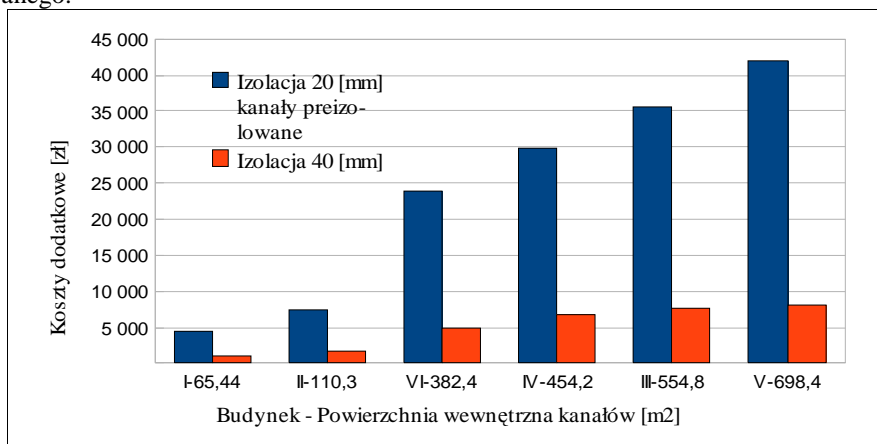
Wyniki obliczeń wzrostu kosztów inwestycyjnych przy zastosowaniu dodatkowej izolacji wynikającej z nowelizacji zawartej w rozporządzeniu [1] przedstawiono na rys. 1, 2 i 3. Najwyższe koszty materiału (rys. 1), wystąpią przy zastosowaniu izolacji o grubości 40 mm kanałów z blachy stalowej.



Rys. 1. Koszt materiału izolacyjnego w zależności od powierzchni wewnętrznej kanału.

Fig.1. The cost of insulating material depending on the surface the internal duct.

Koszty materiału przy izolowaniu kanałów blaszanych i kanałów preizolowanych warstwą materiału izolacyjnego o grubości 20 mm są zbliżone. Nieznaczna różnica między nimi wynika z większej ilości zużytego materiału z powodu większego obwodu kanału preizolowanego.



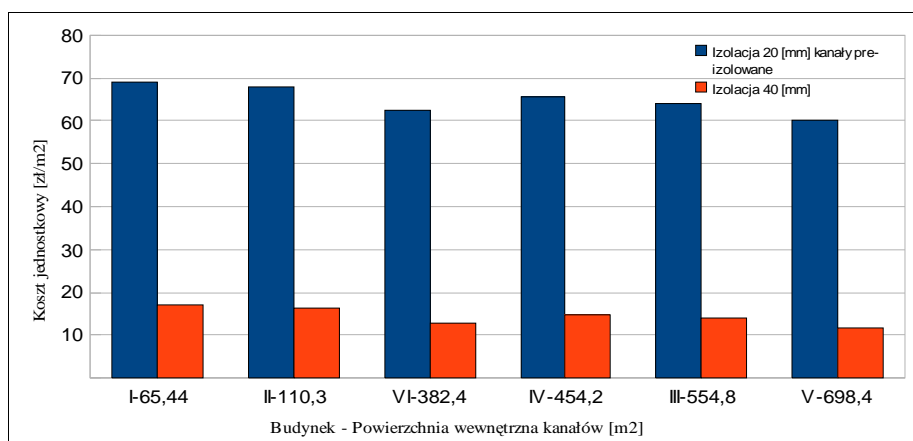
Rys.2. Dodatkowe koszty wykonania izolacji przewodów instalacji ogrzewania powietrznego wynikające ze stosowania nowelizacji rozporządzenia.

Fig.2. The additional costs of implementing the isolation pipes.

Wykonanie dodatkowej izolacji zwiększa koszty materiału izolacyjnego oraz robocizny. Na rys. 2 przedstawiono koszty wykonania dodatkowej izolacji dostosowującej grubość materiału izolacyjnego do wymaganych 40 mm.

Obliczenia wykazały około czterokrotny wzrost kosztów spowodowany zastosowaniem dodatkowej warstwy materiału izolacyjnego na przewodach preizolowanych, w stosunku do kosztów izolowania kanałów z blachy stalowej. Należy zaznaczyć, że kanały preizolowane produkowane i wykorzystywane na całym świecie, posiadają własną, fabrycznie wykonaną izolację termiczną. Zwiększenie kosztów wynika z konieczności zastosowania droższego materiału oraz większej izolowanej powierzchni.

Kanały z blachy stalowej nie wymagają dostosowywania grubości izolacji do obowiązujących wymagań, lecz tylko nałożenia materiału izolacyjnego o określonej grubości. Koszty dodatkowej izolacji kanałów blaszanych są niższe w porównaniu z kosztami dodatkowej izolacji kanałów preizolowanych.



Rys.3. Wzrost kosztów jednostkowych wykonania izolacji przewodów ogrzewania powietrznego wynikający z wprowadzenia nowelizacji do rozporządzenia.

Fig.3. The increase in elementary costs of implementation insulation pipes.

Wzrost kosztów jednostkowych wykonania dodatkowej izolacji kanałów blaszanych (rys.3) wynosi 11,6 zł/m² w dużych instalacjach (budynek parterowy V) i 17,2 zł/m² w małych instalacjach (budynek jednorodzinny I), zaś dla kanałów preizolowanych wynosi odpowiednio 60,0 zł/m² i 69,0 zł/m². Różnice między kosztami w ww. budynkach wskazują, że nowelizacja w znacznym stopniu zwiększa koszty izolacji instalacji ogrzewania powietrznego wykonanych z kanałów preizolowanych.

3. OBLICZENIE WZROSTU POWIERZCHNI I KUBATURY ZAJMOWANEJ PRZEZ PRZEWODY OGRZEWANIA POWIETRZNEGO

W celu obliczenia wzrostu powierzchni i kubatury zajmowanej przez przewody ogrzewania powietrznego wyznaczono pole przekroju poprzecznego zaizolowanego prze-

wodu, po zewnętrznej konturze przewodu, oraz objętość zaizolowanego przewodu, w oparciu o następujące wzory:

$$P = A \cdot B, [\text{m}^2] \quad (3)$$

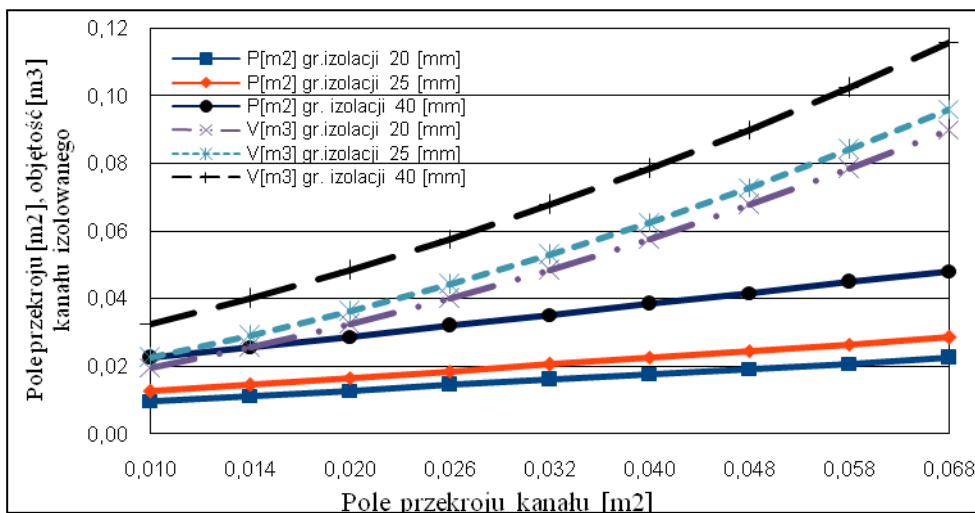
$$P_{20,25,40} = (A + 2 \cdot C) \cdot (B + 2 \cdot C), [\text{m}^2] \quad (4)$$

gdzie P jest to pole przekroju poprzecznego przewodu, $[\text{m}^2]$, $P_{20,25,40}$ - pole przekroju poprzecznego przewodu z izolacją o gr. 20, 25 i 40 mm, $[\text{m}^2]$,

$$V_{20,25,40} = P_{20,25,40} \cdot L_{inst.}, [\text{m}^3] \quad (5)$$

gdzie $V_{20,25,40}$ jest to objętość przewodu z izolacją o określonej grubości, $[\text{m}^3]$. Pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1 i 2.

Wyniki obliczeń wzrostu powierzchni i kubatury zajmowanej przez przewody ogrzewania powietrznego przedstawiono na rys. 4.



Rys.4. Charakterystyka pola przekroju poprzecznego i objętość izolowanego kanału.

Fig.4. Characteristics of the cross-sectional area and volume insulated duct.

Izolacja zwiększa powierzchnię i objętość zajmowaną przez przewody ogrzewania powietrznego. Największy wzrost pola przekroju poprzecznego kanału przy zwiększeniu grubości izolacji występuje przy grubościach 40 mm oraz małych przekrojach kanału.

Pokrycie kanałów warstwą izolacji termicznej o grubości 40 mm powoduje znaczny wzrost przestrzeni budynku zajmowanej przez kanał, w stosunku do grubości izolacji wynoszącej 20 mm i 25 mm. Objętość kanału zaizolowanego wzrasta wraz ze zwiększeniem przekroju poprzecznego kanału.

4. WNIOSKI

Przedstawiona analiza wpływu zwiększania grubości izolacji przewodów instalacji ogrzewania powietrznego na efektywność cieplną budynku [2,3] oraz powyższa analiza kosztów prowadzi do sformułowania następujących wniosków:

- udział strat ciepła przewodów w całkowitym zapotrzebowaniu ciepła budynku przy zwiększeniu grubości izolacji o 5 mm i 15 mm wynosi ok. 2,0 – 3,5% [2,3],
- w przypadku ogrzewania powietrznego, niemożliwy jest zwrot poniesionych kosztów na dodatkową izolację przewodów z oszczędności energii cieplnej, z uwagi na to, że straty ciepła przewodów ogrzewania powietrznego pozostają w budynku, ciepło nie jest tracone,
- zwiększenie grubości izolacji w celu uzyskania wymaganej nowelizacją grubości 40 mm powoduje wzrost kosztów inwestycyjnych. Zastosowanie dodatkowej warstwy materiału izolacyjnego na przewodach preizolowanych powoduje około czterokrotny wzrost kosztów, w stosunku do kosztów dodatkowej izolacji kanałów z blachy stalowej,
- większe zużycie materiałów izolacyjnych w instalacjach zamiast zakładanego zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, na skutek ograniczenia zużycia energii może przyczynić się do jej wzrostu, spowodowanego wzrostem produkcji materiałów izolacyjnych,
- zwiększenie grubości izolacji powoduje również wzrost powierzchni i objętości zajmowanej przez kanały, a więc najczęściej zajęcie przestrzeni technicznych o ewentualnie innym wykorzystaniu, a tym samym przyczyni się do wzrostu ogrzewanej kubatury budynku,
- zwiększenie grubości izolacji cieplnej przewodów ogrzewania powietrznego do wartości 40 mm prowadzi pozornie do uzyskania oszczędności energii w budynku natomiast w znacznym stopniu podnosi koszty inwestycyjne.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. *zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz.U. nr 201/2008 poz. 1238).
- [2] Rybak-Wilusz Elżbieta, Pruc Krzysztof: *Izolacja przewodów ogrzewania powietrznego w aspekcie wymagań techniczno-prawnych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 271. Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 57, nr 4/2010. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2010.
- [3] Rybak-Wilusz Elżbieta, Pruc Krzysztof: *Grubość izolacji przewodów ogrzewania powietrznego w aspekcie wymagań techniczno-prawnych i efektywności cieplnej budynków*. Izolacje. Budownictwo, przemysł, ekologia. Nr 1/2011 (152) Rok XVI. Dom Wydawniczy Medium. Warszawa 2011.
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. *w sprawie charakterystyki energetycznej budynków* (zmieniająca Dyrektywę 2002/91/WE).

- [5] Recknagel H., Schramek E.R. *Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo - Recknagel, Sprenger, Schramek*. Wydawnictwo Omni Scala. Wrocław 2008

ECONOMIC EFFICIENCY INCREASE THE THICKNESS OF THE INSULATION FOR THE HOT AIR DUCTS

SUMMARY

This article introduces economic aspects and technical evaluation regarding new requirements for the hot air ducts. In the analysis was conducted economic evaluation of increasing the thickness of thermal insulation for the hot air ducts.

Adam RYBKA, dr hab. inż. arch., prof. PRz.

Magdalena SZPYTMA, mgr inż. arch.

Politechnika Rzeszowska

Zakład Urbanistyki i Architektury

al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

e-mail: akbyr@prz.edu.pl,

e-mail: mszpytma@prz.edu.pl

Cezary SZPYTMA, mgr inż. arch.

Politechnika Rzeszowska

Zakład Projektowania Architektonicznego

al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

e-mail: cszpytma@prz.edu.pl

RÓŻNE SKALE - RÓŻNE METODY. ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH POLSKIEJ ARCHITEKTURY

STRESZCZENIE

Artykuł prezentuje różnorodne środki, które zależnie od skali są odpowiednie do uzyskania optymalnych rozwiązań skupionych wokół idei zrównoważonego rozwoju. Rozwiązania takie stają się w Polsce coraz powszechniejsze. Myślenie o wpływie na środowisko zauważyć można w różnych skalach – od urbanistyki do projektów małych budynków. Zmiany widoczne są jednak przede wszystkim w społecznej świadomości ekologicznej. Bo tak naprawdę właśnie ona gwarantuje poszanowanie środowiska w kontekście wykraczającym daleko w przyszłość i zaprzestanie skupiania się jedynie na zaspokajaniu naszych obecnych, wciąż rosnących potrzeb.

1. WPROWADZENIE

Kwestie ekologiczne są podnoszone coraz częściej i trafiają już nie tylko do architektów, ale przede wszystkim do inwestorów. Wydaje się, że zapoczątkowany proces zmian w myśleniu potrwa jeszcze jednak dość długo, zanim na dobre zdomowi się w świadomości polskiego społeczeństwa, z natury konserwatywnego i przeciwnego zmianom, kojarzącego ekologię z fanaberiami generującymi dodatkowe koszty i nieprzynoszącymi realnych

zysków. Chociaż zapewnienie ochrony środowiska w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju od dawna wpisane jest do Polskiej konstytucji, to dopiero od stosunkowo krótkiego czasu temat ten zaczyna być traktowany z należytą mu uwagą. Do tej pory dość krótkowzrocznie pojmowane kwestie ekonomiczne przeważały nad długofalową oceną wpływu budynków na środowisko. Niżej przytoczone przykłady pokazują, że ekologia może być zyskowna, a jej oblicza różnorodne i dopasowane do skali budynku. Przykłady te są dowodem na to, że pomysły pro-ekologiczne mają możliwość zaistnienia i głębszy sens użytkowy w polskich warunkach.

Pojęcie zrównoważonego rozwoju jest pojęciem zdecydowanie interdyscyplinarnym. Niemożliwe jest wręcz w krótkiej formie artykułów przedstawić dogłębnie jego istotę, dlatego pole badawcze na potrzeby tej pracy zostało zawężone do trzech przykładów prezentujących pojęcie w różnych skalach. Zrównoważony rozwój potraktowany został jako podstawowa determinanta ewolucji współczesnej architektury.

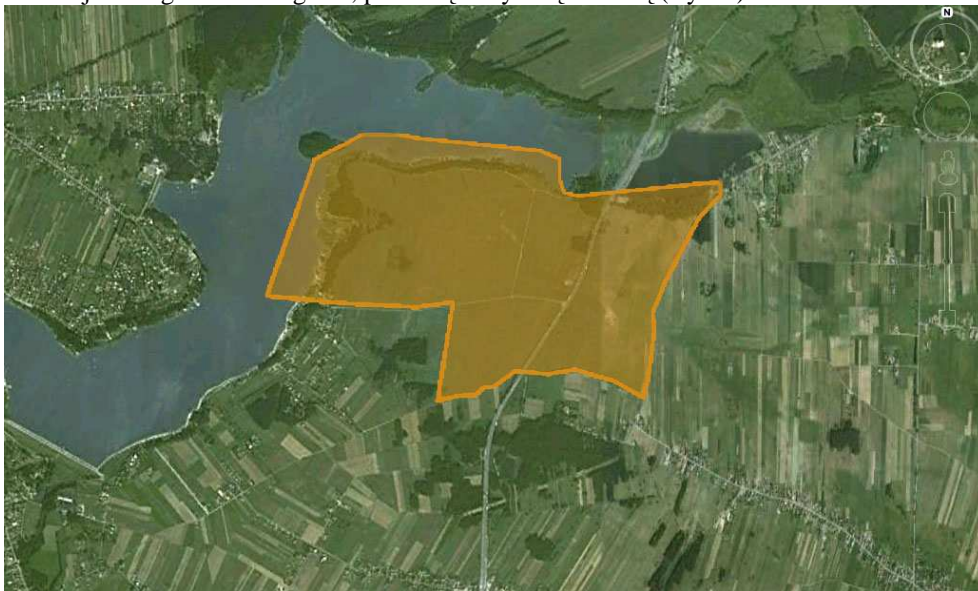
2. ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ W KONTEKŚCIE MIASTA

Pierwszy przykład odnosi się do działań długofalowych przewidzianych na co najmniej kilkanaście lat i potwierdza, że problematyka wpływu inwestycji na środowisko i zasad zrównoważonego rozwoju adaptowana jest również w urbanistyce. Znaczącym wydaje się być fakt powstania od podstaw założenia mieszkaniowego, które nie dostosowuje się do obecnych pro-ekologicznych trendów, lecz ma u swych podstaw idee zrównoważonego rozwoju. Stanowi to zupełnie nowa jakość i otwiera nowe możliwości dla zdecydowanie bardziej optymalnych rozwiązań. Zwraca też uwagę planowany nacisk kładziony na edukację przyszłych mieszkańców. Bez wątpienia jest to elementem kluczowym dla ewentualnego sukcesu całego projektu w kontekście ekologii. Jeśli przedsięwzięcie odniesie sukces, będzie to niewątpliwie ogromne osiągnięcie, które - co bardzo prawdopodobne - może się stać punktem odniesienia dla kolejnych realizacji urbanistycznych opartych na podobnych założeniach.

Projekt ma powstać niedaleko Katowic, w gminie Siewierz jako pierwsze w Polsce budowane od podstaw ekologiczne miasteczko. Teren inwestycji zajmuje powierzchnię 120 ha w bezpośrednim sąsiedztwie zalewu Przeczycko-Siewierskiego. Ze względu na bardzo dobre skomunikowanie z aglomeracją śląską, teren ma ogromny potencjał aby stać się idealnym miejscem do mieszkania dla ludzi ceniących sobie kontakt z przyrodą i jednocześnie aktywnych zawodowo. Projekt miasteczka opiera się na zasadach zrównoważonego rozwoju łącząc szacunek do środowiska, potrzeby społeczne, i efektywność ekonomiczną. Nad projektem pracowała ekipa międzynarodowych urbanistów, pod kierownictwem Macieja Mycielskiego. Zorganizowane zostały dwutygodniowe warsztaty z udziałem ekspertów, lokalnej społeczności, przedstawicieli Urzędu Miasta i Gminy Siewierz oraz przedstawicieli inwestora, w czasie których dyskutowano nad kształtem przyszłej inwestycji [1].

Podstawową koncepcją projektową było uszanowanie istniejącego krajobrazu i zachowanie jego wartości. Koncepcja eko-miasteczka nawiązuje do założeń miastogrodu, charakteryzującego się niską zabudową i znacznym udziałem zielonych terenów rekreacyjnych. Urbanistyka miasteczka podporządkowana jest przede wszystkim topografii terenu. Jest ona zresztą bardzo cennym atutem założenia. Pagórkowate ukształtowanie oraz

spadek w kierunku jeziora wpływają na atrakcyjność krajobrazową miejsca. Dodatkowym atutem jest długa linia brzegowa, porośnięta wysoką zielenią (Rys. 1).



Rys. 1. Eko-miasteczko Siewierz –obszar inwestycji. Opracowanie własne.

Fig. 1. Eco town Siewierz – the area of investment. Illustration by authors.

Obszar podzielono na kilka jednostek mieszkalnych, różniących się charakterem i skalą zabudowy, zlokalizowanych wokół placów miejskich. Oprócz funkcji mieszkaniowej: domów jednorodzinnych wolnostojących, bliźniaczych, szeregowych i wielorodzinnych willi miejskich, przewidziana jest strefa biznesowa z certyfikowanymi biurowcami, przestrzenią usługową, hotelem i centrum konferencyjnym. Funkcję kulturotwórczą tradycyjnie pełni rynek. Z rynkiem łączy się park z siecią stawów i oczek wodnych, zajmując centralnie położoną dolinę. Naturalnie ukształtowana linia brzegowa, wzbogacona o moło, mały port dla żaglówek, amfiteatr i plażę tworzy idealną przestrzeń dla rekreacji mieszkańców.

Przy współpracy ze specjalistami z branży ochrony środowiska, nowoczesnych technologii oraz zrównoważonej urbanistyki opracowano szczegółowe rozwiązania zapewniające oszczędne gospodarowanie energią w skali miasta, jak również w skali poszczególnych obiektów. Planowane jest wdrożenie nowoczesnych rozwiązań, które zagwarantują wysoką efektywność energetyczną, ograniczenie emisji dwutlenku węgla oraz racjonalne gospodarowanie zasobami wodnymi. Dla uzyskania zakładanych efektów planowana jest budowa elektrociepłowni ze źródłem kogeneracyjnym, wykorzystująca gaz ziemny do produkcji energii elektrycznej i ciepła w efekcie umożliwiającą uzyskanie tańszej energii oraz centralne ogrzanie kompleksu biurowego i zabudowy wielorodzinnej. Nowoczesne metody uzyskiwania energii cieplnej, m.in pompy ciepła, ograniczą emisję CO₂ i pozwolą

na oszczędności finansowe w czasie eksploatacji. Duży areal terenów zielonych będzie nawadniany dzięki odzyskiwaniu wody deszczowej.

Poszczególne jednostki mieszkalne będą samowystarczalne, dzięki własnej produkcji energii elektrycznej i ciepłej oraz z częściowo własną gospodarką wodno-ściekową. Źródłem prądu będą ogniwa fotowoltaiczne, elektrownie wiatrowe oraz agregaty prądotwórcze napędzane biopaliwem. Do produkcji ciepłej wody wykorzystane zostaną kolektory słoneczne i dodatkowo instalacja kominkowa, służąca celom grzewczym budynków. Zbiorniki na wody opadowe, filtry roślinne, przepompownie umożliwią racjonalne gospodarowanie zasobami wodnymi.

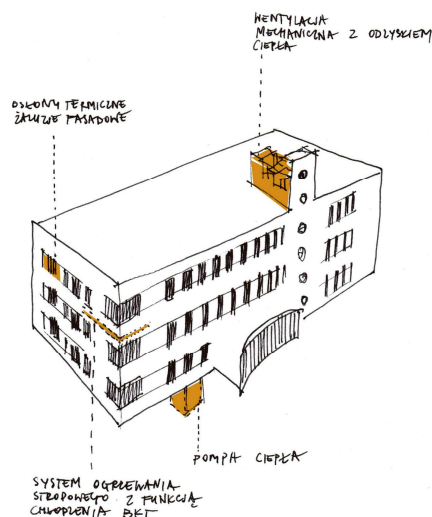
Powołane zostanie biuro sprzedaży, gdzie będzie można uzyskać informacje od eksperta ds. ekologii i zrównoważonego rozwoju. Każdemu z klientów udzielony zostanie eko- instruktaż, jak urządzić i użytkować mieszkanie, aby było to w pełni ekologiczne [2] [3].

3. ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ W KONTEKŚCIE BUDYNKU

Dobrym i aktualnym przykładem dużego budynku publicznego wpisującego się w nurt zrównoważonego rozwoju jest powstający na terenie Euro-Centrum Parku Naukowo-Technologicznego w Katowicach w pełni pasywny biurowiec o powierzchni 6335 m². W budynku planowane jest zastosowanie licznych zaawansowanych technologii proekologicznych. Budowę rozpoczęto w sierpniu 2011r. w ramach projektu „Utworzenie Parku Naukowo-Technologicznego Euro-Centrum - rozwój i zastosowanie nowych technologii w obszarze poszanowania energii i jej odnawialnych źródeł”. Działalność Parku jest całkowicie skoncentrowana na kwestii poszanowania energii w budynkach oraz rozwoju technologii energooszczędnych. W przeważającej części składa się z nowoczesnej infrastruktury biznesowo-badawczej, łącząc w kompleksowy sposób sferę biznesu z działalnością naukową. Poprzez zaplecze laboratoryjne, wsparcie finansowe oraz szybki dostęp do wiedzy i wyników najnowszych badań branżowych tworzy dobre warunki dla lokalizacji firm technologicznych. Współpraca z ośrodkami naukowo – badawczymi zapewnia doskonałe zaplecze naukowe i bazę wymiany informacji. Nowopowstający biurowiec ma służyć rozbudowie infrastruktury technicznej Parku oraz utworzeniu pierwszych na Śląsku laboratoriów do rozwoju technologii energooszczędnych i odnawialnych źródeł energii.

Projekt biurowca wykonała pracownia architektoniczna Projekt Grupa Sławomir Kostur. Budynek przeznaczony będzie dla firm technologicznych zajmujących się działalnością badawczą, rozwojową i innowacyjną, zwłaszcza z branży odnawialnych źródeł energii. Opierając się na ekologicznych i energooszczędnych rozwiązaniach biurowiec spełniać będzie wszystkie wymogi budynku pasywnego. Proponowane technologie pozwolą zaoszczędzić 2/3 standardowo zużywanej energii. „Mózgiem” budynku będzie system zarządzania BMS, odpowiedzialny za sterowanie urządzeniami. Za pomocą czujników kontrolować będzie temperaturę i decydować o dodatkowym grzaniu lub chłodzeniu. Po godzinach pracy budynku zamykane będą wszystkie elementy wentylacji, oszczędzając tym samym zakumulowane wewnątrz budynku ciepło. Za ogrzanie budynku odpowiadać będzie pompa ciepła. Za pomocą studni geotermalnych ciepło uzyskane z głębi ziemi ogrzewa wodę, która obsługuje system BKT. Wykorzystuje on zasadę akumulacji ciepła. Latem przegrody absorbują nadmiar ciepła, a zimą izolują. Wewnątrz stropów o grubości 30 cm

zatonione są rury, przez które przepływa woda grzejna bądź chłodząca. System BKT wspomagać będzie wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła. Przy pomocy zamontowanego na dachu rekuperatora zimną udą się odzyskać 75% energii cieplnej z wywiewanego powietrza. W lecie gorące powietrze czerpiane z zewnątrz schładza agregat wody lodowej. Żaluzje fasadowe wyposażone w czujniki nasłonecznienia oraz własny system zarządzania, w zależności od warunków atmosferycznych, stopnia nasłonecznienia, składają się lub otwierają. Zainstalowane na dachu kolektory słoneczne posłużą do konwersji promieniowania słonecznego na ciepło, którego nośnikiem może być gaz lub ciecz. Energia elektryczna pozyskiwana będzie dodatkowo dzięki ogniwoom fotowoltaicznym. Wszystkie zastosowane technologie pozwolą obniżyć zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzania wnętrza z 120 kWh/m²/rok (w budynku konwencjonalnym) na 15 kWh/m²/rok (Rys. 2).



Rys. 2. Biurowiec energooszczędny. Zasada działania. Opracowanie własne.

Fig. 2. Energy-efficient office building. Principle of operation. Illustration by authors.

W ramach tego samego projektu („Utworzenie Parku Naukowo-Technologicznego Euro-Centrum - rozwój i zastosowanie nowych technologii w obszarze poszanowania energii i jej odnawialnych źródeł”), rewitalizacji poddany został i inny budynek o powierzchni przeszło 738 m². Stanie się on siedzibą Centrum Testowania Systemów Solarnych oraz Centrum Szkoleniowego Nowoczesnych Technik Grzewczych. Wykorzystując wszystkie najnowsze technologie pozwalające oszczędnie gospodarować energią, posłuży do rozwoju nowych technik. Specjalistyczne laboratoria pozwolą na testowanie kolektorów i systemów słonecznych (tzw. sztuczne słońce). Będzie w nich badana odporność urządzeń na wstrząsy cieplne i ich wodoszczelność. Organizowane mają być specjalistyczne szkolenia, dla instalatorów kolektorów słonecznych, pomp ciepła, systemów wentylacji i kotłów na paliwa stałe [4].

Zasady zrównoważonego rozwoju mają dla Parku znaczenie kluczowe. (Funkcja Parku jest z nimi nierozzerwalnie związana.) Ale będąc podstawą powstawania realnych elementów całego założenia czyli budynków, stają się niejako wizytówką całej idei i elementem głębszej filozofii, opierającej się na praktycznym wdrażaniu w życie prowadzonych badań. Służyć to ma oczywiście również budowaniu w oparciu o hasła ekologii marki całego założenia. Idea jest jednak na tyle szczytna, że nie umniejsza jej wartości nawet wykorzystanie jej dla celów marketingowych.

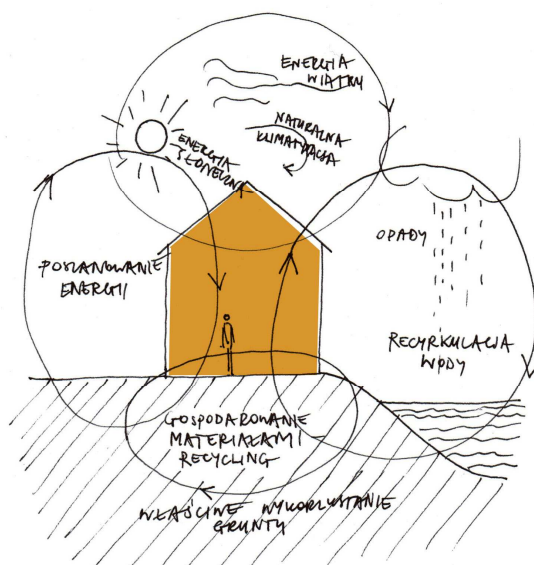
4. ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ A ŚWIADOMOŚĆ SPOŁECZNA

Najmniejsza architektoniczna skala wymaga innych rozwiązań. Wydają się, że podstawą sukcesu takiego projektu jest szczególnie głęboka świadomość i odpowiedzialność społeczna inwestorów. W prezentowanym przykładzie domu jednorodzinnego inwestorzy skłonni byli do ograniczenia swoich potrzeb i niejako podporządkowania się naturze. Projekt ten pokazuje, że kwestia samouświadomienia sobie prawdziwej skali własnych potrzeb jest sprawą bardzo ważną.

Powstał w 2000 roku we wsi Jartypory i został utrzymany w konwencji low-tech. Ograniczono się do zminimalizowania kosztów powstania i utrzymywania budynku, bez stosowania zaawansowanej technologii (wciąż stosunkowo drogiej). Odwołano się również do tradycji budowlanych, istniejących w tym niezamierzonym rejonie kraju.

Dom jest mały (nieco ponad 100m² powierzchni), kompaktowy w formie, z jednym skromnym węzłem sanitarnym. Zużycie energii cieplnej zostało ograniczone poprzez odpowiednie rozplanowanie rzutu: pokoje są otwarte na południe, wschód i zachód, od północy dom osłonięty jest skarpą chroniącą od wiatru. Pozwoliło to w łatwy sposób ograniczyć straty ciepła i zyskać na pasywnym ogrzewaniu słonecznym. Zastosowano też rozwiązanie o charakterze buforowym, zapobiegające nadmiernej wymianie powietrza.

Budynek zbudowany został z prostych materiałów, niewymagających na etapie produkcji dużych nakładów energetycznych, co jest to elementem myślenia pro-ekologicznego w skali ogólnej. Dom zbudowany został z cegły wapienno-gipsowej, gipsu i ocieplony wełną celulozową, produkowaną z makulatury. Wzniesiony został na terenie nieprzydatnym dla rolnictwa, ale działka i tak niemal w całości jest biologicznie czynna (całości dopełnia zielony dach). Woda deszczowa jest odzyskiwana dla celów gospodarczych, a pitna oczyszczana w niskotechnologicznej oczyszczalni korzeniowej działającej na zasadzie naturalnego bagna. Wszelkie nieczystości są zagospodarowywane w obrębie działki. Zużycie energii potrzebnej na oświetlenie zostało ograniczone do minimum, poprzez zapewnienie dostępu światła dziennego. Energię potrzebną do potrzeb klimatyzacji zredukowano stosując w całym budynku wentylację grawitacyjną. Jednym z niewielu zaawansowanych technologicznie elementów wyposażenia jest katalizator spalin dwufunkcyjnego pieca na naturalny opał drzewny (Rys. 3), [5].



Rys. 3. Idea low-tech. Opracowanie własne.
Fig. 3. Low-tech idea. Illustration by authors.

Ekologiczność w projekcie została potraktowana w sposób szerszy. Nie ograniczyła się jedynie do architektury. Widoczna jest w podejściu i stylu życia właścicieli, którzy nawet część pracy zawodowej zdecydowali się wykonywać w domu, chcąc wpłynąć na redukcję emisji spalin i poprawę jakości powietrza w skali makro...

5. PODSUMOWANIE

Zrównoważony rozwój jest dla przyszłości kraju sprawą podstawową i nie budzącą dzisiaj żadnych kontrowersji co do swej zasadności. To czy w Polsce zaistnieje on realnie, będzie kluczowe dla naszego rozwoju i czynnikiem, który może przybliżyć nas do poziomu krajów Europy zachodniej. Przedstawione w artykule projekty i realizacje pokazują, że zaczynamy zmierzać w dobrym kierunku. Jednocześnie obnażają one braki w systemowym podejściu do tematu. Przytoczone przykłady dotyczą przecież budynków i obszarów wciąż jeszcze bardzo unikalnych w skali kraju. Mimo tego, dają one podstawy do wyszczególnienia pewnej systematyki rozwiązań proekologicznych, adekwatnych do skali budynku i zależnych od budżetu projektu.

Na podstawie prezentowanych przykładów można wyodrębnić dwa podejścia do tematu projektowania ekologicznego - high-tech i low-tech. High-tech skupia się na wykorzystywaniu najnowszych rozwiązań technologicznych - tego typu rozwiązania stosowane są często w nowoprojektowanych budynkach komercyjnych. Dobrze pokazuje to przykład biurowego budynku pasywnego w Katowicach, realizującego doskonale ideę budynku o zminimalizowanym zapotrzebowaniu na energię i tym samym o znacznie obniżonym wpływie na środowisko. Budynku, który – co bardzo ważne – ma stać się pierwszym ele-

mentem proekologicznej infrastruktury całego parku, a ten z kolei prototypem dla przyszłych rozwiązań w tej skali.

Low-tech – czyli druga metoda podejścia do tematu - stosowane jest najczęściej w budynkach o małej skali, skupia się na wykorzystaniu niedrogich, tradycyjnych technologii i codziennego świadomego gospodarowania zasobami naturalnymi. Zaprezentowany przykład domu jednorodzinnego w czytelny sposób ukazuje, że wszystko zaczyna się od zmiany myślenia - dopiero pełna świadomość odpowiedzialności za środowisko przed przyszłymi pokoleniami jest kluczem do zmian.

Reasumując, wydaje się jednak, że to myślenie o wpływie na środowisko i zasadach zrównoważonego rozwoju w skali urbanistycznej jest podstawą długofalowego rozwoju kraju (który wydaje się być w Polsce osiągalny). Choć oczywiście wpływ jednostkowych rozwiązań na sprawy ekologii jest sprawą istotną, to właśnie skala miast jest tym, co może globalnie zmienić nasze oddziaływanie na środowisko. Miasta kształtowane tak jak eko-miasteczko w gminie Siewierz mogą rozpocząć nowy rozdział polskiej urbanistyki.

6. LITERATURA

- [1] http://tvs.pl/24039,siewierz_powstaje_ekomiasteczko.html, 22. 03. 2012
- [2] <http://ekomiasteczko.pl>, 22. 03. 2012
- [3] Czyżewski P., http://koalicjaklimatyczna.org/lang/pl/page/materialy_konferencyjne/id/8/file/37/option/save, 22.03.2012
- [4] <http://euro-centrum.com.pl/park-naukowo-technologiczny>, 22. 03. 2012
- [5] Śmiechowski D., *Architektura proekologiczna z zastosowaniem podejścia niskotechnologicznego (low-tech)*, Architektura 4(187)/2010
- [6] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r.
- [7] Rybka A., Christiaen L.,: *Several definitions of zero-energy buildings depending on calculation procedure and boundary conditions*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, z. 53, s. 33 - 38, Rzeszów 2009,
- [8] Rybka A., Vande Castele Y. *Main goal - how to achieve a zero-energy building* Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria: Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 53, 38 - 46, 2009

DIFFERENT SCALES – DIFFERENT APPROACHES. SUSTAINABLE DEVELOPMENT ON SELECTED EXAMPLES OF POLISH ARCHITECTURE.

SUMMARY

This article presents a range of measures which, depending on the scale is appropriate to obtain optimal solutions centered around the idea of sustainable development. Such solutions are becoming increasingly common in Poland. Thinking about the environmental impact can be observed at different scales - from urban to small building projects. The changes are visible, however, especially in social environmental awareness. It is the real guarantee of respect for the environment in the context of going far into the future and stop focusing only on meeting our current, ever-growing needs.

Alicja SIUTA-OLCHA, dr inż.

Politechnika Lubelska
Zakład Inżynierii Środowiska Wewnętrznego
ul. Nadbystrzycka 40 B, 20-618 Lublin
e-mail: a.siuta-olcha@pollub.pl

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA EKSPERYMENTALNEJ INSTALACJI SŁONECZNEJ CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

STRESZCZENIE

Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych słonecznej instalacji ciepłej wody użytkowej, zlokalizowanej w Lublinie. Instalacja słoneczna składa się z próżniowego kolektora słonecznego o powierzchni $3,9 \text{ m}^2$, który współpracuje z wodnym zbiornikiem magazynującym o pojemności 350 dm^3 . Na podstawie bazy danych pomiarowych wyznaczono ilość energii użytecznej dostarczanej z kolektora energii promieniowania słonecznego do magazynu ciepła oraz ilość energii zmagazynowanej. Określono sprawności chwilowe kolektora słonecznego oraz sprawności akumulacji ciepła w instalacji badawczej. Przedstawiono dobowe rozkłady temperatury wody w zbiorniku akumulacyjnym oraz oceniono stopień stratyfikacji termicznej wody w zbiorniku.

1. WPROWADZENIE

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do pokrycia potrzeb energetycznych budynku powoli staje się koniecznością. Obecnie projektanci i inwestorzy powinni rozważać możliwość zastosowania instalacji kolektorów energii promieniowania słonecznego, na przykład do wspomagania podgrzewu ciepłej wody użytkowej, jako rozwiązania energooszczędnego i ekologicznego. Do oceny spodziewanych uzysków energetycznych w danym systemie słonecznym, biorąc pod uwagę daną lokalizację, można posłużyć się albo symulacjami komputerowymi albo wynikami badań eksperymentalnych konkretnej instalacji, działającej w warunkach rzeczywistych.

2. OPIS BADAWCZEJ INSTALACJI SŁONECZNEJ PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Eksperymentalna instalacja słoneczna ciepłej wody użytkowej znajduje się w Lublinie, w budynku Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Lubelskiej. Głównym jej elementem jest próżniowy kolektor słoneczny Solarglas SG1800/24-rurowy o wymiarach zewnętrznych: 2040×1994×157 mm i powierzchni brutto 3,9 m². Kolektor ten zamontowany jest na specjalnym stelażu pod kątem 38° względem poziomu, na południowo-wschodniej elewacji budynku (rys. 1). Kolektor słoneczny współpracuje z podgrzewaczem pojemnościowym o pojemności około 350 dm³, wewnątrz którego, w dolnej jego części, znajduje się wymiennik ciepła w postaci spiralnej wężownicy o średnicy 26,9×2,3 mm i o długości 18 m. Zbiornik został zaizolowany cieplnie wełną mineralną o grubości 10 cm (rys. 2). Szczegółowy opis stanowiska badawczego oraz układu pomiarowego instalacji został zamieszczony w [1].



Rys. 1. Kolektor słoneczny próżniowy
Fig. 1. Vacuum tube solar collector



Rys. 2. Podgrzewacz pojemnościowy
Fig. 2. DHW cylinder

3. METODYKA BADAŃ

Analizę efektywności energetycznej słonecznej instalacji ciepłej wody użytkowej przeprowadzono na podstawie zgromadzonych danych pomiarowych, rejestrowanych co 5 minut. Pomiarami objęto odpowiednie parametry meteorologiczne oraz parametry instalacji badawczej w charakterystycznych jej punktach. Ilość energii zaabsorbowanej przez kolektor słoneczny wyznaczono na podstawie wzoru (1):

$$E_{sl} = DDN \cdot \eta_{kol} \cdot A_{kol} \quad (1)$$

gdzie: DDN – dobowa dawka nasłonecznienia [J/m^2], η_{kol} – sprawność kolektora słonecznego [%], A_{kol} – powierzchnia kolektora słonecznego [m^2].

Chwilową sprawność kolektora słonecznego uzyskano ze wzoru (2):

$$\eta_{kol} = \frac{\dot{m}_{kol} \cdot c_{p, glik} (T_{33} - T_{32})}{I_{sl} \cdot A_{kol}} \quad (2)$$

gdzie: m_{kol} – przepływ masowy czynnika roboczego w obiegu kolektorowym [kg/s], $c_{p,gl\ddot{a}k}$ – ciepło właściwe roztworu wodnego glikolu [J/(kg·K)], T_{33} – temperatura czynnika roboczego opuszczającego kolektor słoneczny [K], T_{32} – temperatura czynnika roboczego zasilającego kolektor słoneczny [K], I_{st} – natężenie promieniowania słonecznego [W/m²].

Ilość energii zakumulowanej w zbiorniku dla każdego dnia obliczono zgodnie ze wzorem (3):

$$E_p = m_w \cdot c_w (T_{max} - T_{pocz}) \quad (3)$$

gdzie: m_w – masa wody w zbiorniku [kg], c_w – ciepło właściwe wody [J/(kg·K)], T_{max} – temperatura maksymalna wody w zbiorniku [K], T_{pocz} – temperatura początkowa wody w zbiorniku [K].

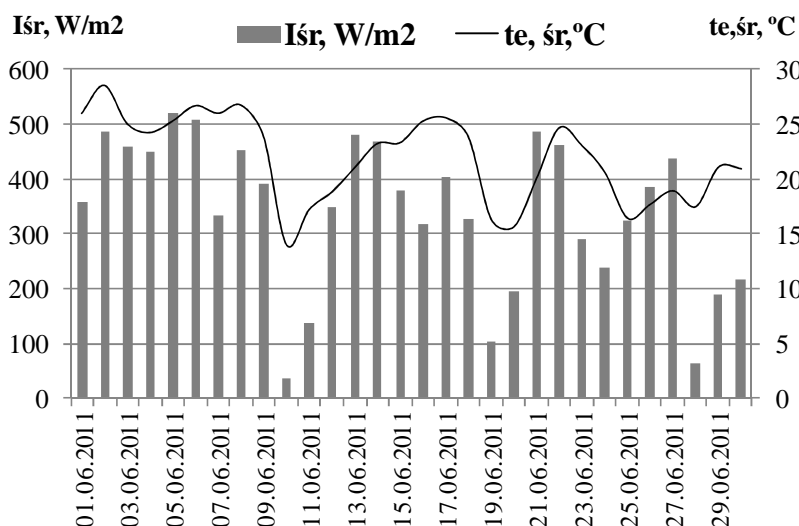
Sprawność akumulowania energii w badanej instalacji słonecznej wyznaczono ze wzoru (4):

$$\eta_{ak} = \frac{E_p}{DDN \cdot A_{kol}} \quad (4)$$

Stopień stratyfikacji termicznej ustalono jako różnicę między maksymalną temperaturą wody w zbiorniku a jej temperaturą minimalną w danej godzinie doby.

4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Efekty energetyczne instalacji słonecznej zależą przede wszystkim od warunków pogodowych, głównie od natężenia promieniowania słonecznego oraz od temperatury powietrza zewnętrznego. Na rys. 3 przedstawiono zmienność tych parametrów dla poszczególnych dni czerwca 2011 roku.

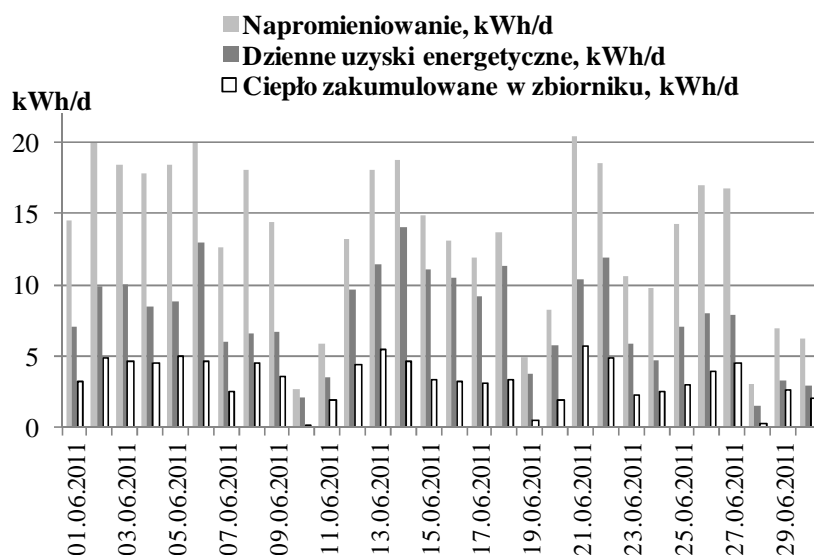


Rys. 3. Zmienność średnich dobowych parametrów pogodowych w miesiącu czerwcu 2011

Fig. 3. Variability of average 24-hours weather parameters in June 2011

Są to wartości uśrednione, ustalone dla godzin z zakresu 6:00÷18:00. Najniższą wartość średniego natężenia promieniowania słonecznego odnotowano 10 czerwca, to jest tylko 36 W/m^2 , a w dniu 5 czerwca wartość najwyższą - $520,37 \text{ W/m}^2$. Najwyższą średnią temperaturę powietrza zewnętrznego zanotowano 2 czerwca - $28,55^\circ\text{C}$, a najniższą 10 czerwca - $14,08^\circ\text{C}$. Średnie miesięczne natężenie promieniowania słonecznego ustalono na poziomie $336,7 \text{ W/m}^2$. Średnia dzienna dawka napromieniowania dla rozważanego miesiąca wyniosła $3,44 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$, a dla poszczególnych dni mieściła się w zakresie od $0,68 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$ (dla 10.06.2011) do $5,22 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$ (dla 21.06.2011).

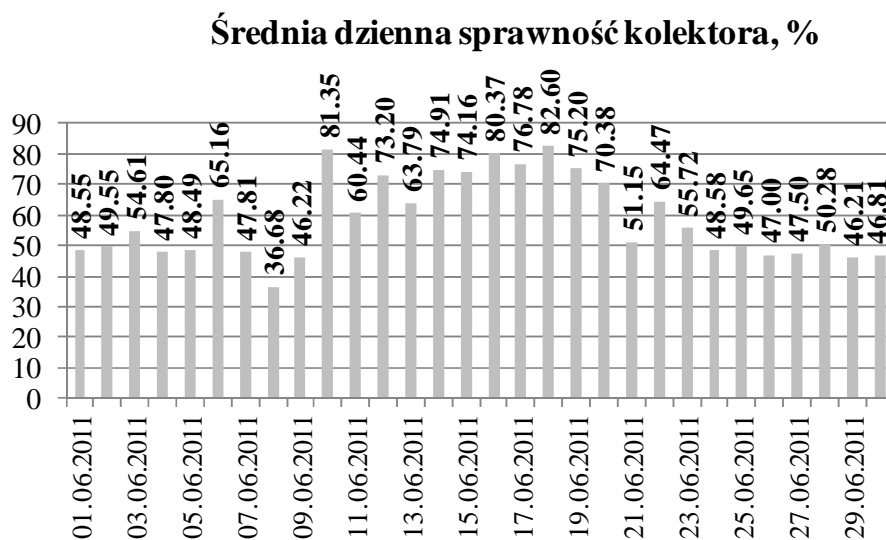
Na rys. 4 pokazano zestawienie: wielkości napromieniowania słonecznego padającego w ciągu dnia na kolektor słoneczny, dobowych wydajności instalacji słonecznej oraz ciepła zmagazynowanego w instalacji. Miesięczny uzysk energetyczny instalacji wyniósł $232,6 \text{ kW}\cdot\text{h}$. W ciągu miesiąca zmagazynowano w zbiorniku $101,6 \text{ kW}\cdot\text{h}$ energii cieplnej. W czerwcu realizowane były codziennie cztery pobory ciepłej wody ze zbiornika w ilości po 50 dm^3 o godzinach: 9:00, 12:00, 15:00 i 19:00.



Rys. 4. Efektywność energetyczna badawczej instalacji słonecznej
Fig. 4. Energy efficiency of the experimental solar installation

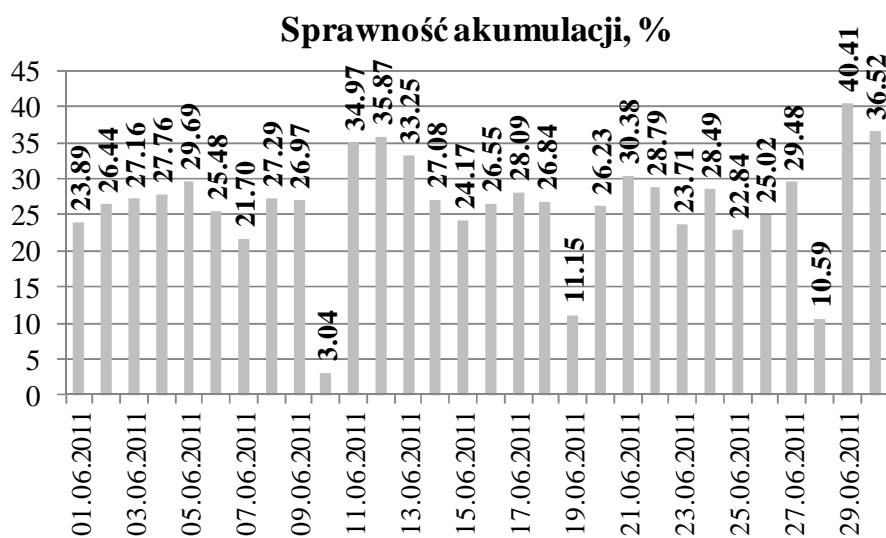
Średnią sprawność cieplną kolektora słonecznego w miesiącu czerwcu 2011 określono na poziomie $58,85\%$. Na rys. 5 przedstawiono średnie dzienne sprawności zamontowanego kolektora, które zostały ustalone dla godzin doby z zakresu 6:00÷17:00.

Średnia sprawność akumulacji energii cieplnej dla analizowanego miesiąca była na poziomie $26,33\%$. Maksymalną sprawność akumulacji w instalacji słonecznej $40,41\%$ uzyskano 29 czerwca, a minimalną sprawność akumulacji 10 czerwca i wyniosła ona tylko $3,04\%$. Szczegółowe zestawienie sprawności akumulacji ciepła w instalacji słonecznej pokazano na rys. 6.



Rys. 5. Średnia dzienna sprawność cieplna kolektora słonecznego

Fig. 5. Average daily thermal efficiency of the solar collector



Rys. 6. Sprawność akumulacji ciepła w instalacji słonecznej

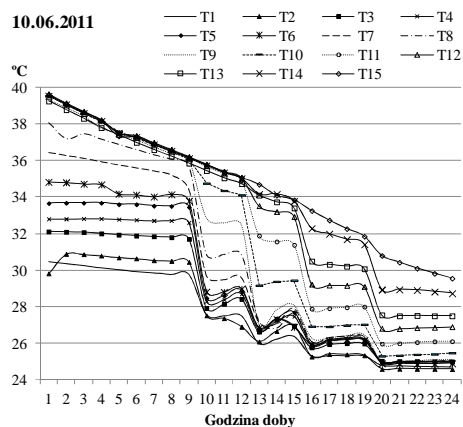
Fig. 6. Energy accumulation efficiency in the solar system

Na efektywność energetyczną instalacji słonecznej ma wpływ rozwarstwienie termiczne wody w zbiorniku magazynującym [2-3]. Układ ze zbiornikiem, w którym wystę-

puje zjawisko stratyfikacji termicznej posiada sprawność większą niż układ ze zbiornikiem o jednakowej temperaturze magazynowanej wody w całej objętości [4].

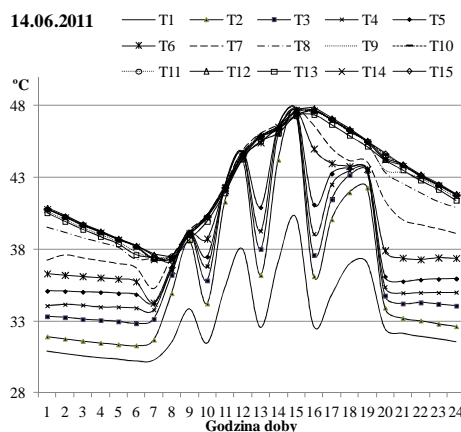
W celu określenia rozkładu temperatury wody w pionowym zbiorniku magazynującym, zamontowano w nim zanurzeniowe czujniki temperatury Pt500. Zastosowano 15 czujników T1÷T15 (poczynając od dołu zbiornika) rozmieszczonych co 10 cm, o średnicy osłony 6 mm i jej długości 50 mm. Na rys. 7÷8 zaprezentowano zmiany temperatury wody w zbiorniku zarejestrowane przez czujniki T1÷T15.

10 czerwca był dniem o bardzo niekorzystnych warunkach pogodowych. Temperatura wody w zbiorniku systematycznie obniżała się, zachowując rozwarstwienie (rys. 7). Na początku doby uzyskano większe różnice temperatury w dolnej części zbiornika. W ciągu kolejnych godzin sytuacja uległa zmianie. Po poborze wody ciepłej o godzinie 12:00 pojawiło się wyraźniejsze zróżnicowanie temperaturowe w górnej części zbiornika. Stopień stratyfikacji jednak uległ wyraźnemu zmniejszeniu. W pierwszej godzinie doby średni godzinowy stopień stratyfikacji termicznej wynosił 9,8°C, a pod koniec doby tylko 5°C. Średnia temperatura wody w zbiorniku o godzinie 12:00 osiągnęła poziom 31,4°C.



Rys. 7. Rozkład temperatury wody w zbiorniku 10 czerwca

Fig. 7. Water temperature distribution in the storage tank on 10 June

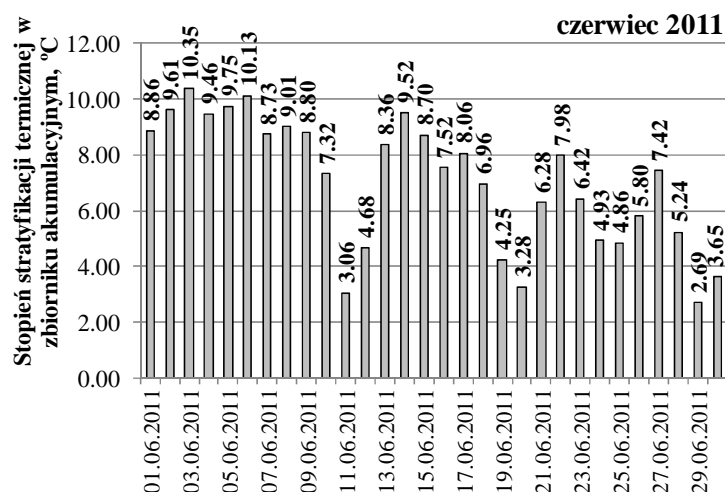


Rys. 8. Rozkład temperatury wody w zbiorniku 14 czerwca

Fig. 8. Water temperature distribution in the storage tank on 14 June

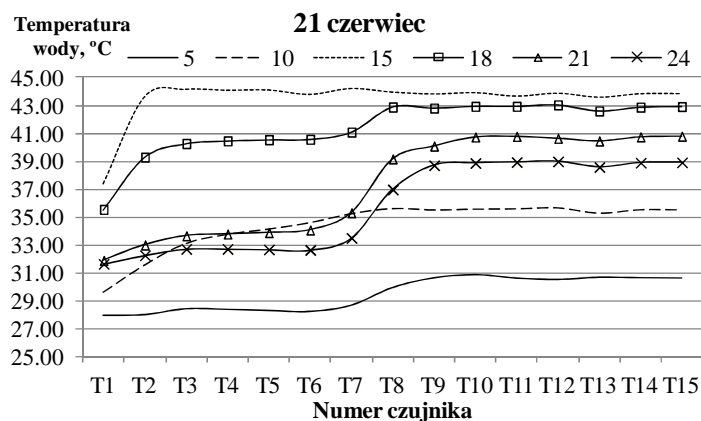
14 czerwca należał do dni o sprzyjających warunkach meteorologicznych. Średnia wartość natężenia promieniowania słonecznego wyniosła 467 W/m², a średnia temperatura powietrza zewnętrznego 23,3°C. Analizując rozkład temperatury wody w zbiorniku, przedstawiony na rys. 8, można zauważyć silny wpływ poborów ciepłej wody na zmiany temperatury. W godzinach z dobrym nasłonecznieniem temperatura wody w górnej części zbiornika, to jest nad wężownicą, prawie jest wyrównana. Średnia temperatura wody w zbiorniku o godzinie 12:00 osiągnęła poziom 44,1°C. Średnia godzinowa stratyfikacja w tym dniu w godzinach rannych i wieczornych kształtowała się w granicach 8°C÷12°C.

Dla większości przypadków stwierdzono, że zróżnicowanie temperatury wody w zbiorniku wystąpiło głównie w godzinach nocnych, rano oraz w godzinach wieczornych po ostatnim poborze ciepłej wody o godzinie 19:00. Średni dobowy stopień stratyfikacji termicznej wody w zbiorniku w miesiącu czerwcu uzyskano z zakresu 2,7÷10,3°C (rys. 9). Średni stopień stratyfikacji termicznej wody w zbiorniku w miesiącu czerwcu 2011 wyniósł 7,1°C.



Rys. 9. Średni dobowy stopień stratyfikacji termicznej w zbiorniku magazynującym
 Fig. 9. Average 24-hours degree of thermal stratification in the storage tank

Na rys. 10 przedstawiono rozkład temperatury wody w zbiorniku dla sześciu wybranych godzin doby w dniu 21 czerwca 2011.



Rys. 10. Chwilowe zmiany temperatury wody w zbiorniku w dniu 21 czerwca
 Fig. 10. Instantaneous changes of water temperature in the tank on June 21

O godzinie 5:00 można wyróżnić dwie strefy: dolną o temperaturze wody około 28,3°C oraz górną o prawie wyrównanej temperaturze równej 30,6°C. O godzinie 15:00 prawie wzdłuż całej wysokości zbiornika temperatura wody była wyrównana i wynosiła średnio 43,9°C. W godzinach wieczornych, a przede wszystkim po ostatnim poborze ciepłej wody ze zbiornika, wyraźnie zaznaczają się dwie warstwy o prawie wyrównanych temperaturach wody, które przedzielone są warstwą przejściową, zwaną termokliną.

5. PODSUMOWANIE

Uzyski energetyczne w słonecznej instalacji ciepłej wody użytkowej zależą od warunków nasłonecznienia oraz od sprawności cieplnej kolektora słonecznego. Harmonogram poboru ciepłej wody ma wpływ na ilość ciepła zmagazynowanego w instalacji oraz na rozkład temperatury wody w zbiorniku.

6. LITERATURA

- [1] Siuta – Olcha A., Cholewa T.; Badania eksperymentalne słonecznej instalacji ciepłej wody użytkowej w warunkach klimatycznych Lublina. Część 1. Ocena rzeczywistych efektów energetycznych, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja*, 42/9, 2011,
- [2] Han Y. M., Wang R. Z., Dai Y. J.; Thermal stratification within the water tank, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2009,
- [3] Kenjo L., Inard C., Caccavelli D.; Experimental and numerical study of thermal stratification in a mantle tank of a solar domestic hot water system, *Applied Thermal Engineering*, 27, 2007,
- [4] Jordan U., Vajen K.; Influence of the DHW load profile on the fractional energy savings: a case study of solar combi-system with TRNSYS simulations, *Solar Energy*, 69, 2000.

ENERGY EFFICIENCY OF THE EXPERIMENTAL SOLAR DOMESTIC HOT-WATER SYSTEM

SUMMARY

Results of experimental investigations of the solar domestic hot-water system located in Lublin were presented. This system consists of the solar vacuum collector with a surface of 3.9 m² and the water storage tank with a capacity of 350 dm³. On the basis of measurement's data base quantity of useful energy delivered from the solar collector to the storage tank and quantity of storage energy were determined. Solar collector efficiency and energy accumulation efficiency in the experimental installation were calculated. Twenty-four hours distributions of water temperature in the storage tank were showed. Degree of thermal stratification in the water tank was estimated.

Alicja SIUTA-OLCHA, dr inż.

Politechnika Lubelska
Zakład Inżynierii Środowiska Wewnętrznego
ul. Nadbystrzycka 40 B, 20-618 Lublin
e-mail: a.siuta-olcha@pollub.pl

POTENCJAŁ ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W WOJEWÓDZTWIE LUBELSKIM

STRESZCZENIE

Określono potencjał energii promieniowania słonecznego na terenie województwa lubelskiego. Podano miesięczne oraz roczne sumy napromieniowania całkowitego dla czterech lokalizacji. Oszacowano miesięczne i roczne uzyski energetyczne instalacji słonecznych w odniesieniu do 1m^2 powierzchni kolektora. Przedstawiono perspektywy rozwoju energetyki słonecznej na Lubelszczyźnie.

1. WPROWADZENIE

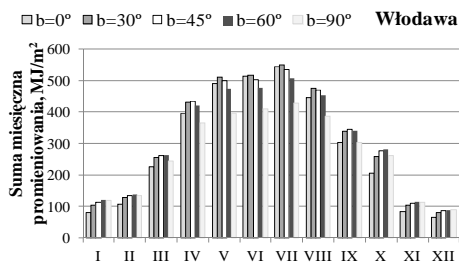
Fototermiczna konwersja energii promieniowania słonecznego wykorzystywana jest przede wszystkim w aktywnych instalacjach słonecznych: przygotowania ciepłej wody użytkowej, wody basenowej oraz do wspomagania instalacji centralnego ogrzewania w indywidualnych gospodarstwach domowych. Na podstawie długoterminowych badań ustalono dla obszaru Polski wartość średniego rocznego napromieniowania słonecznego z zakresu $3240\div 3960\text{ MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. Średnie usłonecznienie na terenie kraju obejmuje 1580 h/a [1]. Zastosowanie kolektorów energii promieniowania słonecznego pozwala na uzyskanie energii cieplnej w ilości szacowanej na $400\div 600\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. Liczba instalacji słonecznych zainstalowanych w kraju systematycznie zwiększa się. W roku 2000 zamontowanych było 21000 m^2 powierzchni kolektorów słonecznych, a w roku 2010 liczba ta wzrosła do 655800 m^2 [2]. Z najnowszych badań Instytutu Energetyki Odnawialnej w 2011 roku łączna powierzchnia zainstalowanych kolektorów słonecznych osiągnęła wartość 904000 m^2 , co odpowiada 633 MW mocy cieplnej. Prognozuje się, że w 2020 roku powierzchnia kolektorów słonecznych powinna osiągnąć około 15 mln m^2 .

2. ZASOBY HELIOENERGETYCZNE LUBELSZCZYZNY

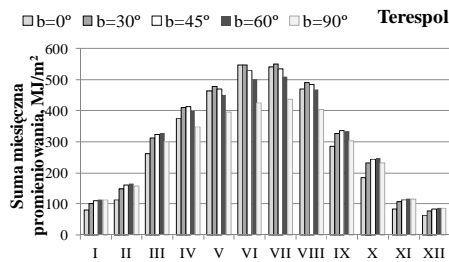
Obszar Polski został podzielony na 11 regionów, z uwagi na warunki wykorzystania energii promieniowania słonecznego [1]. Rejon podlasko-lubelski, jest pod tym względem uprzywilejowany i znajduje się na miejscu drugim.

Analizę zasobów helioenergetycznych Lubelszczyzny przeprowadzono na podstawie bazy danych klimatycznych udostępnionych przez Ministerstwo Infrastruktury [3]. Do rozważań przyjęto dane pogodowe dla następujących stacji meteorologicznych: Włodawa, Terespol, Lublin-Radawiec (dane uśrednione za lata 1971÷2000) oraz Zamość (dane uśrednione za lata 1971÷1999).

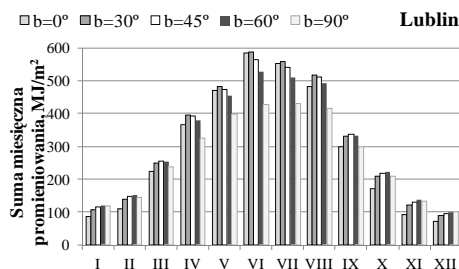
Jedną z wielkości charakteryzujących promieniowanie słoneczne jest napromieniowanie całkowite, obejmujące sumy napromieniowania bezpośredniego, rozproszonego i odbitego. Określa ono energię padającą na jednostkę powierzchni w ciągu przyjętego okresu czasu. Znajomość tego parametru jest konieczna przy projektowaniu grzewczych instalacji słonecznych.



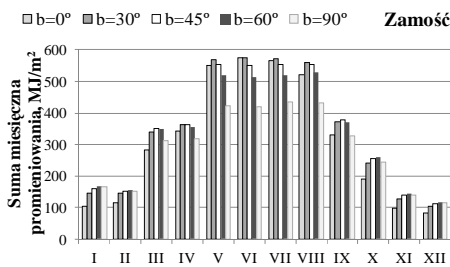
Rys. 1. Sumy miesięczne promieniowania słonecznego całkowitego dla Włodawy
Fig. 1. Monthly global solar irradiation for Włodawa



Rys. 2. Sumy miesięczne promieniowania słonecznego całkowitego dla Terespol
Fig. 2. Monthly global solar irradiation for Terespol



Rys. 3. Sumy miesięczne promieniowania słonecznego całkowitego dla Lublina
Fig. 3. Monthly global solar irradiation for Lublin



Rys. 4. Sumy miesięczne promieniowania słonecznego całkowitego dla Zamościa
Fig. 4. Monthly global solar irradiation for Zamość

Na rys. 1÷4 przedstawiono miesięczne sumy promieniowania słonecznego całkowitego w zależności od kąta nachylenia powierzchni względem poziomu dla wyróżnionych lokalizacji i dla orientacji południowej.

Dla Lublina i Zamościa najkorzystniejsze warunki napromieniowania występują w miesiącu czerwcu. Biorąc pod uwagę powierzchnię nachyloną pod kątem 30° średnie sumy promieniowania kształtują się odpowiednio na poziomie: 587,46 MJ/(m²·m-c) oraz 574,16 MJ/(m²·m-c). Dla Włodawy i Terespoła najwyższe wartości napromieniowania dla powierzchni nachylonej pod kątem 30° wystąpiły w lipcu i wynoszą one odpowiednio: 550,44 MJ/(m²·m-c), 548,07 MJ/(m²·m-c).

W tabeli 1 zestawiono średnie sumy promieniowania słonecznego w ciągu roku padającego na powierzchnię o różnym kącie nachylenia względem poziomu, zorientowaną w kierunku południowym.

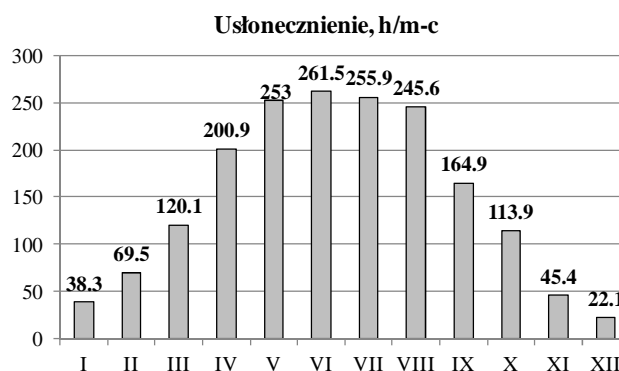
Tabela 1. Roczne sumy napromieniowania słonecznego całkowitego

Table 1. Annual global solar irradiation

Stacja meteorologiczna	Napromieniowanie całkowite, MJ/m ²				
	b=0°	b=30°	b=45°	b=60°	b=90°
Włodawa	3455,76	3753,57	3760,18	3669,67	3242,82
Terespol	3461,87	3775,80	3793,13	3714,55	3309,46
Lublin	3509,14	3785,14	3779,37	3676,03	3235,11
Zamość	3761,38	4114,63	4118,26	4003,91	3485,26

Ustalono, że udział promieniowania słonecznego rozproszonego w całkowitym jest wysoki i wynosi średnio w roku na całym terenie województwa lubelskiego 69,9%.

Drugim ważnym parametrem charakteryzującym promieniowanie słoneczne jest usłonecznienie, które zależy od: długości dnia, zachmurzenia, przejrzystości atmosfery [4]. Przyjmując dane pogodowe dla Lublina za lata 2000÷2010 [5], ustalono średnią liczbę godzin słonecznych na poziomie 5,8 h/d. Usłonecznienie miesięczne pokazano na rys. 5.

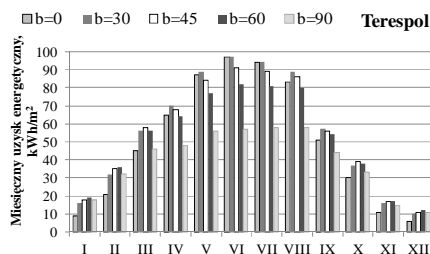


Rys. 5. Średnie miesięczne usłonecznienie dla Lublina

Fig. 5. Accumulated sunshine hours for Lublin

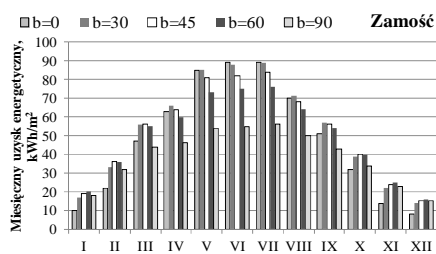
3. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA SŁONECZNYCH INSTALACJI GRZEWCZYCH W WARUNKACH KLIMATYCZNYCH LUBELSZCZYZNY

Uzyski energetyczne w słonecznych instalacjach grzewczych zależą nie tylko od warunków geograficznych czy klimatycznych, ale również od parametrów konstrukcyjno-materiałowych kolektorów słonecznych i od warunków eksploatacyjnych instalacji. Na wydajność energetyczną ma zasadniczy wpływ chwilowa sprawność cieplna kolektorów słonecznych. Na podstawie przeprowadzonych symulacji komputerowych (w programie GetSolar) określono ilość ciepła użytecznego pozyskiwanego w płaskim kolektorze słonecznym w poszczególnych miesiącach dla dwóch lokalizacji: Terespol i Zamość. Do obliczeń przyjęto orientację południową. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 6÷7.



Rys. 6. Miesięczne uzyski energetyczne - Terespol

Fig. 6. Monthly useful energy - Terespol



Rys. 7. Miesięczne uzyski energetyczne - Zamość

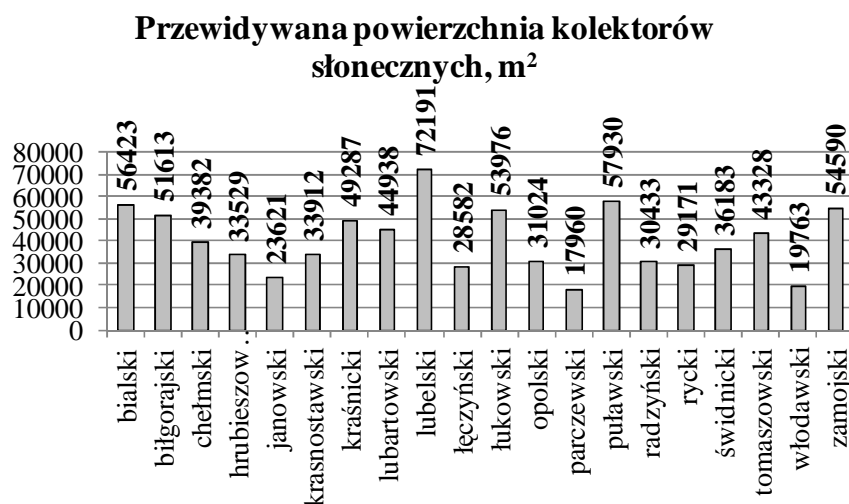
Fig. 7. Monthly useful energy - Zamosc

Oszacowano roczne uzyski energii cieplnej w kolektorze słonecznym, uwzględniając całkowite roczne napromieniowanie na płaszczyznę kolektora o nachyleniu 30°. Dla Terespolu uzyskano 663 kW·h/(m²·a), a dla Zamościa 637 kW·h/(m²·a).

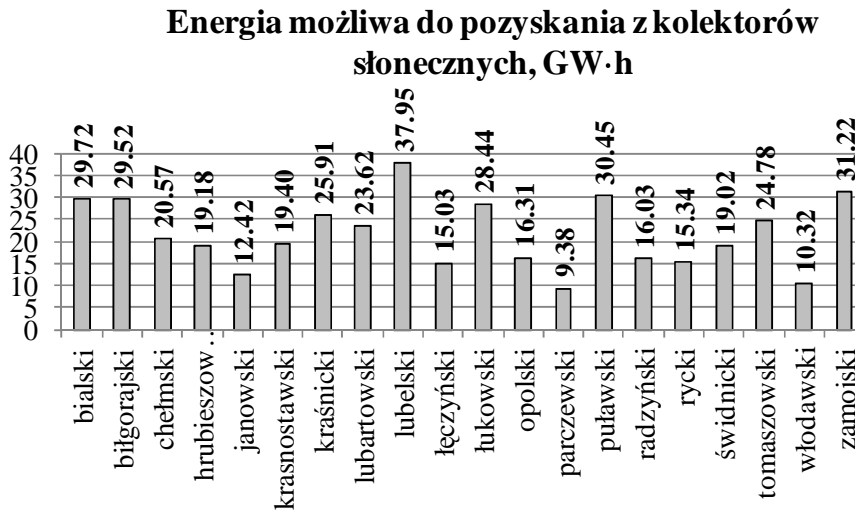
4. PERSPEKTYWY WYKORZYSTANIA FOTOTERMICZNEJ KONWERSJI ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W POWIATACH WOJEWÓDZTWA LUBELSKIEGO

Na terenie województwa lubelskiego od kilku lat obserwuje się wzrost liczby inwestycji związanych z instalacją kolektorów słonecznych. Udział województwa w krajowym rynku kolektorów słonecznych w roku 2008 wynosił 3,5%, w roku 2009 - 4,3%, a w roku 2010 - 8,4% [2]. Zgodnie z zaleceniami Europejskiego Stowarzyszenia Energetyki Słonecznej, do roku 2020 na jednego mieszkańca powinno przypadać 0,5÷1,0 m² powierzchni kolektora słonecznego. Dlatego też, w celu określenia minimalnej wymaganej powierzchni kolektorów słonecznych, założono wskaźnik na poziomie 0,5 m²/osobę. Liczbę osób zamieszkujących poszczególne powiaty województwa lubelskiego ustalono na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego za rok 2009. Do obliczeń przyjęto średnioroczną sprawność kolektora słonecznego równą 50%. Dla 20 powiatów ziemskich województwa lubelskiego ustalono prognozowaną powierzchnię kolektorów słonecznych (rys. 8). Łączna powierzchnia zainstalowanych kolektorów powinna wynosić 807836 m². Spodziewany uzysk energii cieplnej osiągnąłby poziom 434,62 GW·h. Rys. 9 przedstawia

możliwe do pozyskania ilości ciepła w instalacjach słonecznych zlokalizowanych w poszczególnych powiatach.



Rys. 8. Prognozowana powierzchnia kolektorów słonecznych
Fig. 8. Forecasted surface of solar collectors



Rys. 9. Energia możliwa do pozyskania w kolektorach słonecznych w województwie lubelskim
Fig. 9. Forecasted useful energy output of collectors in the Lublin voivodeship

5. PODSUMOWANIE

Na terenie województwa lubelskiego występują sprzyjające warunki do wykorzystania termicznej konwersji energii promieniowania słonecznego. Na podstawie danych klimatycznych dla lat 2000-2010, uzyskano średnią wartość usłonecznienia dla Lublina na poziomie 1791,1 h/a, co przekracza średnią wartość usłonecznienia ustaloną dla całego obszaru Polski. Z uwagi na duży udział promieniowania rozproszonego w większości powinny być stosowane płaskie kolektory słoneczne. Roczne uzyski energii cieplej w kolektorach słonecznych zlokalizowanych na Lubelszczyźnie są wyższe od wartości średnich, ustalonych dla kraju. Szczegółowe informacje odnośnie potencjału energii promieniowania słonecznego na Lubelszczyźnie zawarte są w [6].

6. LITERATURA

- [1] Gogół i in.; Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych. Ekspertyza PAN, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993,
- [2] Instytut Energetyki Odnawialnej, Raport: Rynek kolektorów słonecznych w Polsce w 2010 r., 2011,
- [3] www.mi.gov.pl,
- [4] Pluta Z.; Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000,
- [5] www.weatheronline.pl,
- [6] Kościk B., Olchowik J.M., Kowalczyk-Juśko A., Siuta-Olcha A., Kościk K.; Analiza potencjału odnawialnych źródeł energii w powiatach województwa lubelskiego, Lublin, 2011.

POTENTIAL OF SOLAR ENERGY IN THE LUBLIN VOIVODESHIP

SUMMARY

Potential of solar energy in the Lublin voivodeship was determined. Monthly and annual total solar irradiation for four localizations were established. Monthly and annual useful energy per 1 m² of solar collector obtained in solar installations were estimated. Development prospects of solar power engineering in the Lublin voivodeship were presented.

Agata SIWIŃSKA, dr inż.
Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż., prof. nadzw. ZUT

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: Halina.Garbalinska@zut.edu.pl, siwinska@zut.edu.pl

WPLYW ZAWILGOCENIA NA CIEPLNE PARAMETRY MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

STRESZCZENIE

Referat dotyczy analizy wyników badań cieplnych parametrów wybranych materiałów budowlanych przeprowadzonych techniką niestacjonarną. Badania zrealizowano na próbkach w dwóch stanach: suchym i nasyconym. W pomiarach wykorzystano aparat ISOMET2104 z sondą przyłgową. Oceniano wpływ zawilgocenia próbek na podstawowe parametry cieplne.

1. WPROWADZENIE

Racjonalne wykorzystywanie energii w budownictwie wiąże się między innymi z właściwym doбором materiałów budowlanych stosowanych do wznoszenia przegród zewnętrznych. Oprócz parametrów ekonomicznych i wytrzymałościowych projektanci i wykonawcy biorą pod uwagę również parametry cieplne materiałów budowlanych, takie jak współczynnik przewodzenia ciepła, czy pojemność cieplna. Dobór odpowiednich materiałów ze względu na izolacyjność cieplną przegród, czy ich późniejszą akumulacyjność cieplną odbywa się już na etapie projektowania. Jednak w trakcie eksploatacji dochodzi niekiedy do zawilgocenia przegród. Przyjmowane do analiz parametry, takie jak współczynnik przewodzenia ciepła, czy ciepło właściwe, ulegają wówczas radykalnej zmianie.

Poniżej zaprezentowano wyniki badań wspomnianych parametrów przeprowadzone na materiałach budowlanych w stanie suchym i nasączonym. Przedstawiono skalę zmian parametrów cieplnych pod wpływem ich zawilgocenia [1, 2, 4, 5].

2. PRÓBK DO BADAŃ

Wytypowane materiały obejmowały dwie grupy popularnych materiałów budowlanych pochodzenia mineralnego, najczęściej stosowanych do wykonywania przegród w budownictwie mieszkaniowym.

Pierwszą grupę stanowiły materiały konstrukcyjne, przeznaczone do wznoszenia ścian. Eksperyment realizowany w ramach niniejszej pracy objął w tym zakresie: cegłę ceramiczną CC, cegłę silikatową CS, beton komórkowy BK.

Drugą grupę stanowiły zaprawy przeznaczone do wyprawiania i murowania ww. elementów drobnowymiarowych. Do badań wytypowano:

- zaprawę cementową ZC,
- zaprawę modyfikowaną włóknami polipropylenowymi ZM,
- zaprawę cementowo-wapienną ZCW.

Próbki zapraw, w przeliczeniu na 1 dm³, sporządzono według następujących receptur [5]:

- zaprawa cementowa (ZC): cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g, w/c=0,55,
- zaprawa modyfikowana (ZM): cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g, włókna fibermix dł. 3 mm 0,9 g, w/c=0,55,
- zaprawa cementowo-wapienna (ZCW): cement 194 g, wapno 194 g, woda 336 g, piasek 1164 g, w/c=1,73, w/s=0,87.

Do przygotowania wszystkich zapraw zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5 R.

Próbki zapraw po rozformowaniu poddano wielomiesięcznemu kondycjonowaniu w kąpeli wodnej. Następnie próbki wszystkich materiałów wysuszono do stałej masy w temperaturze 105°C, po czym określono ich gęstość objętościową. Uzyskane wyniki zamieszczono w Tabeli 1. Po wykonaniu badań na próbkach suchych, poddano je nasączeniu. Dane dotyczące wilgotności w stanie nasycenia podano w Tabeli 1.

Tabela 1. Średnia gęstość w stanie suchym i wilgotność testowanych materiałów w stanie nasycenia

Table 1. Average density in dry state and moisture content of tested materials in saturated state

Materiał	ρ [g/cm ³]	w [%]
Cegła ceramiczna CC	1,543	26,2
Cegła silikatowa CS	1,804	13,8
Beton komórkowy BK	0,603	74,9
Zaprawa cementowa ZC	2,066	8,8
Zaprawa modyfikowana ZM	2,022	9,0
Zaprawa cementowo-wapienna ZCW	1,737	17,7

3. PRZEBIEG BADAŃ

Do badań wykorzystano aparat ISOMET2104, będący przenośnym instrumentem pomiarowym służącym do bezpośredniego pomiaru termicznych właściwości materiałów izotropowych. Zastosowana w przyrządzie dynamiczna metoda pomiaru zmniejsza czas uzyskania odczytu do około 15 minut. ISOMET2104 jest wielofunkcyjnym instrumentem do

pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(mK)], dyfuzyjności cieplnej (współczynnika wyrównywania temperatury) a [m²/s], pojemności cieplnej $c\rho$ [J/(m³K)] oraz temperatury T [°C].

Z uwagi na różnorodność i stopień zawilgocenia testowanych materiałów, do badań wykorzystano trzy sondy przylgowe o różnym zakresie pomiarowym przedstawionym w Tabeli 2, a dane dotyczące dokładności zamieszczono w Tabeli 3.

Tabela 2. Zakres pomiarowy sond

Table 2. Measurement range of probes

Sonda	λ [W/(mK)]	$c\rho$ [J/(m ³ K)]
Surface Probe API 210411	0,04 do 0,30	4,0x10 ⁴ do 1,5x10 ⁶
Surface Probe API 210412	0,30 do 2,00	1,5x10 ⁶ do 4,0x10 ⁶
Surface Probe API 210413	2,00 do 6,00	1,5x10 ⁶ do 4,0x10 ⁶

Tabela 3. Dokładność sond pomiarowych

Table 3. Accuracy of measuring probes

Mierzona wielkość	Zakres pomiarowy	Dokładność
λ [W/(mK)]	0,050 do 0,70	5 % odczytu + 0,001
	0,70 do 6,00	10 % odczytu
$c\rho$ [J/(m ³ K)]	4.0x10 ⁴ do 4.0x10 ⁶	15 % odczytu + 1x10 ³

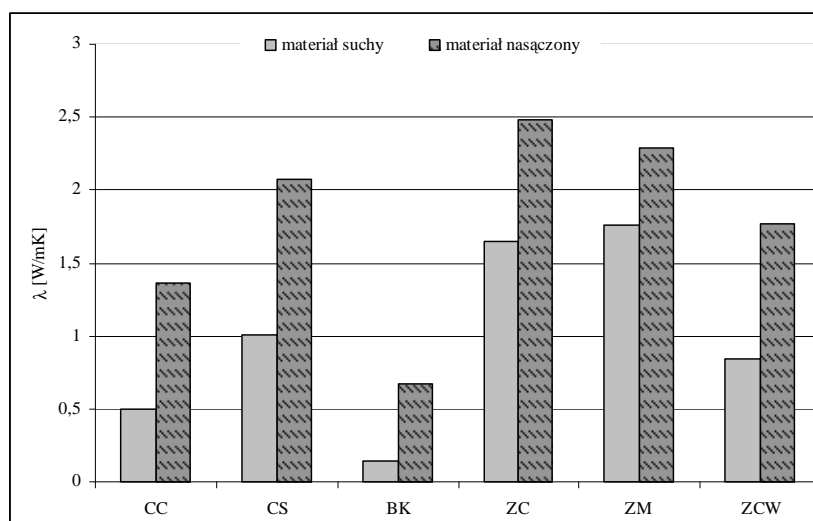
Pomiar aparatem oparty jest na analizie temperaturowej odpowiedzi badanego materiału tj. na okresowych zapisach temperatury w funkcji czasu – pod warunkiem, że propagacja ciepła występuje w nieograniczonym ośrodku. Badania na wytypowanych materiałach wykonywano za każdym razem w jednym punkcie pomiarowym na każdej próbce, a mianowicie w części centralnej. W każdym miejscu pomiarowym wykonano po trzy odczyty.

Uśrednione wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła, dyfuzyjności cieplnej oraz pojemności cieplnej dla obu stanów próbek tj. stanu suchego i nasączonego, zebrano w Tabeli 4, a graficzne zestawienie przedstawiono na Rys. 1, 2, 3.

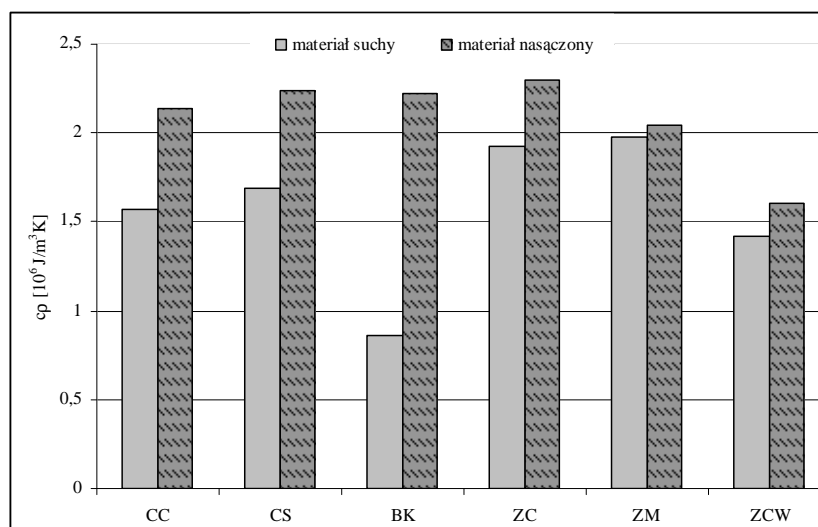
Tabela 4. Wyniki badań aparatem ISOMET2104

Table 4. Results of measurements by ISOMET2104 apparatus

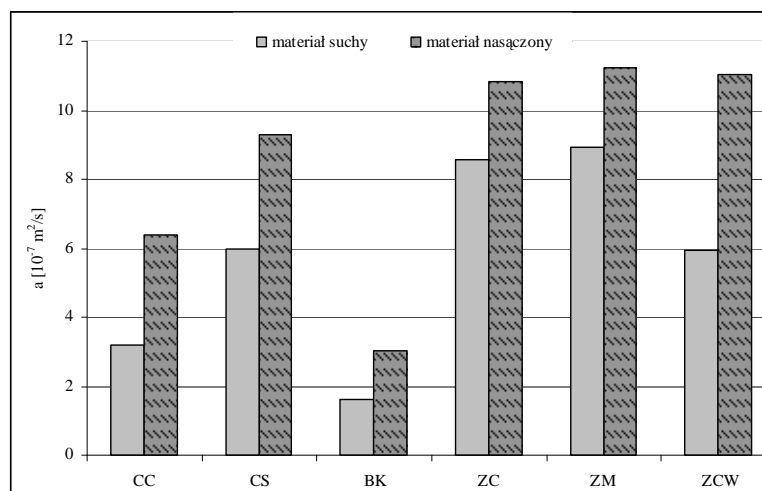
Materiał	Materiał suchy			Materiał nasycony wodą		
	λ [W/mK]	$c\rho$ [10 ⁶ ·J/(m ³ K)]	a [10 ⁻⁷ ·m ² /s]	λ [W/mK]	$c\rho$ 10 ⁶ ·J/(m ³ K)]	a [10 ⁻⁷ ·m ² /s]
CC	0,502	1,573	3,19	1,366	2,135	6,40
CS	1,008	1,690	5,96	2,073	2,235	9,28
BK	0,140	0,865	1,62	0,675	2,225	3,03
ZC	1,650	1,925	8,57	2,484	2,295	10,82
ZM	1,759	1,975	8,91	2,290	2,040	11,23
ZCW	0,842	1,415	5,95	1,774	1,605	11,05



Rys. 1. Zestawienie wyników badań λ
 Fig. 1. Comparison of research results of λ



Rys. 2. Zestawienie wyników badań c_p
 Fig. 2. Comparison of research results of c_p



Rys.3. Zestawienie wyników badań a
 Fig. 3. Comparison of research results of a

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone pomiary dostarczyły ilościowych danych m.in. na temat zależności współczynnika przewodzenia ciepła od gęstości materiału i jego zawilgocenia. Mianowicie wraz ze wzrostem gęstości wzrastał parametr λ . I tak dla zaprawy cementowej i cementowej modyfikowanej, czyli materiałów o największej gęstości spośród testowanych, parametr ten przekroczył dziesięciokrotnie wartość λ dla betonu komórkowego, czyli materiału o najmniejszej gęstości. Materiał ten (BK) uzyskał też największe zawilgocenie, co przełożyło się niekorzystnie na blisko 5-krotny wzrost λ w porównaniu z λ materiału suchego. Wpłynęła na to duża porowatość betonu komórkowego. Wpływ wilgoci w mniejszym stopniu ujawnił się w przypadku cegieł i zaprawy cementowo-wapiennej powodując wzrost λ rzędu od 2,1 do blisko 3. W przypadku obydwu zapraw cementowych było to około 1,3 (ZM) oraz 1,5 (ZC).

Badania przeprowadzone przy wykorzystaniu aparatu ISOMET2104 pozwoliły również na ocenę wpływu zawilgocenia próbek na wyniki pomiarów pojemności cieplnej. Dla materiałów suchych (wysuszonych do stałej masy w temperaturze 105°C), największą pojemność cieplną uzyskano w przypadku zaprawy cementowej modyfikowanej włóknami polipropylenowymi oraz zaprawy cementowej czystej. Najniższą z kolei dla betonu komórkowego. Na ten parametr, tak jak i na λ , ma wpływ struktura materiału. Najbardziej zwarte materiały, o największej gęstości, cechują się najwyższą akumulacyjnością cieplną. Materiały porowate o najmniejszej gęstości, takie jak beton komórkowy, mają najmniejszą wartość ciepła właściwego w stanie suchym.

Wyniki badań uzyskanych na materiałach nasączonych wodą wykazały zróżnicowany wzrost pojemności cieplnej. W tym przypadku woda posiadająca dużą wartość ciepła właściwego (4,1 kJ/kgK), wypełniając pory materiałów, przełożyła się na wzrost pojemno-

ści cieplnej c_p . Największy wpływ odnotowano w przypadku betonu komórkowego (o ok. 160%), najmniejszy w przypadku zaprawy cementowej modyfikowanej (rzędu 3%).

W przypadku współczynnika dyfuzyjności cieplnej a zawilgocenie materiału przełożyło się na jego dwukrotny wzrost w przypadku cegły ceramicznej, betonu komórkowego i zaprawy cementowo-wapiennej. Dla zapraw cementowych ZC i ZM był to wzrost wynoszący 1,3, natomiast dla cegły silikatowej około 1,6.

Zbiorcze zestawienie wyników uzyskanych przy zastosowaniu aparatu ISO-MET2104 wskazuje, iż zawilgocenie wywiera istotny wpływ na wyniki pomiarów cieplnych parametrów decydujących o przydatności materiałów do wykorzystania w przegrodach. Taka tendencja dla wszystkich testowanych materiałów i mierzonych parametrów warunkuje ich wykorzystanie w późniejszych przegrodach i obliczenia związane z bilansem cieplnym budynku [3].

5. LITERATURA

- [1] Garbalińska H., Siwińska A.: Badania wpływu zawilgocenia materiałów ściennych na ich współczynnik przewodzenia ciepła. Inżynieria i Budownictwo 11/2011, s. 611-615
- [2] Garbalińska H., Siwińska A.: Pojemność cieplna wybranych materiałów ściennych. Materiały Budowlane 02/2012, s. 43-45
- [3] Garbalińska H., Siwińska A.: Zawilgocenie ścian zewnętrznych z betonu komórkowego, cegły ceramicznej i wapienno-piaskowej, a bilans cieplny budynku. Międzynarodowe seminarium ENERGODOM 2006, Czasopismo Techniczne, Budownictwo z. 5-B/2006, s. 555-562
- [4] Siwińska A.: Związek między izotermą sorpcji a współczynnikiem przewodzenia ciepła porowatego materiału budowlanego. Rozprawa doktorska, Szczecin 2008
- [5] Siwińska A., Garbalińska H.: Zależność współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego od warunków wilgotnościowych. Inżynieria i Budownictwo 5/2009, s. 283-285

INFLUENCE OF DAMPNESS ON THERMAL PARAMETERS OF BUILDINGS MATERIALS

SUMMARY

The paper concerns analysis of research results of thermal parameters of chosen building materials carried out with non-stationary technique. Research was performed on samples in two conditions: dry and saturated. The ISOMET2104 apparatus with surface probe was used in measurements. The influence of samples' dampness on fundamental thermal parameters was assessed.

Anna SOCHA, mgr

Uniwersytet Marii Curie - Skłodowskiej w Lublinie (UMCS)
Kierunek: kulturoznawstwo, specjalność: etnologia i folklor
Pl. M. Curie Skłodowskiej 5, 20 - 031 Lublin
e-mail: asocha32@gmail.com

JAROSŁAWSKIE BUDYNKI UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ XIX WIEKU

STRESZCZENIE

Niniejszy artykuł jest próbą zaprezentowania XIX-wiecznych budynków użyteczności publicznej Jarosławia. Przedstawiono w nim różne obiekty budowlane, które odznaczają się na tle panoramy miasta pod względem walorów architektonicznych. W opracowaniu skupiono się głównie na gmachach, które już w koncepcji swojego powstania były przeznaczone do użytku publicznego. Zostały one uszeregowane według dat budowy począwszy od najstarszych, aż do tych które zagościły na terenie miasta we wczesnym początku XX wieku.

1. WPROWADZENIE

Artykuł zawiera krótki rys historyczny każdego zaprezentowanego w nim obiektu oraz opis wyglądu zewnętrznego poszczególnych gmachów. Specyficzną uwagę poświęcono walorom budowlanym i dekoracjom, jakie posiadają omawiane XIX-wieczne budynki użyteczności publicznej miasta Jarosławia.

Aby dobrze zobrazować poruszany temat, najpierw należy wyjaśnić znaczenie pojęcia - budynek użyteczności publicznej. Najbardziej klarowną definicję tego terminu możemy znaleźć w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury (z dnia 12.04.2002 r. w §3 pkt. 6) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania. Według niej „budynek użyteczności publicznej to budynek przeznaczony na potrzeby administracji publicznej, wymiaru sprawiedliwości, kultury, kultu religijnego, oświaty, szkolnictwa wyższego, nauki, opieki zdrowotnej, opieki społecznej i socjalnej, obsługi bankowej, handlu, gastronomii, usług, turystyki, sportu, obsługi pasażerów

w transporcie kolejowym, drogowym, (...) oraz inny ogólnodostępny budynek przeznaczony do wykonywania podobnych funkcji, w tym także budynek biurowy i socjalny”.¹

W Jarosławiu przy ulicy Opolskiej 12 znajduje się **dawna synagoga**, która w dniu dzisiejszym pełni funkcję budynku użyteczności publicznej. Owa bożnica nosi nazwę Dużej, jest obiektem orientowanym, w kształcie prostokąta o wymiarach 24,5 x 25 metrów.² Miniona świątynia to bezstylowy gmach powstały na wzór koszarowy.³ Inicjatorem oraz fundatorem tej budowy było żydowskie towarzystwo „Szomrim Labojker”, dzięki któremu w 1811 roku bożnica była gotowa do użytku.⁴ Wiadomo, że podczas II wojny światowej owa synagoga uległa dużemu zniszczeniu.⁵ Przez wiele lat stała pusta i zmieniała właścicieli oraz pełniła różne funkcje.⁶ Obecnie w tym budynku usytuowano siedzibę Ogólnokształcącej Szkoły Sztuk Pięknych im. Stanisława Wyspiańskiego.

Kolejny obiekt związany z omawianym tematem znajduje się przy ulicy Jana Pawła II 30. Jest to gmach wzniesiony przed 1844 rokiem na potrzeby szpitala wojskowego. W budynku tym po II wojnie światowej przez pewien czas istniał Państwowy Dom Dziecka, natomiast od 1977 roku funkcjonuje tu **Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy im. Jana Pawła II**. Ze względu na skromną dekorację plastyczno-architektoniczną jest to typowy przykład austriackiego budownictwa koszarowego, podobnie jak wcześniej wspomniana synagoga Duża. Gmach dzisiejszego ośrodka został zbudowany na rzucie prostokąta, posiada ryzalit na osi elewacji frontowej i dobudówkę przy elewacji tylnej. Czołową ścianę budynku rozdzielają profilowane gzymsy międzykondygnacyjne. Omawiany obiekt zwieńcza szczyt, który składa się z dwóch wydłużonych i ustawionych schodkowo prostokątów. Otwory okienne tej dwupiętrowej budowli mają kształt czworoboków i ujmują je płaskie nieprofilowane opaski.⁷

Następny obiekt użyteczności publicznej dotyczący poruszanego tematu został wzniesiony przy ulicy Grunwaldzkiej 9 około połowy XIX wieku. Niegdyś gmach ten pełnił funkcję **kasyna wojskowego**, obecnie mieści się w nim Klub Garnizonowy. Omawiany budynek powstał na planie wydłużonego prostokąta i posiada dwa ryzalitty od tylnej strony.⁸ W jego wnętrzu znajdowały się niegdyś dwie duże sale, kinoteatr,⁹ restauracja oraz

¹ M. Buczna (red.), Prawo budowlane warunki techniczne i inne aspekty prawne, Stan prawny na 24 marca 2009, wyd. Wolters Kluwer Polska Sp.z.o.o, Warszawa 2009, str. 198-199.

² E. Bergman, J. Jagielski, Zachowane synagogi i domy modlitwy w Polsce. Katalog, wyd. Żydowski Instytut Historyczny, Warszawa 1996, str. 51.

³ J. Frazik, M. Malanek, Katalog zabytków sztuki. Województwo rzeszowskie, powiat jarosławski, wykonany w ramach prac Zespołu Dokumentacji Naukowej przy Katedrze Sztuki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1956, str.17.

⁴ A. Sroka, Świątynie Jarosławia, wyd. „Multicolor”, Jarosław 2005, str. 125-126.

⁵ M. Michałowicz-Kubal, Powiat jarosławski, wyd. „APLA”, Krosno 2001, str. 39.

⁶ <http://zwiedzaj-polske.pl/Duza-Synagoga-w-Jaroslawiu>, 01.01.2012.

⁷ K. Kieferling, Szpital wojskowy ob. Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-grudzień 2007.

⁸ T. Piekarczyk, Kasyno Wojskowe-Klub Garnizonowy, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-styczeń 1996.

czytelnia. Elewacja frontowa minionego kasyna posiada zróżnicowaną dekorację, jego część wschodnia jest symetryczna i flankują ją ryzality o narożach z rustykowanymi boniami. Parter oddzielony został od górnej kondygnacji za pomocą profilowanego gzymsu, który ozdabiają wypukłe bonie. Wejście główne do obiektu akcentuje wnęka wsparta na dwóch filarach, którą poprzedzono schodami. Elewację w górnej części ryzalitów dekorują prostokątne wgłębienia oraz trzy pilastry o jońskich głowicach, nad którymi usytuowano trójkątne nadproże. Fragment środkowy tej ściany przecinają pionowo pilastry i płyciny o profilowanym prostokątnym nadprożu z akantowym zwornikiem. Całość budynku wieńczy gładki gzyms.¹⁰

Przy ulicy 3-go Maja 30 znajduje się obiekt powstały w 1873 roku, który pierwotnie pełnił funkcję **bursy szkolnej im. Mikołaja Kopernika**. Obecnie mieści się w nim Centrum Kształcenia Ustawicznego. Warto wspomnieć, że do dnia dzisiejszego gmach ten zachował z czasów budowy neobarokowy wystrój elewacji frontowej. Omawiany obiekt utworzono na rzucie prostokąta i wyposażono w płytkie ryzality przy elewacji czołowej oraz głębsze przy tylnej. Na dekorację zewnętrzną dzisiejszego CKU składają się bonie w parterze, profilowane gzymsy, płyciny międzyokienne oraz obramowania okien o dwóch typach. Pierwszy z nich jest płaski z uszkami i zwornikiem w ryzalitach bocznych, natomiast drugi profilowany z rozbudowanym gzymsem w nadprożu przy otworach środkowej części piętra. Wejście do tego budynku flankują pilastry, a u ich szczytu widnieje półokrągłe nadproże oparte na zdobionych krokwistynach.¹¹



*Fot. 2 I Liceum Ogólnokształcące
im. Mikołaja Kopernika
Fig. 2 Nicolaus Copernicus High
School number 1*



*Fot. 1 Dawna bursa szkolna im.
Mikołaja Kopernika
Fig. 1 Nicolaus Copernicus' old
residential building*

⁹ K. Gottfried, Jarosław i okolice, wyd. Polskie Towarzystwo Turystyczno-Krajoznawcze, Sport i Turystyka, Warszawa 1959, str. 24.

¹⁰ T. Piekarz, Kasyno..., o.c., styczeń 1996.

¹¹ T. Piekarz, Budynek Internatu Liceum Ogólnokształcącego, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyśle, karta ewidencyjna-grudzień 1991.

W bliskim sąsiedztwie dawnej bursy znajduje się gmach **I Liceum Ogólnokształcącego im. Mikołaja Kopernika**.¹² Opisany obiekt powstał w latach 1874 - 1875, a autorem jego projektu był Stanisław Rutkowski. Ten dwupiętrowy budynek pierwotnie przeznaczony dla Szkoły Realnej usytuowano na rzucie podkowy. Jego elewacja na parterze jest boniowana i dzieli ją rozczłonkowany gzyms międzykondygnacyjny. Gmach liceum posiada cztery rodzaje obramowań okiennych. Na parterze okna flankuje profilowana opaska oparta na cokolikach, którą zdobi rozeta w płycinie okiennej. Piętro wyżej widnieją pilastry o korynckim kapitelu, w podokniu natomiast umieszczono płycinę z dekoracją roślinną, a otwory okienne wieńczy gzyms w ich nadprożu. Ostatnią kondygnację wyróżnia profilowana opaska z uszkami wsparta na wolutowych konsolkach. Oś elewacji budynku akcentuje płytki ryzalit z półokrągłymi otworami w parterze.¹³

Kolejnym obiektem związanym z omawianym tematem jest obecny gmach **Publicznego Gimnazjum nr 2 im. ks. Stanisława Konarskiego** przy ulicy Jana Pała II 26. Wiadomo, że autorem projektu tego budynku był Stanisław Rutkowski i pierwotnie przeznaczono go na koszary wojskowe. Powstał on w 1883 roku, a w 1892 dokonano nadbudowy jego II pięta. Gmach ten został założony na rzucie prostokąta, charakteryzują go ryzality zwieńczone trójkątnymi oraz bezokiennymi szczytami, które dekorują profilowane listwy. Środkowa część parteru tworzy niski cokół obłożony kamieniem, a boniowanie tej partii budynku w górnych kondygnacjach jego ryzalitów przechodzi w pilastry. Obiekt wieńczy gzyms koronujący, który jest bogato profilowany, akcentują go fryzy z podziałami na płyciny oraz tympanony.¹⁴

Następny jarosławski gmach użyteczności publicznej znajduje się przy ulicy Kościuszki 18. Na jego całość składa się zespół budynków, które pierwotnie służyły jako koszary Obrony Krajowej im. Tadeusza Kościuszki.¹⁵ W 1957 roku wszystkie obiekty należące niegdyś do wojska zmieniły swoją rolę użytkową przekształcając się w **Specjalistyczny Psychiatryczny Zespół Opieki Zdrowotnej im. prof. Antoniego Kępińskiego**, który funkcjonuje do dziś.¹⁶ Obecnie w skład zespołu dawnych budynków proaustriackich, które powstały w 1888 roku wchodzi 6 obiektów, jednak nie wszystkie z nich posiadają wartości zabytkowe. Gmach główny dzisiejszego szpitala to budynek o trzech kondygnacjach, utworzono go na kształt litery C. Jego elewacja została podzielona na trzy części i posiada płytki ryzalit pośrodku. Na parterze występuje boniowanie, a na I piętrze otwory

¹² S. Kłos, Jarosław, Radymno, Sieniawa, Pruchnik i okolice. Przewodnik dla turystów i krajoznawców, wyd. PUW „Roksana”, Krosno 1999, str. 67.

¹³ T. Piekarczyk, Gmach Liceum Ogólnokształcącego, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-październik 2000.

¹⁴ Z. Bieńkowska, Koszary ob. Gimnazjum im. ks. S. Konarskiego, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-2007.

¹⁵ J. Czechowicz, Katalog zabytków i budownictwa Jarosławia, [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 1994-1999, tom XIII, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2000, str. 169.

¹⁶ S. Adamik, 50-lecie Specjalistycznego Psychiatrycznego Zespołu Opieki Zdrowotnej im. prof. Antoniego Kępińskiego w Jarosławiu, [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 2002-2004, tom XV, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2004, str. 205-207.

okienne oraz podokienniki zdobi dekoracja geometryczna i ornamenty w postaci wianuszków z wstęgami, które opadają pionowo. Okna II piętra tego ośrodka zdrowia mają gładkie opaski spoczywające na profilowanym gzymsie. Pozostałe budynki wchodzące w skład omawianego zespołu posiadają podobne zdobienia elewacji jak gmach główny szpitala. Stanowią je bonie, rustykowanie, gzymsy, kanelowane pilastry, a nawet trójkątne frontony.¹⁷

Przy ulicy Nad Sanem 48 znajduje się **rzeźnia miejska**, która została wybudowana w 1890 roku. Obecnie jej najstarszą część stanowi budynek stworzony na rzucie prostokąta, który pokrywa dwuspadowy dach zwieńczony wieżyczką. W latach 1906-1907 zaczęto rozbudowywać rzeźnię, dlatego aktualnie jej najbardziej wartościowy pod względem architektonicznym element jest mało czytelny. Zabytkowy fragment tej budowli został usytuowany centralnie, a jego elewacja frontowa widoczna w $\frac{3}{4}$ części posiada fronton zwieńczony łukiem odcinkowym i sterczynami. Przyczółek w górnym jego odcinku odznaczają trzy półokrągłe okna tworzące triforium. Ściany wieży znajdującej się na samym szczycie omawianego obiektu flankują pilastry, które wieńczy profilowany gzyms, natomiast nad nimi w narożach widnieją sterczyny. Wieżę nakrywa hełm w formie dachu mansardowego, który pokrywa blacha w kształcie łuski.¹⁸



*Fot.3 Dawna rzeźnia miejska
Fig.3 Old slaughterhouse*



*Fot.4 Zespół Szkół Ekonomicznych i
Ogólnokształcących im. Marii
Dąbrowskiej
Fig. 4 Maria Dąbrowska's Economic
High School*

¹⁷ I. Tokarska, Zespół koszar poaustriackich ob. szpital, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-październik 1996.

¹⁸ T. Piekarczyk, Rzeźnia miejska, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-listopad 1997.

W dawnej siedzibie straży pożarnej miasta Jarosławia¹⁹ aktualnie mieści się **Zespół Szkół Ekonomicznych i Ogólnokształcących im. Marii Dąbrowskiej**. Zawdzięcza on swoje istnienie dzięki inicjatywie dawnego Towarzystwa Szkoły Handlowej, ponieważ rozpoczęło ono działalność edukacyjną właśnie w tym gmachu.²⁰ Omawiany obiekt mieści się przy ulicy Pl. Mickiewicza 13 i został wybudowany na rzucie prostokąta w 1893 roku. Zarówno parter oraz naroża ryzalitów w górnych jego kondygnacjach są boniowane gładko i posiadają rustykowanie. U szczytu półokrągłych otworów okiennych parteru bonie przechodzą ukośnie tworząc na jego środku zwornik o trójkątnym kształcie. Okna na I piętrze tego budynku flankują pilastry z korynckimi kapitelami, a wieńczy je trójkątny naczółek z balustradą tralkową w podokienniku. Otwory okienne wyższej kondygnacji ujmują profilowana opaska, a gzyms podokienny opiera się na konsolkach. Warto dodać że górna część budynku została obłożona cegłą, a całość elewacji wieńczy profilowany gzyms wsparty na kroksztynach z fryzem składającym się z wolic oczek.²¹

Przy ulicy Kraszewskiego 3 mieści się budynek dawnego urzędu skarbowego miasta, w który obecnie funkcjonuje **Zespół Szkół Spożywczych, Chemicznych i Ogólnokształcących im. Marii Curie Skłodowskiej**. Wiadomo, że ta czterokondygnacyjna budowla została oddana do użytku w 1894 roku i wzniesiono ją na rzucie prostokąta. Jej elewacja frontowa posiada ryzalit środkowy oraz ryzality narożne. Parter tego obiektu jest boniowany i oblicowany żółtą cegłą, a poszczególne kondygnacje szkoły rozdziela gzyms. Okna I piętra gmachu otacza opaska z uszkami, którą flankują pilastry podtrzymujące nadokiennik wypełniony ornamentem roślinnym. W ryzalicie otwory okienne wieńczy załamany tympanon z wazonem pośrodku. Wszystkie podokienniki tej kondygnacji są tralkowane, a na osi środkowej budynku znajduje się balkon z tralkami w balustradzie i portalem nad drzwiami. Okna piętra II otacza opaska z uszkami, którą wieńczy akantowy zwornik, całość flankują pilastry, natomiast osie ryzalitów po bokach okien posiadają dodatkowe dwie pary pilastrów kompozytowych. Nadbudowane ostatnie piętro omawianego obiektu nie współgra z resztą zdobionej elewacji gmachu.²²

Przy ulicy Plac Mickiewicza 12 znajduje się budynek, w którym obecnie mieści się **Miejski Ośrodek Kultury**. Obiekt ten został stworzony przez architekta Teodora Talowskiego dla Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół”.²³ Owy budynek wzniesiono

¹⁹ B. i M. Kondracy, Historia i działalność straży pożarnej w Jarosławiu 1884-2000, [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 2000-2002, tom XIV, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2002, str. 47.

²⁰ J. Wojtas, 80 lat Szkoły Ekonomicznej w Jarosławiu (1924-2004), [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 2002-2004, tom XV, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2004, str. 210.

²¹ T. Piekarczyk, Budynek szkoły-Liceum Ekonomiczne, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-1995.

²² H. Jurjewicz, Budynek Urzędu Skarbowego C.K. ob. Zespół Szkół Spożywczych, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-październik 1996.

²³ T. Piekarczyk, Gmach Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół” obecnie Miejski Ośrodek Kultury, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-listopad 1995.

w latach 1899-1900.²⁴ Posiada on urozmaiconą bryłę, a jego elewację wieńczą szczyty, sterczyny, rzeźby, natomiast całość założenia pokrywa dachówka o trzech kolorach, która układa się we wzory. Gmach ten do czasu II wojny światowej służył Towarzystwu Gimnastycznemu „Sokół”, później stworzono w nim kino „Gdynia”, natomiast od lat 70-tych pełni funkcję Domu Kultury. Gmach tego obiektu został założony na rzucie prostokąta, posiada ryzality i wnęki. Jego dolna część elewacji jest tynkowana i charakteryzuje ją żłobienie poziome w kształcie listewek, natomiast górny fragment budynku został wydłużony za pomocą cegły klinkierowej i zdobi go detal wykonany w kamieniu lub tynku. Elewacja wschodnia obecnej siedziby MOK posiada ryzalit w środkowej części obiektu, nad otworem wejściowym do tego gmachu widnieje półokrągłe nadproże, a po dwóch jego stronach znajdują się półokrągłe zakończone okna. Kondygnację wyżej umiejscowiono otwory okienne o takim samym kształcie jak w parterze, jedno z nich posiada podokiennik w formie okapu. Wszystkie okna tej części elewacji otaczają profilowane wgłębione obramienia. Owy ryzalit zdobiony sterczynami z piaskowca zakończony jest szczytem, a w nim widnieje napis: „Polskie Towarzystwo Gimnastyczne „Sokół”. Elewacja północna tego obiektu również posiada ryzalit na osi, a w nim szerokie okna o kształcie półokrągłym, natomiast pozostałe otwory zamyka łuk odcinkowy. Ryzalit w części piętra flankują kamienne kolumny, a zamyka go trójkątny szczyt z wnęką. Architekt budynku ozdobił to wgłębienie płaskorzeźbą, która przedstawia herb Jarosławia trzymany przez dwa gryfy, natomiast nad nimi widnieje orzeł. Wszystkie te dekoracje wykonane są z kamienia, natomiast szczyt tej części elewacji wieńczy uskrzydłona postać²⁵ mężczyzny, który w dłoniach trzyma hantlę i oszczep stanowiące symbol tężyzny fizycznej.²⁶ Trzecia-zachodnia ściana gmachu również posiada ryzalit ze szczytem ozdobionym identycznie jak w elewacji północnej, jednak jego zwieńczenie dekoruje herb „Pogoń” oraz sterczyny kamienne. Na parterze omawianego obiektu widnieje tablica upamiętniająca 20-lecie wymarszu jarosławskiej kampanii legionowej 1914-1931. Ściana południowa tego budynku posiada trzy wysokie okna oraz cztery ceglane przypory w dolnej kondygnacji. Całość tego obiektu użyteczności publicznej wieńczy profilowany gzyms z fryzem arkadkowym.²⁷

Kolejny gmach dotyczący poruszanego tematu znajduje się przy ulicy Kraszewskiego 1, powstał on w 1900 roku. Pierwotnie przeznaczono go na siedzibę dwóch szkół : męskiej oraz żeńskiej, natomiast obecnie funkcjonuje w nim **Szkoła Podstawowa nr 11 z Oddziałami Integracyjnymi im. Adama Mickiewicza**. Ten dwupiętrowy obiekt pokryty dachówką założono na rzucie prostokąta z ryzalitem przy elewacji tylnej. Parter tego obiektu od strony frontu jest tynkowany, natomiast górne kondygnacje szkoły licuje cegła klinkierowa z tynkowanym pasem, a całość dekoracji uzupełnia arkadkowy fryz oraz

²⁴ K. Gottfried, *Ilustrowany przewodnik po Jarosławiu*, wyd. SMJ w Drukarni PAPIRUS, Jarosław 1937, str. 45.

²⁵ T. Piekarz, *Gmach Towarzystwa...*, o.c., listopad 1995.

²⁶ J. Frendo, *Towarzystwo Gimnastyczne „Sokół” w Jarosławiu w latach 1889-1939*, [w] *Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 1994-1999*, tom XIII, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2000, str. 68.

²⁷ T. Piekarz, *Gmach Towarzystwa...*, o.c., listopad 1995.

lizeny, które akcentują oś środkową ściany. Budynek wieńczy profilowany gzyms z arkadkami, natomiast otwór wejściowy i okna otaczają łuki odcinkowe.²⁸

Przy ulicy Zamkowej 1 w Jarosławiu mieści się zespół budynków, w których dawniej funkcjonowała gazownia, natomiast aktualnie stanowią one siedzibę **Miejskiego Zakładu Komunikacji**. Owe obiekty utworzono w latach 1900-1902, nad ich powstaniem czuwał Piotr Kopystyński, który być może jest autorem tego rozległego projektu architektonicznego. Omawiany zespół składa się z budynku biurowego, produkcyjnego, magazynów oraz warsztatów. Gmach administracji MZK wykonano z cegły i jest on częściowo tynkowany, posiada ryzality i bryłę w kształcie prostokąta. Parter tego budynku dekoruje żłobkowanie w nadprożach okien przechodzące w formę boniowania. Elewację I piętra biura wykonano z cegły, posiada ona dwa pasy tynkowane powyżej oraz poniżej otworów okiennych i profilowany gzyms. Pomieszczenie hali produkcyjnej omawianej grupy obiektów posiada nietynkowaną elewację i zostało założone na rzucie prostokąta. Z zewnątrz gmach ten zdobią lizeny, sterczyny oraz trójkątny szczyt. Warto dodać, iż ten gmach wyposażono w kwadratową wieżę, którą flankują pilastry, a całość jego bryły wieńczy fryz arkadkowy. Jeśli chodzi o budynek magazynu, to został on wykonany z cegły, otoczono go tynkiem oraz udekorowano profilowanym gzymsem i fryzem kostkowym.²⁹

Następnym przykładem XIX-wiecznej architektury Jarosławia jest gmach **szpitala powszechnego** usytuowany przy ulicy 3-go Maja 72. W 1900 roku władze miasta postanowiły wybudować tego typu obiekt, prace budowlane Zespołu Szpitalnego im. Cesarza Franciszka Józefa zostały zakończone w 1903 roku. Do całości tego kompleksu w owych czasach zaliczał się budynek właściwy szpitala, pawilon chorób zakaźnych oraz gmach administracyjno-gospodarczy. Do dnia dzisiejszego w pierwotnej wersji zachował się jedynie budynek główny omawianego założenia, natomiast reszta obiektów została kompletnie przebudowana. Obecny gmach szpitalny posiada dwie kondygnacje z ryzalitami bocznymi. Elewacja jego parteru jest boniowana, na I piętrze pionowo dzielą ją pilastry, natomiast poziomo przecinają poprzeczne gzymsy.³⁰ Ryzality tej bryły architektonicznej zwieńczone są trójkątnymi szczytami³¹ z półkolistą dekoracją złożoną z płycin i lizen, w części centralnej tych wzniesień umieszczono okna. W osi głównej budynku dodatkowo usytuowano powstania tego gmachu. Jego otwory okienne na I piętrze umieszczono w profilowanych opaskach, w części parteru zauważyć można brak tego typu zdobień, natomiast podokienniki występują tu w postaci płycin.³²

Przy ulicy Jana Pawła II 17 znajduje się budynek, który podobnie jak szpital przeznaczono do pełnienia funkcji użyteczności publicznej. Został on wybudowany w 1902 roku i utworzono w nim siedzibę **starostwa** Jarosławia. Pierwotnie owy gmach posiadał

²⁸ T. Piekarczyk, Budynek szkolny, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-grudzień 1991.

²⁹ T. Piekarczyk, Zespół Budynków Gazowni obecnie Miejski Zakład Komunikacji, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-sierpień 1995.

³⁰ H. Jurjewicz, Dom użyteczności publicznej-szpital miejski, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-lipiec 1998.

³¹ S. Mendelowski, Jarosław, wyd. P.U.W. „ROKSANA”, Krosno 2009, str. 66.

³² H. Jurjewicz, Dom użyteczności..., o.c., lipiec 1998.

eklektyczny i bogaty wystrój elewacji, gdyż stanowił wizytówkę reprezentującą miasto. Budynek ten był nakryty dwuspadowym dachem, elewacje północne jego bocznych skrzydeł zwieńczały trójkątne szczyty z naczółkami i sterczynami, również taki szczyt posiadał ryzalit przy elewacji korpusu głównego. Pod gzymsem wieńczącym całość obiektu znajdowała się niegdyś attyka w formie balustrady z tralkami, a teren przed frontową częścią starostwa, czyli od strony ulicy ogrodzony był za pomocą murowanych słupów oraz metalowych zdobień. Po wojnie sylwetka omawianego gmachu uległa przemianie. Obecnie w budynku tym utworzonym na rzucie w kształcie litery F znajduje się siedziba Starostwa Powiatowego. Jego bryła składa się z korpusu głównego oraz dwóch prostopadłych do niego skrzydeł, omawiany obiekt posiada boniowany parter, gzymsy międzykondygnacyjne oraz profilowany gzyms wieńczący. Okna tej bryły architektonicznej otaczają cztery rodzaje obramowań, na parterze tworzą je ukośne bonie, kondygnację wyżej płycin, które posiadają podokienniki i pilastry po bokach trzymające gzyms lub trójkątny przerywany naczółek, natomiast na II piętrze występują okna z nadprożem zdobionym wolutami oraz motywem muszli pośrodku. Elewacja północno-zachodnia starostwa jest zryzalitowana, w górnych jej częściach widnieją pilastry o korynckich kapitelach. Na I piętrze znajduje się balkon z ozdobną balustradą oraz wspornikami, natomiast dwa otwory okienne tej kondygnacji posiadają nadproże z gzymsu oraz przerywany trójkątny naczółek z wazonami w centralnej części.³³

Do XIX-wiecznych budynków Jarosławia należy zaliczyć gmach, umiejscowiony przy ulicy Franciszkańskiej 2, w którym aktualnie znajduje się siedziba Państwowej Wyższej Szkoły Techniczno-Ekonomicznej im. ks. Bronisława Markiewicza.³⁴ Pierwotnie obiekt ten został wybudowany dla Stowarzyszenia Rzemieślników i otrzymał nazwę „**Gwiazda**”, pod którą funkcjonuje do dziś.³⁵ Jego powstanie datuje się na 1903 rok, natomiast projektantem tej budowli prawdopodobnie był Stanisław Babinetz - senior. Jest to gmach stworzony na rzucie zbliżonym kształtem do prostokąta, od ulicy Franciszkańskiej jednokondygnacyjny, natomiast od ulicy Tarnowskiego dwukondygnacyjny. Elewacja frontowa „Gwiazdy” jest obniżona na części przedsionka oraz rozczłonkowana. Ścianę nad wejściem głównym wieńczy attyka płycinowa, na której usytuowano szczyt przybierający formę aediculi z figurką św. Antoniego. Wszystkie otwory okienne tego budynku posiadają półkoliste zakończenie.³⁶

W dawnym budynku Stowarzyszenia Rękodzielników Żydowskich „Jad Charuzim”,³⁷ w dniu obecnym funkcjonuje siedziba **Biblioteki Miejskiej** oraz **Państwowego Ogniska Baletowego im. Lidii Natrowskiej**.³⁸ Gmach ten powstał w latach 1907-1912,

³³ T. Piekarczyk, Dawny gmach Starostwa obecnie Urząd Rejonowy, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-wrzesień 1998.

³⁴ H. Jurjewicz, Dom ul. Franciszkańska 2 d. Budynek Stowarzyszenia Rzemieślników, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-wrzesień 1993.

³⁵ M. Jasiński, A. Supeł, Jarosław magiczna podróż w czasie, wyd. Przedsiębiorstwo Handlowo Usługowe JĘDRUŚ, Andrzej Mikulski, Warszawa 2006, str. 69.

³⁶ H. Jurjewicz, Dom ul. Franciszkańska..., o.c., wrzesień 1993.

³⁷ A. Potocki, Żydzi w Podkarpaciu, wyd. LIBRA, Rzeszów 2004, str. 64.

³⁸ S. Mendelowski, Jarosław..., o.c., str. 88.

według projektu Samuela Kormana.³⁹ Mieści się on przy ulicy Tarnowskiego 1 i prawdopodobnie w przeszłości mógł pełnić funkcję synagogi.⁴⁰ Jego elewacja posiada cechy charakterystyczne dla neoklasycyzmu. Pierwszą kondygnację omawianego obiektu zdobią pilastry o jońskich głowicach natomiast drugą wysokie okna arkadowe, które przeplatają pilastry z korynckimi kapitelami. Szczyty okien wieńczą kwiatowe girlandy, natomiast ich dolną część zdobi tralkowanie. Budynek posiada fryz sztabkowy, a całość jego bryły wieńczy przyczółek.

Przy ulicy 3-go Maja 30 w 1912 roku wybudowano gmach, w jego murach pierwotnie funkcjonowała szkoła i tak zostało do dziś, ponieważ obecnie w budynku tym mieści się **Publiczne Gimnazjum nr 1 im. św. Królowej Jadwigi**. Obiekt ten powstał na rzucie o kształcie litery L i posiada ścięte naroże. Jego elewację zdobią ryzality, które w części parteru akcentują bonie. Górne kondygnacje ścian budynku są rozczłonkowane pionowo lizenami. Okna parteru ujmują proste opaski z podokiennikami pionowo żłobkowanymi. Na I piętrze występuje fryz arkadkowy, a otwory okienne wieńczy półokrągłe obramowanie zakończone płyciną z gzymsem oraz fryzem kostkowym, natomiast podokienniki dekorowane są promieniście. Otwory okienne II piętra nie posiadają obramień, zdobią je fartuchowe podokienniki, a przy górnych narożach występują dekoracje w postaci szarotek. Część narożna tego gmachu jest flankowana boniami i lizenami, całość budynku w elewacji szczytowej zdobi fryz arkadkowy oraz profilowany gzyms. Warto dodać, że pierwotnie budynek ten posiadał wątki zaczerpnięte z zakopiańskiego budownictwa drewnianego, do dnia dzisiejszego zachowały się jedynie ornamenty w postaci szarotek.⁴¹

2. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule zaprezentowano budynki pełniące funkcję obiektów publicznych, które znajdują się w mieście Jarosławiu. Warto dodać, że wszystkie opisane powyżej gmachy już od samego początku swojego powstania przeznaczone były dla użytku publicznego. Na przestrzeni lat często gościły one w swoich murach różne instytucje, organizacje oraz stowarzyszenia, pełniły wielorakie role, ale zawsze służyły dla dobra mieszkańców tego terenu.

W omawianym mieście do dnia dzisiejszego zachowało się wiele budynków pochodzących z XIX wieku. Odnaczają się one od innych obiektów dzięki bogatemu zdobieniu swych elewacji, które obfitują w wymyślne gzymsy, fryzy, lizeny, bonie, podokienniki, pilastry, kapitele oraz wiele innych detali przejawiających się szczególnie w postaci ornamentów.

Śledząc historię jarosławskiego budownictwa XIX wieku natrafiono również na takie gmachy, które pierwotnie stanowiły własność prywatną, a obecnie pełnią funkcję budynków użyteczności publicznej. Do ich grona możemy zaliczyć dawne kamienice mieszkalne, dworki, domy mieszczańskie oraz wille. Na przestrzeni lat w obrębie swoich

³⁹ J. Czechowicz, *Katalog...*, o.c., str. 166.

⁴⁰ W. Litwin, M. Mańko, S. Mańko, *Jarosław-Szlak Chasydzki*, wyd. Fundacja Ochrony Dziedzictwa Żydowskiego, Warszawa 2008, str. 10.

⁴¹ K. Kieferling, *Szkoła-Gimnazjum im. Królowej Jadwigi*, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna 2007.

murów oprócz podstawowych funkcji bytowych często sprawowały one odmienne role. Obecnie służą mieszkańcom miasta jako hotele, domy dziecka, ośrodki wychowawcze, kawiarnie oraz budowle pełniące role administracyjne.

3. LITERATURA

- [1] Adamik S., 50-lecie Specjalistycznego Psychiatrycznego Zespołu Opieki Zdrowotnej im. prof. Antoniego Kępińskiego w Jarosławiu, [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 2002-2004, tom XV, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2004,
- [2] Bergman E., Jagielski J., Zachowane synagogi i domy modlitwy w Polsce. Katalog, wyd. Żydowski Instytut Historyczny, Warszawa 1996,
- [3] Bieńkowska Z., Koszary ob. Gimnazjum im. ks. S. Konarskiego, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-2007,
- [4] Buczna M.(red.), Prawo budowlane warunki techniczne i inne aspekty prawne, Stan prawny na 24 marca 2009, wyd. Wolters Kluwer Polska Sp.z.o.o., Warszawa 2009,
- [5] Czechowicz J., Katalog zabytków i budownictwa Jarosławia, [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 1994-1999, tom XIII, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2000,
- [6] Frazik J., Malanek M., Katalog zabytków sztuki. Województwo rzeszowskie, powiat jarosławski, wykonany w ramach prac Zespołu Dokumentacji Naukowej przy Katedrze Sztuki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1956,
- [7] Frendo J., Towarzystwo Gimnastyczne „Sokół” w Jarosławiu w latach 1889-1939, [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 1994-1999, tom XIII, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2000,
- [8] Gottfried K., Ilustrowany przewodnik po Jarosławiu, wyd. SMJ w Drukarni PAPIRUS, Jarosław 1937,
- [9] Gottfried K., Jarosław i okolice, wyd. Polskie Towarzystwo Turystyczno-Krajoznawcze, Sport i Turystyka, Warszawa 1959,
- [10] <http://zwiedzaj-polske.pl/Duza-Synagoga-w-Jaroslawiu>, 01.01.2012,
- [11] Jasiński M., Supel A., Jarosław magiczna podróż w czasie, wyd. Przedsiębiorstwo Handlowo Usługowe JĘDRUŚ, Andrzej Mikulski, Warszawa 2006,
- [12] Jurjewicz H., Budynek Urzędu Skarbowego C.K. ob. Zespół Szkół Spożywczych, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna - październik 1996,
- [13] Jurjewicz H., Dom ul. Franciszkańska 2 d. Budynek Stowarzyszenia Rzemieślników, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna - wrzesień 1993,
- [14] Jurjewicz H., Dom użyteczności publicznej-szpital miejski, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-lipiec 1998,
- [15] Kieferling K., Szkoła-Gimnazjum im. Królowej Jadwigi, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna 2007,
- [16] Kieferling K., Szpital wojskowy ob. Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-grudzień 2007,

- [17] Kłos S., Jarosław, Radymno, Sieniawa, Pruchnik i okolice. Przewodnik dla turystów i krajoznawców., wyd. PUW „Roksana”, Krosno 1999,
- [18] Kondraccy B. i M., Historia i działalność straży pożarnej w Jarosławiu 1884-2000, [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 2000-2002, tom XIV, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2002,
- [19] Litwin W., Mańko M., Mańko S., Jarosław-Szlak Chasydzki, wyd. Fundacja Ochrony Dziedzictwa Żydowskiego, Warszawa 2008,
- [20] Mendelowski S., Jarosław, wyd. P.U.W. „ROKSANA”, Krosno 2009,
- [21] Michałowicz-Kubal M., Powiat jarosławski, wyd. „APLA”, Krosno 2001,
- [22] Piekarz T., Budynek Internatu Liceum Ogólnokształcącego, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-grudzień 1991,
- [23] Piekarz T., Budynek szkolny, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-grudzień 1991,
- [24] Piekarz T., Budynek szkoły-Liceum Ekonomiczne, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-1995,
- [25] Piekarz T., Dawny gmach Starostwa obecnie Urząd Rejonowy, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-wrzesień 1998,
- [26] Piekarz T., Gmach Liceum Ogólnokształcącego, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-październik 2000,
- [27] Piekarz T., Gmach Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół” obecnie Miejski Ośrodek Kultury, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna -listopad 1995,
- [28] Piekarz T., Kasyno Wojskowe-Klub Garnizonowy, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-styczeń 1996,
- [29] Piekarz T., Rzeźnia miejska, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-listopad 1997,
- [30] Piekarz T., Zespół Budynków Gazowni obecnie Miejski Zakład Komunikacji, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-sierpień 1995,
- [31] Potocki A., Żydzi w Podkarpackiem, wyd. LIBRA, Rzeszów 2004,
- [32] Sroka A., Świątynie Jarosławia, wyd. „Multicolor”, Jarosław 2005,
- [33] Tokarska I., Zespół koszar poaustriackich ob. szpital, Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu, karta ewidencyjna-październik 1996,
- [34] Wojtas J., 80 lat Szkoły Ekonomicznej w Jarosławiu (1924-2004), [w] Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia 2002-2004, tom XV, wyd. Stowarzyszenie Miłośników Jarosławia, Jarosław 2004,

PUBLIC UTILITY BUILDINGS OF THE 19TH CENTURY IN JAROSŁAW

SUMMARY

From the very beginning of the public utility buildings in Jarosław played an important part of its development. The whole complex of buildings is bringing a historic site of significant cultural value. They have many architecture's details so specific for objects for 19th century.

Krzysztof SORNEK, mgr inż.
Michał TOMSKI, mgr inż.
Mariusz FILIPOWICZ, dr hab. inż., prof. nadzw.

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Energetyki i Paliw
Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: ksornek@agh.edu.pl, tomski@agh.edu.pl, filipow@agh.edu.pl

WYKORZYSTANIE BIOMASY W NOWOCZESNYCH, DOMOWYCH SYSTEMACH POLIGENERACYJNYCH

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono charakterystykę paliw biomasowych, wraz z oceną możliwości ich zastosowania w tradycyjnych systemach grzewczych oraz nowoczesnych systemach skojarzonych. Dokonany został opis istniejących rozwiązań w zakresie układów micro-CHP (wykorzystujących jako źródło ciepła kotły na biomasę), a także pokazana została koncepcja budowy innowacyjnego systemu poligeneracyjnego, pokrywającego zapotrzebowanie budynku na ciepło, chłód oraz energię elektryczną. Zaprezentowano ponadto fragment wstępnych wyników badań prowadzonych na Wydziale Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

1. WPROWADZENIE

Rosnące ceny energii wytwarzanej w tradycyjnych źródłach, a także coraz wyższe wymagania środowiskowe, są przyczyną wzrostu popularności alternatywnych źródeł ciepła i energii elektrycznej. Zgodnie z Dyrektywą 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, wszystkie nowe budynki mają być do dnia 31 grudnia 2020 r. budynkami o niemal zerowym zużyciu energii (pojęcie to oznacza budynki o bardzo niskim wskaźniku zużycia energii, dla których niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w znacznym stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu). W związku z tym, konieczne staje się opracowanie rozwiązań, które z jednej strony spełnią powyższe wymagania, z drugiej – przyniosą wymierne korzyści użytkownikom. Takim rozwiązaniem mogą

być tradycyjne systemy grzewcze, a w dalszej perspektywie systemy kogeneracyjne i poligeneracyjne, wykorzystujące ciepło ze spalania biomasy.

2. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA BIOMASY JAKO PALIWA

Dyrektywa 2001/77/WE definiuje biomasę jako podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości przemysłu rolnego, leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, a także podatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich. Całkowity realny potencjał ekonomiczny biomasy szacowany jest na 600 PJ, w tym: odpady suche stałe – 166 PJ/rok, biogaz (odpady mokre) – 123 PJ/rok, drewno opałowe – 24 PJ/rok, uprawy energetyczne – 287 PJ/rok. Aktualnie potencjał ten jest wykorzystywany w zaledwie 32%, co daje produkcję energii na poziomie 192 PJ [1].

Do celów energetycznych stosuje się najczęściej drewno i odpady z jego przeróbki, rośliny pochodzące z upraw energetycznych, słomę, a także produkty rolne. Z punktu widzenia praktycznej możliwości zastosowania paliw biomasowych istotne są takie właściwości, jak wartość opałowa (podstawowy parametr termofizyczny), wilgotność, zawartość popiołu i części lotnych oraz gęstość usypowa. Zestawienie podstawowych parametrów najpopularniejszych biopaliw stałych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe właściwości typowych paliw biomasowych [2].

Table 1. The basic properties of typical biomass fuels.

Paliwo	Wilgotność %	Wart. opałowa MJ/kg	Gęstość kg/m ³	Zaw. popiołu % s. m.
Drewno kawałkowe	20 – 30	11,0 – 22,0	380 – 640	0,6 – 1,5
Pelety	7 – 12	16,5 – 17,5	650 – 700	0,4 – 1,0
Zrębki	20 – 60	6,0 – 16,0	150 – 400	0,6 – 1,5
Słoma żółta	10 – 20	14,3	90 – 165	4,0
Słoma szara	10 – 20	15,2	90 – 165	3,0
Kora	55 – 65	18,5 – 20,0	250 – 350	1,0 – 3,0

Wartość opałowa paliw biomasowych uzależniona jest w dużym stopniu od ich wilgotności – im paliwo jest bardziej osuszone, tym wyższa jest jego kaloryczność. Należy przy tym pamiętać, iż wilgotność paliwa jest istotna również ze względu na technologię spalania, transport i magazynowanie, a także z uwagi na automatyzację podawania do kotła i warunki jego eksploatacji [3].

W porównaniu do tradycyjnie stosowanych paliw (węgiel kamienny, olej opałowy, gaz ziemny itp.), wartość opałowa biopaliw stałych jest zdecydowanie niższa. Takie aspekty jednak, jak szeroka dostępność paliwa, niewielki koszt wytworzenia ciepła oraz w miarę neutralny wpływ na środowisko naturalne sprawiają, że stosowanie paliw biomasowych staje się coraz bardziej popularne.

Najbardziej korzystne pod względem energetycznym jest spalanie suchego drewna kawałkowego, peletów oraz słomy szarej.

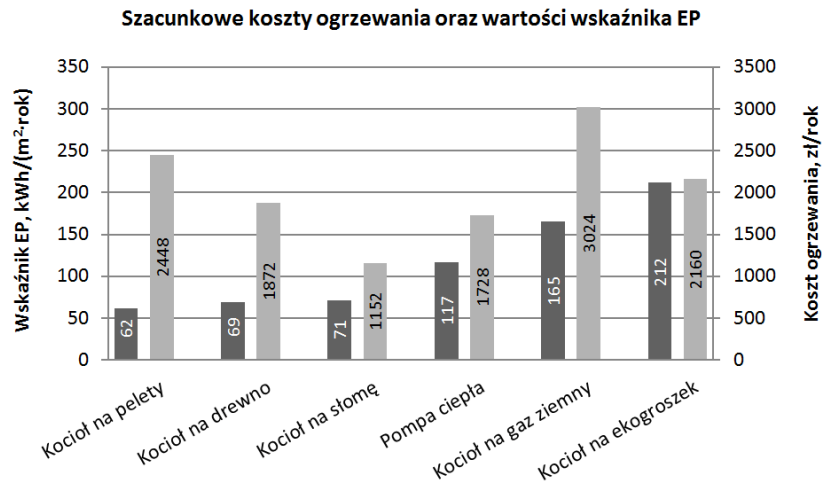
3. BIOMASA W TRADYCYJNYCH INSTALACJACH GRZEWczyCH

W tradycyjnych budynkach, w których ciepło, chłód oraz energia elektryczna dostarczane są przez niezależne od siebie systemy, możliwość zastosowania biopaliw stałych

dotyczy przede wszystkim aspektu wytwarzania ciepła. Do tego celu wykorzystuje się kotły na biomasę, których konstrukcja przystosowana jest do rodzaju spalanej paliwa. W przypadku spalania drewna stosuje się kotły ze spalaniem górnym, dolnym lub zgazowujące, w przypadku peletów – kotły z palnikiem retortowym lub rynnowym (z automatycznym podajnikiem paliwa), a w przypadku spalania słomy – kotły wsadowe lub kotły o ruchu ciągłym. Opis poszczególnych konstrukcji dokonany został w [4].

Inwestycja w kotły na biomasę jest uzasadniona z wielu względów. W porównaniu do innych popularnie stosowanych urządzeń grzewczych, charakteryzują się one z jednej strony niższymi kosztami inwestycyjnymi od pomp ciepła, z drugiej – tańszą i bardziej przyjazną środowisku eksploatacją niż kotły opalane gazem ziemnym (zerowa emisja dwutlenku węgla do atmosfery). Kotły na biomasę pozwalają ponadto osiągnąć wysoką niezależność energetyczną oraz w znaczny sposób obniżyć wartość współczynnika EP w świadectwie charakterystyki energetycznej budynku. Nowsze konstrukcje charakteryzują się niemal bezobsługową pracą (automatyczne rozpalenie, gaszenie, podawanie paliwa itp.), jednak ich wadą jest konieczność okresowego doгляądu kotła oraz wymóg magazynowania paliwa.

Potwierdzeniem powyższych słów jest zestawienie rocznych kosztów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, a także wartości wskaźnika EP, dla różnych źródeł ciepła, wykonane dla przykładowego budynku o powierzchni 180 m² i wskaźniku sezonowego zapotrzebowania na ciepło $E = 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Prezentowane na rysunku 1 rezultaty, uwzględniając założenie, iż kolektory słoneczne pokrywają 40% zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej.



Rys. 1. Porównanie rocznych kosztów ogrzewania oraz wartości wskaźnika EP dla różnych źródeł ciepła w przykładowym budynku

Fig. 1. Comparison of annual heating costs and values of primary energy EP for different heat sources in the example building

4. SYSTEMY MIKROKOGENERACYJNE

Rozwinięciem tradycyjnych systemów grzewczych są układy mikrokogeneracyjne, których istota działania polega na jednoczesnym wytwarzaniu ciepła i energii elektrycznej z dostarczonego nośnika energii pierwotnej (np. biopaliwa). Zaletą tego typu układów jest m.in. uniwersalność stosowania, zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną pobieraną z sieci (ograniczenie kosztów eksploatacyjnych budynku), a także możliwość zagospodarowania ciepła odpadowego. Zastosowanie układów micro-CHP jest uzasadnione także ze względu na rosnące wymagania w zakresie jakości energetycznej budynków oraz ich samowystarczalności energetycznej (Dyrektywa 2010/31/UE).

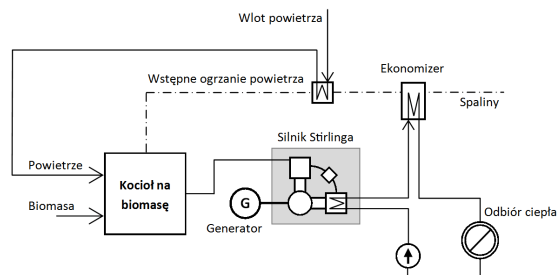
W skład typowego systemu mikrokogeneracyjnego, wykorzystującego jako źródło ciepła kocioł na biomase, wchodzi silnik Stirlinga lub układ ORC (wraz z niezbędnym wyposażeniem) oraz zewnętrzny generator energii elektrycznej. Konstrukcja systemu sprawia, że ciepło oraz energia elektryczna produkowane są równocześnie, przy czym ze względu na różną efektywność obu procesów, ilość wytwarzanego ciepła jest znacznie większa. W związku z tym konieczne jest stosowanie zbiorników buforowych lub innych dodatkowych odbiorników ciepła, który zmagazynują jego nadwyżkę (zwłaszcza w okresie letnim). Z drugiej strony, ze względu na dobową i miesięczną nierównomierność zużycia energii elektrycznej, korzystne jest stosowanie akumulatorów lub sprzedawanie energii do sieci. W tym drugim przypadku, w chwilach, gdy produkcja energii elektrycznej jest większa niż jej chwilowe zużycie, jest ona oddawana do sieci miejskiej, natomiast w momentach, gdy jej zużycie przekracza chwilowe możliwości produkcyjne układu micro-CHP – jest z sieci pobierana. Dzięki temu możliwe jest dobranie mniejszych, a co za tym idzie – tańszych, urządzeń prądowców.

4.1. System micro-CHP z silnikiem Stirlinga

Silnik Stirlinga jest urządzeniem, które przetwarza ciepło na energię mechaniczną bez wybuchowego procesu spalania. Pracuje on w obiegu zamkniętym z dowolnym gazem roboczym (hel, wodór, neon, powietrze itp.) oraz z regeneracją ciepła przy stałej objętości. Typowy silnik składa się z gorącego oraz zimnego tłoka, regeneracyjnego wymiennika ciepła, a także elementów wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym a źródłami zewnętrznymi. Ruch tłoka, wytworzony wskutek przemian termodynamicznych gazu, jest wykorzystywany do napędu wału generatora energii elektrycznej. Teoretyczna sprawność elektryczna generatora stosowanego w silnikach Stirlinga wynosi 35–50% (przy pełnym obciążeniu), sprawność cieplna – 60–70%, a sprawność całkowita – 80–90%. Oczekiwana dyspozycyjność urządzenia jest równa co najmniej 85-90%

Technologia silników Stirlinga jest bardzo obiecująca – na rynku znajduje się obecnie kilka prototypowych rozwiązań tego typu urządzeń, mogących współpracować z kotłami grzewczymi. Wśród nich wyróżnić można silniki o mocach 0,35, 1 oraz 3 kWe, a w latach 2012-2013 planuje wprowadzić do sprzedaży urządzenia o mocach 5 i 7 kWe. Zgodnie z danymi producenta, wymagana temperatura startowa takich silników wynosi ok. 500°C, natomiast nominalna temperatura pracy – 750°C. Jak pokazują badania prowadzone na Wydziale Energetyki i Paliw, temperatura taka jest standardowo osiągnięta przy spalaniu różnego rodzaju biopaliw stałych.

Schemat przykładowego układu micro-CHP z silnikiem Stirlinga, pokazany został na rysunku 2.



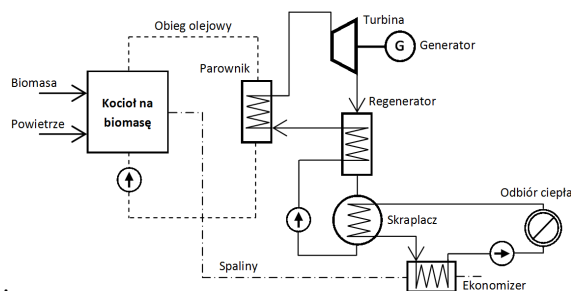
Rys. 2. Schemat systemu micro-CHP z silnikiem Stirlinga
Fig. 2. Diagram of the micro-CHP system including Stirling engine.

4.2. System micro-CHP z układem ORC

Alternatywą dla silnika Stirlinga jest zastosowanie układu ORC (z ang. Organic Rankine Cycle), w którym energia elektryczna wytwarzana jest w generatorze połączonym z turbiną parową. Układ taki zbliżony jest do obiegu konwencjonalnej turbiny parowej, za wyjątkiem czynnika roboczego (n-Butan, izobutan, R124 itp.), umożliwiającego wydajną eksploatację źródeł niskotemperaturowych, w tym kotłów opalanych biomasą. Układy ORC charakteryzują się wysoką wydajnością obiegu i turbiny (dochodzącą do 85%), długą żywotnością, a także cichym działaniem. Sprawność elektryczna wynosi w tym przypadku 11–15%, sprawność cieplna – 50–75%, a sprawność całkowita – 75–85%.

Podobnie, jak w przypadku silników Stirlinga, układy ORC małej mocy znajdują się aktualnie w fazie rozwoju. Wśród dostępnych na rynku rozwiązań, wyróżnić można GreenTurbine oraz InfinityTurbine. Te ostatnie posiadają znamionowe moce elektryczne z zakresu 0,6-10kWe (większe dostępne są dla zastosowań przemysłowych), które osiągają przy różnicy temperatury na parowniku i skraplaczu równej min. 65 K (temperatura oleju termalnego dopływającego do parownika – 80–140°C, temperatura na skraplaczu < 30°C) oraz przepływie czynnika roboczego nie przekraczającym 0,011 kg/s. Energia elektryczna wytwarzana jest w generatorze magnetoelektrycznym (standardowe napięcie to 180 V).

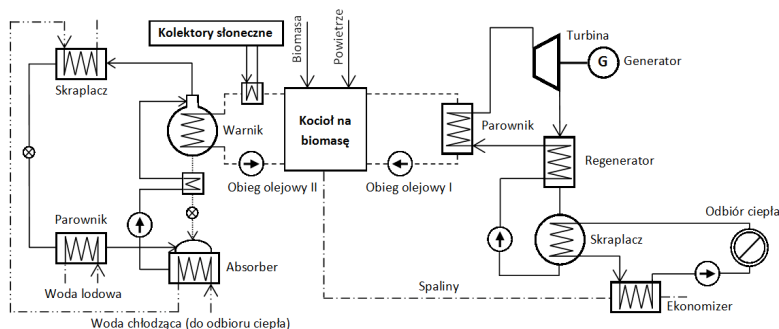
Przykład zastosowania układu micro-ORC, przedstawiony został na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat systemu micro-CHP z układem ORC.
Fig. 3. Diagram of the micro-CHP system including an ORC system.

5. INNOWACYJNE SYSTEMY POLIGENERACYJNE

Rosnące wymagania odnośnie komfortu użytkowania budynków sprawiają, że poszukiwane są bardziej rozbudowane rozwiązania, które zapewnią nie tylko pokrycie zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną, ale również pozwolą zaspokoić potrzeby chłodnicze. Rozwiązaniem takim mogą być układy poligeneracyjne, wyposażone w kocioł na biomasę, silnik Stirlinga (lub układ ORC) oraz chłodziarkę absorpcyjną. Koncepcja budowy takiego układu pokazana została na rysunku 4.



Rys. 4. Koncepcja układu poligeneracyjnego
Fig. 4. The concept of the polygeneration system

Działanie przedstawionego układu jest zbliżone do typowych układów micro-CHP, przy czym do części płaszcza wodnego kotła dołączona jest dodatkowo chłodziarka absorpcyjna. Gorący olej termalny napędza wężownicę, w której przy odpowiednio wysokiej temperaturze zachodzi desorpcja czynnika roboczego ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ lub $\text{H}_2\text{O-LiBr}$). Dolnym źródłem ciepła w takim układzie może być woda z instalacji grzewczej (wykorzystywana jako medium chłodnicze w lecie) lub powietrze wentylacyjne. Dla zagospodarowania ciepła oddawanego w skraplaczu oraz absorberze, może być ono ładowane do zasobnika ciepłej wody użytkowej. Dzięki temu zwiększeniu ulegnie całkowity współczynnik wydajności chłodziarki, który w przypadku urządzeń z czynnikiem roboczym w postaci $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ wynosi odpowiednio: 0,6-0,75 (system jednoefektowy, zakres temperatury 100-120°C) oraz 1,0-1,2 (system dwuefektowy, zakres temperatury 150-170°C) [4].

Standardowe źródło ciepła, w postaci kotła na biomasę, może być uzupełnione przez kolektory słoneczne, które w okresie letnim ograniczą konieczność uruchamiania kotła, a także posłużą do dogrzania ciepłej wody użytkowej. Aby możliwe było osiągnięcie wymaganych wartości temperatury, konieczne jest zastosowanie urządzeń rurowych próżniowych o przepływie bezpośrednim, w których czynnik w sprzyjających warunkach może zostać nagrany nawet do 140°C i więcej.

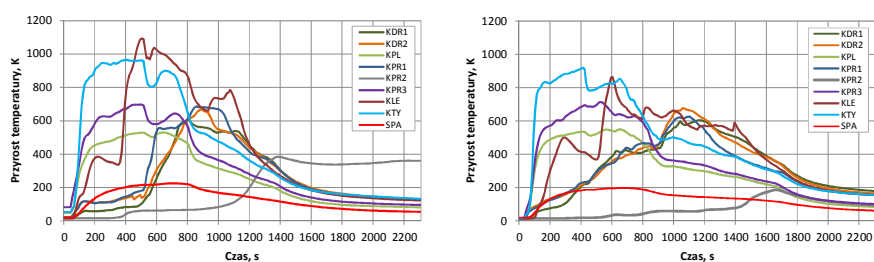
Uzupełnieniem układu poligeneracyjnego może być zbiornik kombinowany (czyli połączenie bufora centralnego ogrzewania z zasobnikiem ciepłej wody użytkowej) oraz wymiennik ciepła typu woda-powietrze, który włączony do przewodu powrotnego będzie pełnił funkcję wstępnego nagrzewu powietrza wentylacyjnego.

Zastosowanie opisanego systemu pozwoli całkowicie pokryć zapotrzebowanie na ciepło, a także całkowicie lub częściowo (w zależności od typu obiektu i wielkości zużycia energii końcowej) pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną i chłód.

6. WYNIKI DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

Dotychczasowe badania prowadzone przez pracowników Wydziału Energetyki i Paliw, skupiały się przede wszystkim na obserwacji wpływu regulacji pracy kotła na przebieg procesu spalania, a także określaniu wpływu rodzaju paliwa i wielkości wsadu na uzyskiwany efekt energetyczny. Otrzymane w trakcie badań wyniki, potwierdzają jednak, iż kotły na biomasę stanowią doskonałe źródło ciepła dla systemów poligeneracyjnych.

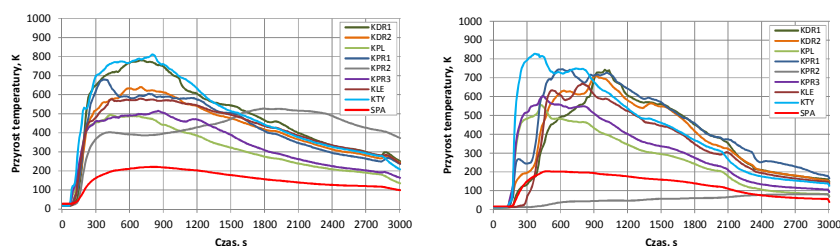
W układach grzewczych wyposażonych w zbiornik buforowy sterowanie pracą kotła może być realizowane przez stację regulacyjną, która kontroluje stopień załadunku bufora i w odpowiednim czasie włącza kocioł. Optymalizacja procesu spalania ogranicza się w takim przypadku do określenia odpowiednich warunków spalania paliwa, na które w dużym stopniu wpływa zadana maksymalna temperatura spalin. W trakcie prowadzonych badań zaobserwowano różną dynamikę zmian temperatury w komorze spalania kotła, która uzależniona była od zaprogramowanej maksymalnej temperatury spalin. Na rysunku 5 pokazane zostały przykładowe przebiegi dla zadanej temperatury spalin 250°C oraz 215°C, które uzyskano przy spalaniu siedmiu balotów słomy o wymiarach 80x40x40 cm. Wartości temperatury, zmierzone na ośmiu czujnikach rozmieszczonych wewnątrz komory spalania pokazują, że w części komory spełnione są warunki umożliwiające zastosowanie silnika Stirlinga (maksymalna temperatura osiąga w tych punktach 900–1100°C, średnia - ponad 700°C). Ponadto, przekaz ciepła z komory spalania do płaszcza wodnego jest na tyle duży, że przy ciągłej pracy kotła osiągnięta zostaje wymagana dla układów micro-ORC oraz chłodziarki absorpcyjnej temperatura oleju termalnego.



Rys. 5. Dynamika procesu spalania słomy w zależności od zadanej maksymalnej temperatury spalin (lewy wykres - 250°C, prawy - 215°C)

Fig. 5. The dynamics biomass combustion for two chosen maximum flue gas temperature (left graph - 250°C, right graph - 215°C)

Także w drugim z rozpatrywanych przypadków, przy spalaniu różnego wolumenu biopaliwa, otrzymane wyniki potwierdzają zasadność budowy układu poligeneracyjnego opartego o kocioł na biomasę. Na rysunku 6 przedstawiona została dynamika procesu spalania drewna oraz mieszanki drewno-słoma-papier przy zadanej maksymalnej wartości temperatury spalin na poziomie 250°C. W tym przypadku, ze względu na mniejszą gęstość usypową paliwa, rozkład temperatury w różnych punktach komory spalania jest bardziej równomierny, przy czym – ze względu na inny charakter spalania mieszanki – wartości maksymalne i średnie temperatury są nieznacznie niższe. Nie zmienia to jednak faktu, iż również w tym przypadku uzasadnione jest zastosowanie układów wytwarzających energię elektryczną i chłód.



Rys. 6. Dynamika procesu spalania słomy w zależności od rodzaju paliwa (lewy wykres - drewno, prawy - mieszanka drewno-słoma-papier)

Fig. 6. The dynamics of the biomass combustion for two chosen fuels (left graph - wood, right graph - wood, straw and paper mix)

7. PODSUMOWANIE

Systemy poligeneracyjne, przystosowane do pracy w budynkach mieszkalnych, powinny być przedmiotem dalszych badań, zmierzających do opracowania kompletnej koncepcji ich budowy oraz optymalizacji poszczególnych parametrów pracy. Układy takie będą istotnym krokiem we wdrażaniu coraz bardziej restrykcyjnych wymagań unijnych w zakresie energooszczędności i efektywności energetycznej budynków, a jednocześnie pozwolą uzyskać całkowitą lub częściową niezależność od rosnących cen tradycyjnych nośników energii. Wyniki przeprowadzonych dotychczas badań, potwierdzają możliwość stosowania tego typu rozwiązań w nowych i istniejących systemach grzewczych.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej WEiP, AGH „Badania uwarunkowań zrównoważonego rozwoju energetycznego”

8. LITERATURA

- [1] „BAP Driver - Rozwój krajowych strategii i planów działań na rzecz zrównoważonego, energetycznego wykorzystania biomasy”, Raport KAPE, 2010
- [2] www.biomasa.org, dostęp: luty 2012
- [3] Filipowicz M. i in.; „Monitoring temperatury komory kotła na biomasę oraz instalacji grzewczej”; Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja; nr 42/7-8 (2011)
- [4] Sornek K., Szubel M., Tomski M., Filipowicz M.; Kotły na biomasę – określenie efektywności ich pracy oraz możliwości sterowania, Energia i Budynek, 2012

POSSIBILITY OF THE USE OF BIOMASS IN MODERN, DOMESTIC POLIGENERATION SYSTEMS

SUMMARY

The paper presents characteristics of the biomass fuels, with discussion about their applicability in traditional heating systems and modern micro-CHP systems. There were described existing solutions of micro-CHP systems, based on the use of biomass boilers as a heat sources, and it was shown the concept of an innovative polygeneration system, which could cover the building's demand on heating, cooling and electricity. The paper also presents preliminary results of research conducted at the Faculty of Energy and Fuels (AGH University of Science and Technology, Cracow).

Mariola STARZOMSKA, mgr inż.
Jerzy Z. PIOTROWSKI, dr hab. inż., prof. PŚk.
Stanisław SZEWCZYK, mgr inż.

Politechnika Świętokrzyska
Katedra Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314Kielce
e-mail m.starzomska@tu.kielce.pl, jzpiotr@tu.kielce.pl

INNOWACYJNE WYKORZYSTANIE ENERGII SŁUPA WODY

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono urządzenie pozwalające na skuteczne pozyskiwanie energii z niewielkich cieków wodnych, w których nieopłacalne lub niemożliwe jest zastosowanie typowych turbin wodnych. Przedstawiono ideę działania urządzenia. Porównano wielkość uzyskanej energii dla tradycyjnego sposobu pozyskiwania energii z wody (przy użyciu turbin wodnych) i przy wykorzystaniu zaproponowanego urządzenia.

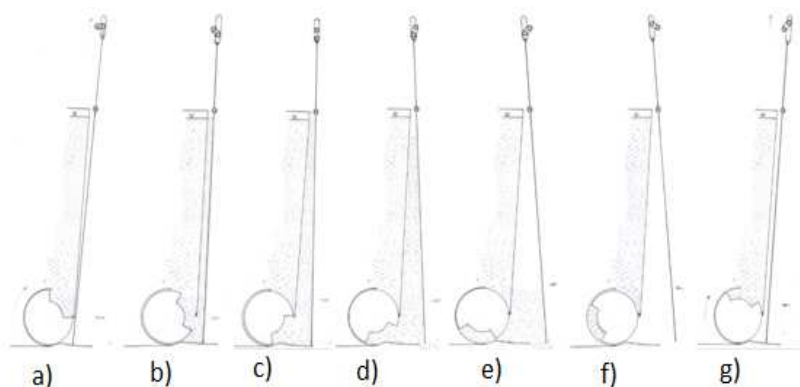
1. WPROWADZENIE

Teoretyczne zasoby wodno energetyczne Polski zostały obliczone w latach 60, w oparciu o metodykę Światowej Rady Energetyki i wynoszą one dla średniego roku energetycznego około 23 TWh/rok ($1\text{TWh}=10^9\text{kWh}$). Natomiast techniczne zasoby energetyczne wszystkich wód płynących wyliczone przez A. Hoffmana i M. Hoffmana oraz J. Tymińskiego [1] wynoszą około 12 TWh/rok, zaś techniczne zasoby MEW (obiekty wodne do 5MW) wynoszą około 2 TWh/rok. Potencjał techniczny polskich rzek wykorzystany jest jedynie w 10-12%, co stawia nas na ostatnim miejscu w Europie. Tradycyjne metody pozyskiwania energii elektrycznej z energii wody wykorzystują turbiny wodne poruszane przez wodę i bezpośrednio połączone z generatorem. Zaproponowane urządzenie pozwala skutecznie pozyskać energię z niewielkich cieków wodnych, w których nieopłacalne lub niemożliwe jest zastosowanie typowych turbin wodnych.

2. URZĄDZENIE DO PRZETWARZANIA ENERGII SŁUPA WODY

Urządzenie do przetwarzania energii słupa wody składa się z czterech segmentów [4], z których każdy ma obudowę w kształcie zbliżonym do wycinka walca, w której osa-

dzona jest wahadłowo płyta robocza. Płyty robocze wszystkich segmentów ułożyskowane są na wspólnej, poziomo usytuowanej osi. Ściana boczna, oporowa, w swej dolnej części posiada kanał doprowadzający wodę, na całej szerokości segmentu, wyposażony w zawór sprzężony z mechanizmem odbioru mocy. Dolna płyta wyprofilowana jest wzdłuż łuku zakreślonego przez dolną krawędź płyty roboczej. Płyta robocza, boki segmentu wraz z płytą dolną tworzą układ szczelny do momentu, gdy dolna krawędź płyty roboczej znajdzie się nad otworami odprowadzającymi. Cykle działania urządzenia przedstawiono na rys. 1.



Rys.1 Pełny cykl działania urządzenia do przetwarzania słupa wody

- a) początek cyklu, płyta robocza przylega do ściany oporowej, zawór doprowadzający wodę zamknięty,
 b)) otwarcie zaworu doprowadzającego wodę, napełnianie komory roboczej,
 c) zamknięcie dopływu wody i rozpoczęcie wypływu przez otwory odprowadzające w płycie dolnej,
 d-e) wypływ wody przez otwory w płycie dolnej, zawór doprowadzający wodę zamknięty,
 f)-g) pusta komora robocza, powrót płyty roboczej do punktu początkowego.
- Fig.1 Full cycle of a water processing device.*
- a) the beginning of the circle, worktop adheres to the retaining wall, the water inlet valve is closed,
 b)-c) the water inlet valve is opened, filling the working chamber,
 d) closing water inlet, and the water starts to outflow through the hole in the bottom plate,
 e) the water outflows through the hole in the bottom plate, the water inlet valve is closed,
 f)-h) the working chamber is empty, the worktop returns to the starting position.

3. ENERGIA STRUMIENIA WODY

Wielkość możliwej do otrzymania energii uzyskano z porównania tradycyjnego sposobu pozyskiwania energii z wody (przy użyciu turbin wodnych) i z wykorzystaniem zaproponowanego urządzenia, przy następujących założeniach:

- wysokość spadu 1m,
- przepływ $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1. Pozyskiwanie energii z wody w sposób tradycyjny

Energia pozyskiwana z wody to energia kinetyczna, a zwłaszcza energia potencjalna wody. Aby określić teoretyczną ilość energii E zawartą w płynącej wodzie między punktami 1 i 2 rozpatrywanego odcinka cieku wodnego skorzystano z równania Bernoulliego:

$$\frac{v^2}{2} + g \cdot h + \frac{p}{\rho} = \text{const} \quad (1)$$

gdzie:

v - prędkość wody [m/s],

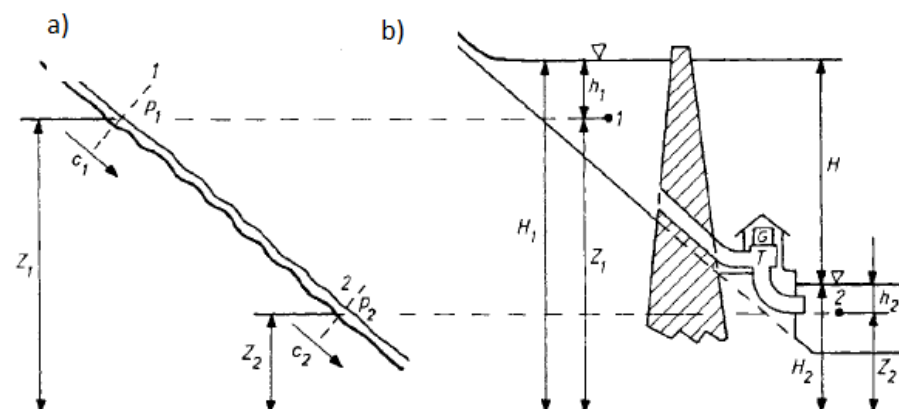
g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

h - wysokość [m],

p - ciśnienie [Pa],

ρ - gęstość wody [kg/m^3],

oraz przyjmują oznaczenia odpowiednio w dwu wybranych przekrojach (rys 2)



Rys.2 Przekrój koryta rzeki: a) w stanie naturalnym, b) po wybudowaniu zapory [2]

Fig.2 Cross section of River Bed: a) In natural state, b) after construction of dam

Z_1, Z_2 - wzniesienie przekrojów 1 i 2 nad dowolny poziom odniesienia [m],

p_1, p_2 - ciśnienie na poziomie lustra wody [Pa],

v_1, v_2 - średnia prędkość wody [m/s],

V - objętość przepływającej wody [m^3]

Energie w każdym z przekrojów przedstawiają zależności:

$$E_1 = \left[\frac{v_1^2}{2} + g \cdot Z_1 + \frac{p_1}{\rho} \right] \rho \cdot V \quad [J] \quad (2)$$

$$E_2 = \left[\frac{v_2^2}{2} + g \cdot Z_2 + \frac{p_2}{\rho} \right] \rho \cdot V \quad [J] \quad (3)$$

gdzie:

$\frac{\rho v^2}{2}$ - energia prędkości (kinetyczna),

$g \cdot Z$ - energia położenia (potencjalna)

$\frac{\rho p}{\rho}$ - energia ciśnienia.

Zatem energia rozwijana przez rzekę pomiędzy dwoma przekrojami wynosi [2]:

$$E_{12} = E_1 - E_2 = \left[\frac{\rho v_1^2 - \rho v_2^2}{2} + g(Z_1 - Z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\rho} \right] \rho \cdot V \quad [J] \quad (4)$$

Wybudowanie zapory umożliwi koncentrację spadku i wykorzystanie energii strumienia wody do napędu turbiny wodnej. Zakładając, że środki ciężkości mas wody na poziomach górnym i dolnym znajdują się na poziomach Z_1 , Z_2 oraz przyjmując następujące oznaczenia:

h_1, h_2 - głębokość położenia środka ciężkości masy wody pod lustrem wody [m],

H_1, H_2 - poziom niwelacyjny lustra wody w stosunku do poziomu odniesienia [m],

H - spad niwelacyjny [m],

uwzględniając zależności:

$$H = H_1 - H_2 \quad (5)$$

$$H_1 = Z_1 + h_1 \quad (6)$$

$$H_2 = Z_2 + h_2 \quad (7)$$

$$p_1 = h_1 \cdot \rho \cdot g \quad (8)$$

$$p_2 = h_2 \cdot \rho \cdot g \quad (9)$$

oraz dokonując przekształcenia wyrażenia (4), otrzymujemy wyrażenie określające wartość energii jaką może przejąć turbina od strumienia wody:

$$E_{12} = \left[\frac{\rho v_1^2}{2} - \frac{\rho v_2^2}{2} + g \cdot H + g \sum h_{str} \right] \rho \cdot V \quad [J] \quad (10)$$

gdzie:

$g \cdot H$ - energia potencjalna wody w górnym zbiorniku,

$\frac{\rho v_1^2}{2}$ - energia kinetyczna związana z ruchem wody w górnym zbiorniku z prędkością v_1 ,

$\frac{\rho v_2^2}{2}$ - energia kinetyczna odpływającej wody na dolnym poziomie z prędkością v_2 ,

$g \sum h_{str}$ - strata energii związana z oporami przepływu wody w doprowadzeniach i odprowadzeniach z turbiny.

W przypadku gdy cała różnica poziomów wody skoncentrowana jest na niewielkim obszarze, można pominąć spadki ciśnienia w przewodach doprowadzających wodę do turbiny. Prędkości wody przed i za spiętzeniem są porównywalne, można więc przyjąć,

że $v_1 = v_2$, zatem maksymalna ilość energii do pozyskania z ciekłu wodnego przy założeniach jak wyżej jest wyrażona wzorem:

$$E_{12} = g \cdot H \cdot \rho \cdot V \quad [J] \quad (11)$$

gdzie:

g - przyspieszenie ziemskie = 9,81 m/s²,

ρ - gęstość wody = 1000 kg/m³,

V - objętość przepływającej wody [m³],

H - wysokość spadu [m]

a uzyskana maksymalna moc (bez uwzględniania sprawności procesu transformacji energii wody na energię elektryczną) jest określona zależnością:

$$P_{\max} = \frac{E_{12}}{t} = g \cdot H \cdot \rho \cdot \frac{V}{t} = g \cdot H \cdot \rho \cdot Q \quad [W] \quad (12)$$

gdzie:

Q - przepływ-objętość strumienia wody przepływającego przez turbinę w ciągu sekundy [m³/s]

Uwzględniając założenia jak na wstępie (wysokość spadu $H = 1$ m, przepływ $Q = 0,1$ m³/s) można wyliczyć wartość teoretycznej, maksymalnej możliwej do uzyskania mocy :

$$P_{\max} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 981 \text{ W} = 0,98 \text{ kW} \quad (13)$$

3.2. Pozyskiwanie energii z ciekłu wodnego przy użyciu zaproponowanego urządzenia

Zaproponowane urządzenie do działania wykorzystuje parcie hydrostatyczne. Dla łopaty roboczej o kształcie prostokąta parcie hydrostatyczne wynosi [3]:

$$F_h = \gamma \frac{h^2}{2} b = g \rho \frac{h^2}{2} b \quad [N] \quad (14)$$

gdzie:

h - wysokość łopaty [m]

b - szerokość łopaty [m]

g - przyspieszenie ziemskie = 9,81 m/s²,

ρ - gęstość wody = 1000 kg/m³

Zatem dla łopaty roboczej o wymiarach 1 x1 m parcie hydrostatyczne wynosi:

$$F_h = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1^2 \text{ m}^2}{2} \cdot 1 \text{ m} = 4905 \text{ N} \quad (15)$$

Głębokość zanurzenia punktu przyłożenia wypadkowej parcia [3]:

$$r = \frac{1}{3} h \quad [\text{m}] \quad (16)$$

$$r = 0,67 \text{ m} \quad (17)$$

Moment obrotowy :

$$M_{obr} = P_h \cdot r \quad [\text{Nm}] \quad (18)$$

$$M_{obr} = 3270 \text{ Nm} \quad (19)$$

Uwzględniając założenia wstępne ($H = 1\text{m}$, $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) oraz kształt i wymiary komory roboczej, która ma postać graniastosłupa o wysokości 1m z podstawą trapezową o wysokości 1m i podstawach: 0,04m oraz 0,1m, przy pojemności komory roboczej:

$$V_{kom} = \frac{0,04\text{m} + 0,1\text{m}}{2} \cdot 1\text{m} \cdot 1\text{m} = 0,07 \text{ m}^3, \quad (20)$$

i po uwzględnieniu ubytków wynikających z nie szczelności układu (przyjmując ilość wody niezbędnej do wypełnienia komory roboczej $0,1\text{m}^3$) cykl pracy wynosi:

$$n = \frac{Q}{V_{kom}} \cdot \frac{60}{4} \quad \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (21)$$

$$n = 15 \frac{\text{obr}}{\text{min}} \quad (22)$$

Zatem maksymalna możliwa do uzyskania moc wynosi:

$$P_{max} = \frac{M_{obr} \cdot n}{9549,3} \quad [\text{kW}] \quad (23)$$

$$P_{max} = \frac{3270 \text{ Nm} \cdot 15 \frac{\text{obr}}{\text{min}}}{9549,3} = 5,13 \text{ kW} \quad (24)$$

4. BADANIA URZĄDZENIA

Obecnie budowany jest model urządzenia do przetwarzania energii słupa wody, który badany będzie zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i na naturalnym cieku. Celem badań jest wyznaczenie charakterystyk hydrodynamicznych urządzenia – mocy oraz momentu obrotowego w funkcji prędkości przepływu wody oraz w funkcji wysokości słupa wody.

Wielkościami mierzonymi bezpośrednio będą :

- prędkość obrotowa wału oraz moment obrotowy (wyznaczona będzie moc netto urządzenia, bez uwzględnienia sprawności przeniesienia napędu, na podstawie iloczynu prędkości obrotowej i momentu obrotowego).
- siła nacisku na płytę roboczą przy zmiennej wysokości punktu zwrotnego (w celu określenia wysokości wychylenia wahadła dla uzyskania maksymalnej mocy)

- moc przy różnych długościach ruchu roboczego (w celu optymalizacji w płycie dolnej)
- czas pełnego cyklu, przy zmiennej wysokości słupa cieczy.

Ze względu na niewielkie prędkości obrotowe do współpracy z turbiną wykorzystana będzie prądnica synchroniczna wzbudzana magnesami trwałymi. Brak uzwojenia w wirniku i wirujących elementów elektronicznych powoduje, że prądnica taka charakteryzuje się wyższą sprawnością i niezawodnością w porównaniu z klasycznymi prądnicami. W celu uniknięcia stosowania podwyższających przekładni mechanicznych, multiplikatorów powodujących straty, hałas, zmniejszających niezawodność konstrukcji, planuje się również opracowanie nowej współpracującej z badaną turbiną prądnicy synchronicznej wzbudzonej magnesami trwałymi.

5. PODSUMOWANIE

Zaproponowane urządzenie posiada prostą i lekką budowę. Można go skutecznie wykorzystywać do pozyskiwania energii w strumieniach, w których nieopłacalne jest montowanie typowych turbin. Urządzenie może pracować przy poborze niewielkiej ilości wody. Jedyny warunek to praca na spadzie o wysokości co najmniej 0,5 m. Aby urządzenie mogło generować prąd, natężenie przepływu winno wynosić minimum 0,05 m³/sek. Może więc być wykorzystane w terenach górzystych, na małych strumieniach a nawet w miastach na estakadach itp.

Porównując wyniki pozyskiwania energii, w sposób tradycyjny i przy wykorzystaniu zaproponowanego urządzenia, dla tego samego ciekłu wodnego nowe rozwiązanie pozyskuje około 5 razy więcej energii obliczeniowej.

"Badania współfinansowane były z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w ramach Projektu 1. Działanie 1.1 PO IG Poddziałanie 1.1.2, umowa NR POIG 01.01.02-10-106/09-00."

Studentka studiów III stopnia otrzymuje stypendium w roku akademickim 2011/2012 z Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Priorytet VIII: Regionalne kadry gospodarki, Działanie 8.2. Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.1. Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw, realizowany przez Świętokrzyskie Centrum Innowacji i Transferu Technologii Sp. z o.o. i Politechnikę Świętokrzyską w Kielcach na podstawie umowy nr UDA-POKL.08.02.01-26-020/11-00 ze Świętokrzyskim Biurem Rozwoju Regionalnego.

6. LITERATURA

- [1] Hoffman M.: *Prognozy rozwoju energetyki wodnej w Europie i Polsce*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Mała Energetyka-97” Zakopane Kościelisko,
- [2] Paska J., Staniszewski A.: *Podstawy elektroenergetyki. Metody wytwarzania energii elektrycznej*, Ofic. Wyd. Pol. Warsz., Warszawa 1994.
- [3] Lubczyńska U., *„Hydraulika stosowana”*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1996
- [4] Szewczyk S., Piotrowski J., Starzomska M., Zgłoszenie patentowe zarejestrowane pod numerem 2012-02-15 P.398121, *Urządzenie do przetwarzania energii słupa wody*

- [5] Karolewski B., Ligocki P., „Wyznaczanie parametrów małej elektrowni wodnej”, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 56, Wrocław 2004
- [6] M. Starzomska, J. Piotrowski “*Testing a prototype for an innovative water turbine*” TRANSCOM 2011 Section 6 str.187-189

THE INNOVATIVE USAGE OF A STATIC HEAD.

SUMMARY

This article presents a device which allows to extract energy from the streams where it is impossible or uneconomical to use conventional water turbines. Traditional way of obtaining energy from a water courses (using a water turbine) was compared with a method which involves our device. The paper also shows the concept of the device.

Justyna STEFANIAK, mgr inż.
Agnieszka ŻELAZNA, mgr inż.

Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin
e-mail: j.stefaniak@wis.pol.lublin.pl

ANALIZA ŚRODOWISKOWA WYKORZYSTANIA CHŁODZIARKI ABSORPCYJNEJ ZASILANEJ GAZEM DO WYTWARZANIA WODY ŁODOWEJ

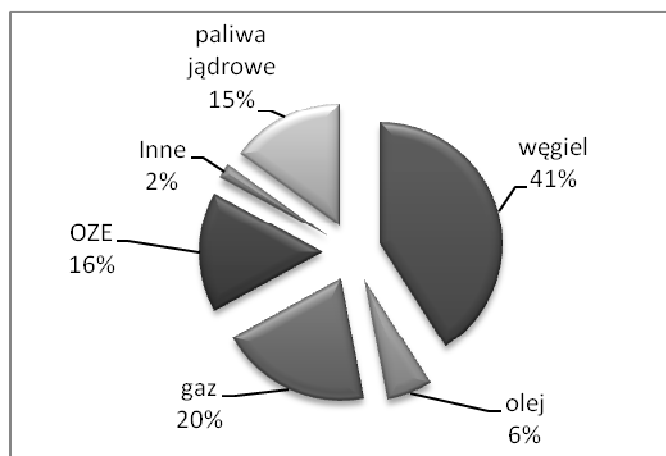
STRESZCZENIE

W artykule przeprowadzono analizę działania chłodziarki absorpcyjnej charakteryzującej się małym zapotrzebowaniem na moc elektryczną. Chłodziarka posiada wbudowane palenisko gazu ziemnego, a cykl chłodniczy realizowany jest dzięki wykorzystaniu energii cieplnej powstałej w procesie spalania gazu. Efekty środowiskowe działania chłodziarki absorpcyjnej zostały porównane z efektami uzyskanymi dla chłodziarki sprężarkowej zasilanej wyłącznie energią elektryczną. Do przeprowadzenia analizy wykorzystano metodologię środowiskowej oceny cyklu życia dla fazy użytkowej systemów. Analiza wykazała, że lepszym rozwiązaniem jest stosowanie chłodziarki absorpcyjnej zasilanej gazem ziemnym.

1. WPROWADZENIE

Produkcja chłodu na potrzeby klimatyzacyjne nieodzownie wiąże się z wykorzystaniem energii. Ponad 95% urządzeń chłodniczych stanowią urządzenia sprężarkowe, które do realizacji obiegu chłodniczego potrzebują energii mechanicznej [13]. Wartości współczynnika wydajności chłodniczej (wyrażającego stosunek uzyskanej mocy chłodniczej do mocy napędowej) tych urządzeń zazwyczaj wahają się w granicach $COP = 2 \div 4$. Jednak pomimo tak dużej sprawności wskazuje się, że rosnące wykorzystanie urządzeń sprężarkowych przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną [1, 3].

Rocznie około 36% światowej energii wykorzystywanej jest do produkcji 1,4 TW energii elektrycznej [2]. Światowy sektor elektroenergetyczny opiera się w dużej mierze o paliwa kopalne. Procentowy udział tychże paliw zapewnia ponad 65 % całkowitej produkcji elektryczności. Natomiast udział odnawialnych źródeł energii jest stosunkowo niewielki [5]. Na rysunku 1 została przedstawiona geneza światowa produkcja energii elektrycznej.



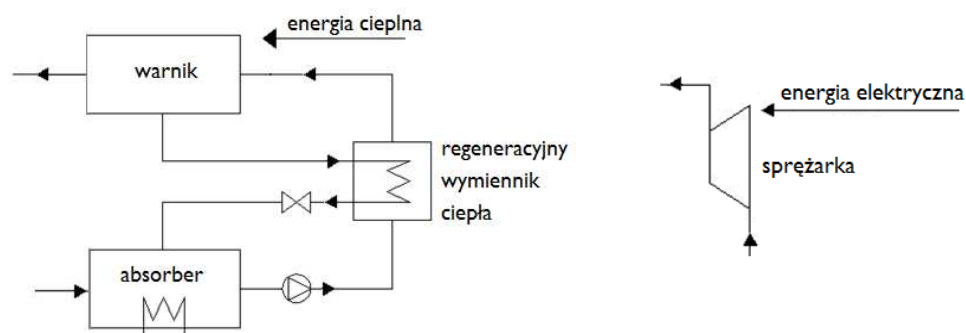
Rys.1. Światowa produkcja energii elektrycznej z poszczególnych paliw[5]
Fig.1. World's electricity generation by fuel [5]

Duże zapotrzebowanie na energię spowodowało, że zasoby nieodnawialnych źródeł energii są eksploatowane w tempie, które przyczyni się do ograniczenia ich dostępności w przyszłych stuleciach [2]. Dodatkowo wykorzystanie paliw kopalnych w sektorze energetycznym przyczynia się do rosnącego antropogenicznego zanieczyszczenia atmosfery spowodowanego przez gazy cieplarniane. Te zjawiska kłócą się z zasadą zrównoważonego rozwoju, według której konieczna jest troska o zapewnienie podstawowych potrzeb zarówno obecnych jak i przyszłych pokoleń. Niezbędne staje się zatem poszukiwanie nowych technologii, które będą charakteryzować się nie tylko dużą wydajnością ale również zmniejszonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Technologie te powinny również w minimalnym stopniu oddziaływać na środowisko naturalne [7, 8, 9].

2. CHŁODZIARKA ABSORPCYJNA

Chłodziarki absorpcyjne to urządzenia stosowane do wywarzania wody lodowej na potrzeby klimatyzacji i chłodnictwa. Cykl chłodniczy realizowany w chłodziarkach absorpcyjnych jest podobny do tego realizowanego w chłodziarkach sprężarkowych. Różnica polega na zasileniu obydwu urządzeń. Chłodziarka sprężarkowa wykorzystuje energię mechaniczną i zasilana jest energią elektryczną. Chłodziarka absorpcyjna wykorzystuje energię cieplną i zasilana jest ciepłem w różnych postaciach, natomiast zapotrzebowanie na energię elektryczną jest niewielkie.

W chłodziarkach absorpcyjnych sprężarka mechaniczna zastąpiona jest sprężarką termalną, która składa się z absorbera, wownika, pompy oraz zaworu dławiącego.



Rys2. Schemat sprężarki termalnej(po lewej) i sprężarki mechanicznej (po prawej)
Fig.2. Scheme of thermal compressor (left) and mechanical compressor (right)

Pozostałe elementy są identyczne – tj. skraplacz, element dławiący, parownik [4, 6, 10]. Do realizacji cyklu chłodniczego w urządzeniach absorpcyjnych wykorzystuje się dwie substancje: chłodziwo oraz absorbent (substancję o silnych właściwościach higroskopijnych, która pochłania całą objętością parujące chłodziwo). W chłodnictwie i klimatyzacji najszersze zastosowanie znalazły pary woda-bromek litu oraz amoniak-woda [14].

Chłodziarki mogą być zasilane pośrednio ciepłem dostarczonym przez parę, gazy spalinowe, gorącą wodę lub mogą być zasilane bezpośrednio – opalane gazem. W tabelce 1 przedstawione zostały urządzenia chłodnicze o różnym zasilaniu [11].

Tab.1. Podział chłodziarek absorpcyjnych w zależności od zasilania

Tab. 1. Division of absorption chillers depending on supply

Rodzaj chłodziarki absorpcyjnej		Temp. zasilania [°C]
Zasilanie bezpośrednie	chłodziarka opalana bezpośrednio (np. gazem, LPG, olejem)	1000-1800
Zasilanie pośrednie	dwustopniowa chłodziarka zasilana spalinami	400-600
	jednostopniowa chłodziarka zasilana spalinami	230-350
	dwustopniowa chłodziarka zasilana parą	144-180
	jednostopniowa chłodziarka zasilana parą	103-122
	dwustopniowa chłodziarka zasilana gorącą wodą	140-200
	jednostopniowa chłodziarka zasilana gorącą wodą	75-120

3. ANALIZA ŚRODOWISKOWA

Analiza przeprowadzona została za pomocą metodologii środowiskowej oceny cyklu życia (ang. LCA, Life Cycle Assessment). Do opracowania wykorzystano oprogramowanie SimaPro 7.2 oraz bazy danych inwentaryzacyjnych Ecoinvent 2.2. Analiza została przeprowadzona dla systemu wentylacji waporowej zaprojektowanej dla kawiarni, zlokalizowanej w II strefie klimatycznej (dla okresu letniego). Łączna kubatura pomieszczeń kawiarni wynosi 480m^3 . W celu zapewnienia odpowiednich parametrów komfortu cieplnego przewidziano doprowadzenie powietrza zewnętrznego w ilości $2,66\text{ kg/s}$, temperaturę powietrza nawiewanego 20°C oraz krotność wymiany powietrza wynoszącą 17 1/h . Zapotrzebowanie na moc chłodniczą występuje od maja do września i wynosi $24\,980\text{ kWh}$ ciągu roku. Woda lodowa na cele wentylacyjne produkowana jest przez agregat absorpcyjny o mocy 35 kW zasilany gazem ziemnym. Rzeczywiste zużycie gazu wynosi $5,3\text{ m}^3/\text{h}$ natomiast zapotrzebowanie na moc elektryczną $1,98\text{ kW}$.

Dla tak przyjętego rozwiązania i zapotrzebowania na moc chłodniczą roczne zapotrzebowanie na gaz wynosi ok. 123 m^3 gazu natomiast zapotrzebowanie na moc elektryczną ok. $3\,300\text{ kW}$.

Wyniki poddano analizie metodą EcoIndicator'99, która pozwala określić wpływy środowiskowe w określonych kategoriach za pomocą jednostki pomocniczej, tzw. Ekopunktu (Pt). Ekopunkt jest jednostką normalizacyjną, przyporządkowującą wagę poszczególnym kategoriom, co umożliwia porównanie uzyskanych wyników. Kategorie szkód uproszczone zostały do trzech podstawowych: Zdrowie ludzkie, Jakość ekosystemu, Surowce mineralne. Ponadto w metodzie tej wyróżniamy 11 kategorii oddziaływań: Surowce mineralne, Paliwa kopalne, Eksploatacja ziemi, Zakwaszenie/Eutrofizacja, Ekotoksyczność, Dziura ozonowa, Radiacja, Zmiany klimatu, Związki nieorganiczne, Związki organiczne, Związki rakotwórcze. Poszczególne substancje wprowadzane do środowiska oraz zużywane jego zasoby odniesione są więc do pewnych wzorców, przykładowo substancją wzorcową dla kategorii zakwaszenie jest ditlenek siarki, a pozostałe przeliczane są na jego ekwiwalent i oceniane pod kątem powodowanych szkód, np. w tkankach roślinnych.

Wyniki zostały zestawione z rezultatami pracy chłodziarki sprężarkowej zasialnej energią elektryczną, pracującej w takich samych warunkach.

Z przedstawionych w tabeli nr 2. danych wynika, że większy wpływ na środowisko wywiera chłodziarka sprężarkowa. Wiąże się to przede wszystkim z wykorzystaniem paliw kopalnych do produkcji chłodu. Taka sytuacja wynika z faktu, że stosowanie paliw kopalnych w sektorze elektroenergetycznym jest znacznie większe niż wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii. Duże wartości przyjmują również wskaźniki zmian klimatu oraz emisji respirabilnych związków nieorganicznych, które także są większe dla chłodziarki sprężarkowej [12, 15, 16].

Tab.2. Wyniki analizy systemów produkcji chłodu metodą EcoIndicator'99 [Pt]

Tab.2.. The analysis results of cooling systems with EcoIndicator'99 method [Pt]

Kategoria wpływu	Chłodziarka sprężarkowa	Chłodziarka absorpcyjna
Wskaźnik całkowity	256,13	131,04
Substancje rakotwórcze	1,11	0,52
Respirabilne związki organiczne	0,02	0,01
Respirabilne związki nieorganiczne	20,14	9,60
Promieniowanie	0,07	0,03
Zmiany klimatu	29,06	14,26
Ekotoksyczność	0,99	0,51
Zakwaszenie/Eutrofizacja	3,69	1,77
Zużycie powierzchni ziemi	5,96	2,76
Surowce mineralne	0,54	0,31
Paliwa kopalne	194,56	101,26

4. PODSUMOWANIE

W przeprowadzonej ocenie znacznie lepiej wypada chłodziarka absorpcyjna zasilana gazem ziemnym. Bezpośrednie wykorzystanie energii z gazu ziemnego oraz zminimalizowane zużycie energii elektrycznej zapewniają jej przewagę nad chłodziarką zasilaną wyłącznie energią elektryczną, pomimo dość znaczącej różnicy we współczynnikach COP charakteryzujących obydwie urządzenia.

Różnica wyników wyrażonych w Ekopunktach wiąże się z wykorzystaniem do analizy danych o produkcji energii elektrycznej z węgla kamiennego; w przypadku scenariusza wykorzystania energii elektrycznej opartej na źródłach odnawialnych wynik oceny uległby zmianie na korzyść urządzeń sprężarkowych. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że chłodziarki absorpcyjne mogą być zasilane ciepłem odpadowym lub pochodzącym z OZE, dzięki czemu wpływ ich wykorzystania na środowisko naturalne może znacznie zmaleć.

Prowadzenie oceny cyklu życia dla różnych układów technologicznych wykorzystujących tego rodzaju urządzenia powinno przyczynić się do sprawnego zarządzania ich wyborem i minimalizacji negatywnych oddziaływań środowiskowych.

5. LITERATURA

- [1] American Society of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers: www.ashrae.org
- [2] Fay J.A., Golomb D.S.; Energy and the Environment. Scientific and technological Principles, Oxford University Press, 2012
- [3] Grignon-Massé L., Rivière P., Adnot J., Strategies for reducing the environmental impacts of room airconditioners in Europe, Energy Policy, 2010
- [4] Gutkowski K.M., Butrymowicz D.J.; Chłodziarstwo i klimatyzacja, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne WTN, 2008

- [5] International Energy Agency (IEA): www.iea.org
- [6] Jones W.P.: Klimatyzacja. Arkady, Warszawa 2001
- [7] Pawłowski A.: Rozwój zrównoważony a inżynieria środowiska. W: Dudzińska M., Pawłowski L. (red.): Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin 2009
- [8] Pawłowski A.; Sustainable energy as a sine qua non condition for the achievement of sustainable development, Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development, Nr 2, Tom 4, 2009
- [9] Pawłowski A.; Sustainable development vs Environmental Engineering: Energy issues, w: Nathwani J., Ng A.(red.) Paths to Sustainable Energy. InTech, str. 13-28, Rijeka 2010. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/sustainable-development-vs-environmental-engineering-energy-issues>
- [10] Pełech A.; Wentylacja i klimatyzacja - podstawy, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2008
- [11] Pongsid S., Satha A., Supachart C.; A review of absorption refrigeration technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2001
- [12] Robur: <http://www.roburcorp.com/>
- [13] Rusowicz A.; Tendencje rozwojowe urządzeń chłodniczych absorpcyjnych. XXXIX Konferencja Naukowo-Techniczna „Dni Chłodnictwa”, 2007
- [14] Sun J., Fu L., Zhang S. ; A review of working fluids of absorption cycles, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012
- [15] Żelazna A.: Ocena kosztów środowiskowych termomodernizacji na przykładzie budynku jednorodzinnego. W: Rocznik Ochrona Środowiska. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, 2012
- [16] Żelazna A., Pawłowski A.; The environmental analysis of insulation materials in the context of sustainable buildings. Selected papers of 8th International Conference Environmental Engineering. Energy for Buildings, 2011

ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF GAS FIRED ABSORPTION CHILLER USED FOR CHILLED WATER PRODUCTION

SUMMARY

In this paper an analysis of absorption chiller performance, characterized by a low demand for electric power, is presented. The absorption chiller is equipped with built-in natural gas combustor. The refrigerant cycle is realized by utilizing thermal energy generated during gas combustion. Environmental effects of absorption chillers performance were compared with the effects obtained for compression refrigerator powered by electricity. For the conducted operation analysis a methodology of environmental life cycle assessment was used. The analysis proved, that better solution is using gas fired absorption chiller.

Jadwiga STĘCHŁY, mgr historii sztuki

Urząd Miasta Jarosławia
ul. Rynek 1, 37-500 Jarosław
e-mail:jagagrzegorz@wp.pl

STOLARKA DRZWIOWA W JAROSŁAWIU Z LAT 1850-1939. Cz. I

STRESZCZENIE

Tematem artykułu jest jarosławska stolarka drzwiowa z lat 1850-1939 w budynkach świeckich. Stanowi ona bogaty zespół obiektów rzemiosła artystycznego, który pod względem rozwiązań konstrukcyjnych, stylistycznych i zdobniczych potwierdza uniwersalizm form architektonicznych i plastycznych stosowanych na obszarze monarchii austro-węgierskiej. Pomimo stosowania ogólnych wzorców, jarosławskie drzwi wyróżnia pewien indywidualizm wynikający z upodobań projektantów, zleceniodawców jak i z możliwości lokalnych warsztatów rzemieślniczych.

1. WPROWADZENIE

Integralną częścią obiektu architektonicznego są drzwi – żadna świątynia, kamienica, budynek użyteczności publicznej, dom, chata, czy zabudowa gospodarcza nie funkcjonują bez nich. Stanowią one zawsze przejście (wejście, wyjście) na drugą stronę, są granicą pomiędzy „dwoma światami” i już od czasów starożytnych posiadały niezwykle bogatą symbolikę. Drzwi były zwykle indywidualnie projektowane i dostosowywane do obiektu, zarówno pod względem materiału, formy, stylu, motywów ozdobnych i kolorystyki, jak też panujących trendów. Poza podstawową funkcją, zabezpieczeniem wnętrza, odgrywały ważną rolę w kompozycji elewacji i ozdobie budynku.¹

2. DRZWI NEOSTYLOWE i EKLEKTYCZNE

Zasoby XIX-wiecznej stolarki drzwiowej w Jarosławiu, a zwłaszcza z przełomu XIX i XX wieku, z uwagi na niezwykle różnorodność ich rozwiązań formalno-plastycz-

¹ Niniejszy artykuł jest wynikiem prowadzonych badań nad zabytkową stolarką drzwiową w Jarosławiu z okresu od 2 poł. XVII w. do 1939 r. zarówno w budynkach świeckich, jak i sakralnych. Pełna dokumentacja fotograficzna pozostaje w zbiorach autorki.

nych, konstrukcyjnych i zdobniczych, przedstawiają się bardzo okazale. Wiele spośród zachowanych drzwi ma związek z intensywnym rozwojem przestrzennym i architektonicznym miasta w omawianym okresie. W 1854 roku Jarosław otrzymał status miasta wolnego, a w 1867 roku własny samorząd. Doprowadzenie kolei, a przede wszystkim uznanie Jarosławia za zaplecze wojskowe twierdzy Przemyśl, wiążące się licznymi inwestycjami wojskowymi (fortecznymi) jak i koszarowo-magazynowymi, zdecydowało o randze miasta.² Jarosław stał się czwartym co do wielkości ośrodkiem garnizonowym w Galicji. Znaczne powiększenie załogi wojskowej pociągnęło za sobą budowę budynków użyteczności publicznej, domów dla rodzin wojskowych oraz całego zaplecza w postaci hoteli, restauracji i sklepów dla przybyłych tak licznie konsumentów. Jarosław w szybkim tempie przekształcił się z małego miasteczka w prężny ośrodek miejski południowo-wschodniej Galicji.

Konstrukcja drzwi

Jarosławskie drzwi neostylowe i eklektyczne są wykonane głównie z drewna dębowego lub sosnowego i osadzone za pomocą ościeżnicy lub krosnowych odrzwi. Otwory drzwiowe najczęściej prostokątne i półkoliste, rzadko zamknięte są łukiem odcinkowym³, a wyjątkowo dwuramiennym o wklęsłych przyłuczach (Kraszewskiego 37). Jeżeli pełnią funkcję wrót w sieni przejazdowej przeważnie zamknięte są łukiem półkolistym. Są to drzwi dwuskrzydłowe, zdecydowanie rzadziej jednoskrzydłowe, albo pełne z nadświetlem, albo z prześwietem i nadświetlem, umożliwiającymi doprowadzenie większej ilości światła do wnętrza. Spotkać można również drzwi-wrota dwuskrzydłowe z furtkami, pełne lub z prześwietem, albo z jedną furtką prawą⁴, albo z dwoma⁵.

Najbardziej reprezentatywny zespół stanowią drzwi konstrukcji ramowo-płycinowej. Są to najczęściej skrzydła dwudzielne, rzadziej trójdzielne⁶. Często też środkową płycinę, zwykle węższą, zastępuje fragment gzymsu, naczółek, lub inny dekoracyjny motyw snycerski.⁷ Górną partię wielokrotnie zajmuje prześwit. Jedyne drzwi wielopłycinowe występują w budynku ratusza (Rynek 1). Płyciny drzwiowe nie rzadko ujęte są prętownikami, zdobione motywami boni, rautów, kaneli, guzów lub dekoracją ornamentalną. Bywają płyciny ujęte pilastrami lub półkolumnkami, dźwigającymi trójkątne lub półokrągłe naczółki. Niejednokrotnie wpisane są one w większe profilowane obramienia, obramienia z uszakami, podwieszonymi fartuszkami, zwieńczone różnorodnymi pod względem formy naczółkami. W omawianych drzwiach występuje cały repertuar form ornamentalnych zaczerpnięty z architektury renesansu i manieryzmu jak wspomniane już bonie i rauty, a także

² M. Baczkowski, *Austro-Węgierskie fortyfikacje w Jarosławiu (w:) Studia Historyczne*, z. 4, Kraków 2001, s.627.

³ Kraszewskiego 1 – drzwi od podwórza, Kraszewskiego 13, Lisińskiego 13, Raclawicka 28, Sikorskiego 5, Słowackiego 10.

⁴ Grunwaldzka 13, Jana Pawła II 37, Kraszewskiego 25, 27; 3 Maja 6, Słowackiego 3, 11.

⁵ Kilińskiego 7, Kraszewskiego 4, 6, 12, 13, 29, Słowackiego 10, 31.

⁶ Grodzka 2, Grunwaldzka 26, Jana Pawła II 12, Kilińskiego 11, Kraszewskiego 1 – od podwórza, 13, Lisińskiego 13, Opolska 1, Słowackiego 3, Węgierska 1, Zamkowa 24.

⁷ Grodzka 5, Kraszewskiego 8,22,25, 43, Sobieskiego 8a, Spytka 9, Sikorskiego 5.

gzymy kostkowe, naczółki na kształt tympanonów, ornamenty z liśćmi akantu i palmety, które przenikają się z barokowymi już esownicami, wolutami, girlandami owocowymi, motywami muszlowymi, snycerskimi detalami liściastymi, kwiatowymi, zoomorficznymi. W całym zespole stolarskim wyróżnia się stosunkowo wąska grupa drzwi o bogatej plastyce, głęboko profilowanych prętawinach, gzymach i naczółkach oraz płycinach z motywami rautów i mocno wyeksponowanych charakterystycznych guzów.⁸

Listwy przemykowe przybijane na styku skrzydeł dla uzyskania szczelności są albo proste, albo profilowane na krawędziach. Spotkać można listwy w formie pilasterka z wyodrębnioną partią cokołową⁹ i głowicą¹⁰, lub zwieńczeniem w kształcie snycerskiego ozdobnego elementu¹¹. Ich trzony bywają kanelowane¹² lub zdobione ciągłymi ornamentami¹³.



Fot. 1 Jarosław, drzwi eklektyczne z k. XIX w. przy ulicach: Kraszewskiego 12, Kasztelańska 1 i Kraszewskiego 13, fot. J. Stęchły
Photo 1. Jarosław, eclectic doors at the end of the nineteenth century at the streets: Kraszewskiego 12, Kasztelańska 1 and Kraszewskiego 13, photo by J. Stęchły

Nadświetla oddzielone są od skrzydeł najczęściej prostym ślemieniem zdobionym różnego typu profilami. Występują nadświetla prostokątne i półkoliste. Ich okna umocowane są nieruchomo w obokniu lub jako skrzydła otwierane (rzadziej), rozdzielone szpro-

⁸ Grodzka 5, Kraszewskiego 11, 29, Rynek 1, Sikorskiego 5, Węgierska 1, Zamkowa 24.

⁹ Grunwaldzka 14, Kościuszki 17, Kraszewskiego 25, Lisińskiego 11

¹⁰ Grunwaldzka 2, Tarnowskiego 12, Lubelska 19, Kilińskiego 11, Rybacka 4

¹¹ Dominikańska 11, Kraszewskiego 43, Spytka 9, Sikorskiego 5

¹² Kościuszki 17, Grunwaldzka 14, Raławicka 28

¹³ Kilińskiego 11, Kraszewskiego 4, 13, 22, Rynek 1

sami w różnych układach. W nadświetlach najczęściej występują **przeszklenia** szybą białą przezroczystą (często niestety wtórną), a niekiedy ornamentalną (białą, ugrową lub zieloną)¹⁴. Zdarzają się przeszklenia wielobarwne, w formie zestawionych ze sobą prostokątnych lub wielokątnych małych szybek barwionych w masie, w tonacji kobaltu, czerwieni, żółci kadmowej i zieleni, a nawet fioletu.¹⁵ Występują w nadświetlach szyby matowe – trawione, z pięknymi motywami ornamentalnymi, roślinnymi, zoomorficznymi, figuralnymi i geometrycznymi, jednakże tylko w drzwiach wewnętrznych – sieniach i holach jarosławskich kamienic.

Prześwity skrzydeł drzwiowych oszkłone są najczęściej szybami białymi przezroczystymi, osadzonymi za pomocą kitu szklarskiego we wrębach wyciętych w ramiakach i szczelinach. Znajdujemy też zabezpieczenia prześwitów szybą na kit, w ramie przylgowej, otwieranej, nasuniętej na ramę skrzydła od strony rewersu jak np. przy ul. Lubelskiej 2 i Pl. Mickiewicza 8. Przeszklenia w ramach przylgowych pełniły i pełnią istotną funkcję w wentylacji obiektu. Prześwity i nadświetla w jarosławskich drzwiach przysłonięte są często kutymi kratami.



Fot. 2 Kraty w prześwitach jarosławskich drzwi z XIX/XX w. przy ulicach: Lubelska 19, Kraszewskiego 13 i Grunwaldzka 3, fot. J. Stęchły

Photo 2 The bars in the clearances Jaroslavia doors of the nineteenth and twentieth century at the streets: Lubelska 19, Kraszewskiego 13 and Grunwaldzka 3, photo by J. Stęchły

Poza podstawową funkcją zabezpieczającą przeszkłone otwory, stanowią one niejednokrotnie niezwykle dekoracyjny detal plastyczny. Fantazyjne wzory roślinne lub geometryczne, ornamenty o motywach stylistycznie powiązanych ze zdobniczymi detalami architektonicznymi elewacji, wzbogacają walory zabytkowe drzwi. Do najciekawszych należą kraty z inicjałami właścicieli kamienic. Taką artystyczną realizację prezentują drzwi w kamienicy przy ul. Kraszewskiego 12 z inicjałami „WJ” należącymi do jej właściciela – Władysława Jahla – doktora praw, adwokata i wiceburmistrza Jarosławia.¹⁶ Podobne pod

¹⁴ Kraszewskiego 37, Słowackiego 32, Spyka 6, 9.

¹⁵ Kraszewskiego 12,13,37, Lubelska 3.

¹⁶ Z. Kostka Bienkowska, Honorowi obywatele miasta Jarosławia, Jarosław 2000, s. 53

względem formalnym i stylistycznym są drzwi główne w kamienicy przy ul. Kraszewskiego 13 z inicjałami „KU” należącymi do Karola Ungehenera – jarosławskiego cieśli, którego działalność w Jarosławiu przy wielu budynkach użyteczności publicznej potwierdzają protokoły Rady Miasta Jarosławia. Umieszczenie monogramu na kracie przez cieślę, stanowi swoistą nobilitację. Warto zwrócić uwagę na jedyną zachowaną w Jarosławiu drewnianą witrynę w kamienicy Rynek 8 należącej, w czasie kiedy powstała, do aptekarza Józefa Juliusza Rohma¹⁷. Projekt jej wykonał Kazimierz Kotłowski, koncesjonowany budowniczy miejski w 1900 r.¹⁸

3. DRZWI SECESYJNE

Już w pierwszym dziesięcioleciu XX wieku zaczyna pojawiać się w Jarosławiu zabudowa kształtowana w myśl zasad nowego stylu.¹⁹ Odcina się ona powoli i odbiega od powielanych i powtarzanych historyzujących wzorców. Widać to głównie w ciągach zabudowy ulic Poniatowskiego, Słowackiego, Kilińskiego, Głowackiego, Raclawickiej i Kościuszki, czyli w obrębie dawnej Lachmanówki i północnej części Przedmieścia Krakowskiego.



Fot. 3 Jarosław, drzwi secesyjne z ok. 1910 r. przy ulicach: Dominikańska 13, Poniatowskiego 31 i Kilińskiego 8, fot. J. Stęchły

Photo 3 Jarosław, the doors of the Art Nouveau about 1910 at the streets: Dominikańska 13, Poniatowskiego 31 and Kilińskiego 8, photo by J. Stęchły

¹⁷ Z. Zięba, Apteka „Pod czarnym orłem” (w:) Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia, T. XVII, 2008, s.44; Z. Zięba, Jarosławskie cmentarze, Jarosław, 2008, s. 292-293

¹⁸ Plan portalu drewnianego przed apteką „pod czarnym orłem” l. sp. 54m w Jarosławiu zatwierdzony przez Magistrat miasta Jarosławia w dniu 10 maja 1900 pod liczbą 3151, kopia w zb. Arch. Muzeum Kamienica Orsettich w Jarosławiu

¹⁹ B. Gutkowski, M. Gutkowski, Architektura secesyjna Galicji, Warszawa 2001

Powstają tam budynki, których architekci wyraźnie wykorzystują secesyjne już zasady kompozycji fasad i motywy zdobnicze. Przekłada się to także na detal architektoniczny w postaci stolarki drzwiowej.²⁰ Jarosławskie drzwi secesyjne powtarzają pod względem konstrukcyjnym wykorzystywane dotychczas rozwiązania. Są to drzwi konstrukcji ramowo-płycinowej. Ich twórcy korzystają z nowego zasobu form plastycznych w postaci stylizowanej ornamentyki roślinnej, krzywolinijskich i geometrycznych detali, zwielokrotnionych motywów pasowych i listew. Otwory drzwiowe najczęściej są prostokątne, wyjątkowo zamknięte łukiem odcinkowym (Dominikańska 13; 3 Maja 24), spłaszczonym (Przemyska 7), albo podwyższonym ściętym (Poniatowskiego 31). Zwykle występują drzwi dwuskrzydłowe, wyjątkowo jednoskrzydłowe (Kasztelańska 2), albo pełne z nadświetlem²¹, albo z prześwietem i nadświetlem²². Tylko do wiaty miejskiej, zwanej potocznie halą targową, prowadzą podwójne drzwi dwuskrzydłowe z wydłużonym mocno nadświetlem. Prześwity i nadświetla dzielone są najczęściej profilowanymi listwami o różnych kształtach dostosowanych do formy prześwitu: prostych, krzywolinijskich, owalnych lub romboidalnych. Rzadko zabezpieczane są kratami.²³ Przeszkłone są najczęściej szkłem białym, ale zachowały się także przeszklenia ze szkła ornamentalnego barwionego w tonacji zieleni chromowej i kobaltu.²⁴ Płyciny skrzydeł drzwiowych zdobione są płasko-rzeźbionymi i rytymi detalami ornamentalnymi zwykle o motywach roślinnych w postaci stylizowanych kwiatów, wianków, podwieszonych girland²⁵ albo nakładanymi listwami w formach opisanych powyżej.²⁶ Ślemiona i listwy przemysłowe są proste lub zdobione zdobieniami, nieraz z motywem ornamentalnym w partii głowicy.²⁷

4. DRZWI MODERNISTYCZNE

Nowy okres ożywienia gospodarczego i zarazem rozwoju urbanistycznego Jarosławia przypada na 2 ćw. XX wieku. W północnej części miasta wzdłuż ulic Czarnieckiego, Sienkiewicza, Kasprowicza i Narutowicza, powstają ciągi nowej modernistycznej zabudowy mieszkaniowej. Ponadto w latach 30. XX wieku zostają wzniesione pojedyncze plomby uzupełniające zabudowę kamienic czynszowych (m.in. Jana Pawła II 6, 7, Kraszewskiego 7, Lisińskiego 9, 3 Maja 13, Sobieskiego 20). Z tego właśnie okresu zachował się w Jarosławiu spory zespół stolarki drzwiowej.

Modernistyczne drzwi są najczęściej dębowe lub sosnowe. Występują w naturalnym kolorze drewna lub drewna podbarwionego w odcieniach dębu, mahoniu lub

²⁰ Należy zauważyć, że secesyjne realizacje architektoniczne są w Jarosławiu dość skromne, dlatego też nie wiele jest przykładów stolarki drzwiowej czysto secesyjnej. Często przeplatają się w jej zdobieniach motywy historyzujące i te wszystkie drzwi zostały zaliczone do stolarki eklektycznej.

²¹ Grodzka 1, Poniatowskiego 31, Przyrynek 5, Raławicka 26.

²² Dominikańska 13, Kasztelańska 2, Kilińskiego 8, 13, Kraszewskiego 20, 35; 3 Maja 24, Przemyska 7

²³ Kraszewskiego 35, Przemyska 7

²⁴ Poniatowskiego 31, Przyrynek 5

²⁵ Dominikańska 13, Kilińskiego 8, 13, Kraszewskiego 20, 35

²⁶ Grodzka 1, Kasztelańska 2; 3 Maja 24, Przyrynek 5, Poniatowskiego 31, Raławicka 26

²⁷ Kraszewskiego 20, 35, Raławicka 26, Poniatowskiego 31

orzecha. Osadzone są wyłącznie w prostokątnych otworach drzwiowych, za pomocą ościeżnicowych odrzwi. Projektanci drzwi modernistycznych korzystają z typowego dla stylu zestawu form, dostosowując je do skromnego wystroju elewacji. Drzwi wyróżniają się geometrycznymi surowymi podziałami, w różnorodnych proporcjach i układach. Zwykle są dwuskrzydłowe (jednoskrzydłowe w domach jednorodzinnych), konstrukcji ramowo płycinowej, często z nadświetlem²⁸. Płyciny i przeszklenia w drzwiach modernistycznych występują w jednym lub kilku poziomach (do pięciu). Wyraźnie dostrzega się tendencję do maksymalnego doświetlania wnętrza, dlatego występuje więcej przeszkolonych prześwitów niż płycin. Jeżeli nie są to prześwity na całości skrzydła²⁹ drzwiowego, to zwykle w partii przyziemia występuje płycina, a powyżej w kilku poziomach prześwity³⁰.

Przeszklenia ze szła, zwykle białego, zabezpieczone bywają kratami o geometrycznych kształtach nawiązujących do podziałów architektonicznych elewacji.



Fot. 4 Jarosław, drzwi modernistyczne z ok. 1930 r. przy ul. Jana Pawła II 7, Pl. Mickiewicza 2 i ul. Kraszewskiego 7, fot. J. Stęchły

Photo 4 Jarosław, the modernist doors from about 1930 at the streets: Jana Pawła II 7, Mickiewicza 2 and Kraszewskiego 7, photo by J. Stęchły

²⁸ Chopina 3,5, Czarnieckiego 5,7,9, Jana Pawła II 7, Kościuszki 1,3, Kraszewskiego 7, 28; 3 Maja 13, Mickiewicza 2 (główne i boczne) Słowackiego 5, Sienkiewicza 4, Sobieskiego 20

²⁹ Chopina 3,5, Jana Pawła 7, Sienkiewicza 4, 5, Kraszewskiego 26

³⁰ Czarnieckiego 9,13, Kościuszki 1,2,3, Kraszewskiego 7, 26, 28, 3 Maja 13, Mączyńskiego 3, Mickiewicza 2 (główne i boczne), Sienkiewicza 13

Występują również przeszklenia ze szkła kryształowego. Takie drzwi zachowały się w najbardziej reprezentatywnym budynku z okresu modernizmu – gmachu Komunalnej Kasy Oszczędności na Pl. Mickiewicza 2 (ob. Bank PKO SA). Budynek został wzniesiony w 1933 roku według projektu arch. Tadeusza Broniewskiego. Niestety w innych budynkach użyteczności publicznej z tego okresu zewnętrzna stolarka drzwiowa się nie zachowała.

5. PODSUMOWANIE

Podobne do jarosławskich drzwi w budynkach użyteczności publicznej, mieszczańskich kamienicach i domach z lat 1850-1939 spotkamy także w innych miastach Galicji, pobliskim Przemyślu, Krakowie, Lwowie i dalej Budapeszcie, Wiedniu, a nawet Sarajewie. Pod względem konstrukcji, proporcji, stosowanych motywów ornamentalnych niewiele się różnią. Potwierdzają tym samych uniwersalizm form architektonicznych i plastycznych na całym obszarze monarchii austro-węgierskiej. Jednakże jarosławską stolarkę wyróżnia pewien indywidualizm wynikający z upodobań projektantów, lokalnej społeczności i możliwości lokalnych warsztatów rzemieślniczych. Jej formy plastyczne świadczą o inwencji i fantazji zamawiających i rzemieślników. Służą one nie tylko zaspokojeniu potrzeby zabezpieczenia wnętrza, ale i potrzebom wyższym: estetycznym, a nawet społecznym.

6. LITERATURA

- [1] Baczkowski M., Austro-Węgierskie fortyfikacje w Jarosławiu (w:) *Studia Historyczne*, z. 4, Kraków 2001
- [2] Gutkowski B., Gutkowski M., *Architektura secesyjna Galicji*, Warszawa 2001
- [3] Kieferling K., *Krótką opowieść o mieście Jarosławiu w województwie podkarpackim leżącym*, Jarosław 2011
- [4] Kostka Bieńkowska Z., *Honorowi obywatele miasta Jarosławia*, Jarosław 2000
- [5] Krawczyk J., *Charakterystyczne cechy zabytkowej stolarki drzwiowej i jej problematyka konserwatorska (w:) Zabytkowe budowle drewniane i stolarka architektoniczna wobec współczesnych zagrożeń pod. red. E. Okonia, Toruń 2005, s. 251-267*
- [6] Tajchman J., *Drewniane drzwi zabytkowe na terenie Polski (systematyka i problematyka konserwatorska)*, „Ochrona zabytków”, nr 4: 1991, s. 269-277.
- [7] Zięba Z., *Apteka „Pod czarnym orłem” (w:) Rocznik Stowarzyszenia Miłośników Jarosławia, T. XVII, 2008, s. 39-49*
- [8] Z. Zięba, *Jarosławskie cmentarze*, Jarosław, 2008

THE DOOR WOODWORK IN JAROSLAW, 1850-1939. PART I.

SUMMARY

The topic of article is door joinery in secular buildings from Jaroslaw from the years 1850-1939. It provides a wide set of crafted objects, which in this respect of design solutions, stylistic and ornamental, confirms the universality of architectural and artistic forms used across the Austro-Hungarian monarchy. Despite the use of general practice, Jaroslaw doors stand individualism which is the result preferences of designers, contractors and local capacity building workshops.

Jadwiga STĘCHŁY, mgr historii sztuki

Urząd Miasta Jarosławia
ul. Rynek 1, 37-500 Jarosław
e-mail:jagagrzegorz@wp.pl

PROBLEMY OCHRONY KONSERWATORSKIEJ STOLARKI DRZWIOWEJ W JAROSŁAWIU Z LAT 1850-1939. Cz. II.

STRESZCZENIE

Dawna stolarka drzewiana, jak każdy zabytek, podlega ochronie konserwatorskiej. Ochrona ta jest niezbędna nie tylko z uwagi na związaną z upływem czasu destrukcję materiału, ale też ze względu na nasilające się tendencje wymiany starej stolarki na nową. Nowe drzwi, często wykonane z tworzyw sztucznych i niedostosowane do kompozycji elewacji, powodują nieodwracalną utratę substancji zabytkowej, wartości artystycznych, historycznych i naukowych obiektu architektonicznego oraz określonego krajobrazu kulturowego miasta.

1. WPROWADZENIE

Stolarka drzewiana w Jarosławiu z lat 1850-1939 to interesujący zespół obiektów sztuki użytkowej ze względów konstrukcyjnych, stylowych, historycznych i artystycznych. Prezentuje ona różny stopień zachowania, począwszy od bardzo dobrego, jaki przedstawiają drzwi poddane właściwej konserwacji do katastrofalnego, jaki obrazują niemal całkowicie zdestruowane obiekty, które mimo tego funkcjonują w wielu jarosławskich kamienicach. Przyczyn takiego stanu jest wiele. Pierwszy nieunikniony i oczywisty to naturalny proces niszczenia drewna – osłabienia w wyniku działania czynników biologicznych (atmosferycznych) i fizyko-chemicznych. Kolejny to wynik działania czynników mechanicznych, dowodem których są liczne ubytki listew, progów, krat etc., będące nie rzadko pokłosiem dewastacji celowych. Najbardziej widocznym jednak w ostatniej dekadzie jest galopujący proces wymiany starej stolarki na nową. Utrata wielu znakomitych dzieł rzemiosła artystycznego skłania do podjęcia analizy problematyki konserwatorskiej zabytkowej stolarki drzewianej w Jarosławiu oraz sformułowania wniosków konserwatorskich w tym zakresie.

2. PROBLEMY OCHRONY KONSERWATORSKIEJ

Drzwi pochodzące z czasu budowy obiektu stanowią z nim zawsze spójną całość. Bardzo często powiązane są z wystrojem elewacji poprzez zastosowanie opasek, uszaków,

nadproży, czy portali. Ich podstawowe elementy to skrzydła, niekiedy nadświetle, ościeże, odrzwia a także okucia: zawiasy, dzwonki, listowniki, klamki. Te ostatnie wskazane elementy należą do rzadkości, ponieważ były w ostatnich latach i są wymieniane z powodu zakładania domofonów.



Fot. 1. Jarosław, zniszczone drzwi eklektyczne przy ulicach: Św. Ducha 4 i Kraszewskiego 6 oraz modernistyczne przy ul. Węgierskiej 3, fot. J. Stęchły
Photo 1. Jarosław, damaged eclectic doors at the streets: Św. Ducha 4, Kraszewskiego 6 and modernist door at Węgierska 3, photo by J. Stęchły

W związku ze złym stanem zachowania drzwi, ich podstawowa funkcja jaką jest zabezpieczenie wnętrza obiektu budowlanego zostaje częściowo zatracona. Zły stan zachowania nie oznacza jednak wykluczenia z użytkowania. Współczesne metody konserwacji dają możliwość przywrócenia drzwiom ich podstawowej funkcji, a także pierwotnych walorów plastyczno-estetycznych. Taka forma ochrony stolarki drzwiowej stosowana jest w Jarosławiu jednak bardzo rzadko. Konserwacja stolarki miała miejsce w niewielu budynkach, m. in. w kamienicach przy ul. Grunwaldzkiej 2, Lisińskiego 13, Raclawickiej 30, Rynku 8 i budynku ratusza.

Dla większości właścicieli jarosławskich domów łatwiejszą wydaje się rekonstrukcja drzwi niż pełna ich konserwacja.



Fot. 2. Jarosław, eklektyczne drzwi po konserwacji w kamienicy Rynek 8, w budynku ratusza i domu przy ul. Lisińskiego 13, fot. J. Stęchły

Photo 2. Jarosław, eclectic doors in the tenement house after conservation at Rynek 8, in the city hall and the house at Lisińskiego 13 street, photo by J. Stęchły

Niestety przy rekonstrukcjach, mimo dość wiernie odtworzonej formy plastycznej, zatracona zostaje technika i technologia wykonania oraz pierwotna estetyka. Nowe technologie odbiegają od ręcznego rzemiosła artystycznego, a obecna moda na drewno zabezpieczone lakierobejcami preferuje wstawianie drzwi pozbawionych warstwy malarskiej.



Fot. 3. Zrekonstruowane drzwi eklektyczne w kamienicach przy Rynku 26 i Pl. Mickiewicza 14 oraz modernistyczne przy ul. Sienkiewicza 7

Photo 3. Reconstructed eclectic doors in the tenement house at Rynek 26 and Mickiewicza 14 and modernist door at Sienkiewicza 7 street

Praktyka ta jest niezgodna z regułami właściwego postępowania konserwatorskiego.¹ Przykładem omawianych rekonstrukcji są drzwi m. in. w kamienicach przy Pl. Mickiewicza 14, Pl. Św. Michała 1, Rynek 1 (drzwi boczne), Rynek 26, Sienkiewicza 7, Poniatowskiego 49.

Wszystkie rekonstruowane drzwi niewątpliwie zapewniają harmonię i ład w kompozycji architektonicznej obiektu, nie naruszają wartości artystycznej elewacji budynku, ale niestety całkowicie niszczą wartość historyczną, a jednocześnie dokumentalną, zarówno detalu architektonicznego jak i fasady.

W Jarosławiu inną stosowaną metodą są też rekonstrukcje, które mają na celu dostosowanie nowych drzwi do standardów użytkowania i wymogów stawianych obecnie lokalom użytkowemu. Pomimo pozornie zachowanej formy widać wyraźnie zmianę proporcji, podziałów architektonicznych i uproszczenie motywów zdobniczych. Przykładem są drzwi m.in. przy ul. Grodzkiej 21, Wąskiej 1, Opolskiej 6, Grunwaldzkiej 11, 24.



Fot. 4. Jarosław, zrekonstruowane drzwi w kamienicach przy ulicach: Grodzka 21, Grunwaldzka 11 i 24, fot. J. Stęchły

Photo 4. Jarosław, reconstructed doors in the tenement house at the streets: Grodzka 21, Grunwaldzka 11 and 24, photo by J. Stęchły

Utrata historycznej substancji poprzez rekonstrukcję nie stanowi jednak tak drastycznej deprecjacji wartości obiektu architektonicznego, jak stosowana w Jarosławiu wymiana drzwi na nowe wykonane z PCW lub aluminium.

¹ Warstwa malarska na drzwiach była stosowana niemal zawsze, aż do czasu modernizmu. Drzwi zabezpieczano powłoką malarską. Drewno gruntowano cienko kredą zarobioną z wodą klejową, a następnie malowano farbą, do której dla uzyskania blasku dodawano sproszkowanego talku lub szkła wodnego. Kolor dobierany był w tonacji zależnej od mody i panujących trendów. Por. J. Heurich, Przewodnik dla stolarzy, Warszawa 1862, s.138

W ciągach znakomitej zabudowy mieszczańskiej przy ulicach Kraszewskiego, Słowackiego, Grunwaldzkiej, Jana Pawła II pojawiły się drzwi zupełnie odbiegające od poprawnych zasad postępowania konserwatorskiego. Przykładem mogą być drzwi m.in. w kamienicach Kraszewskiego 10, 11 i 13.

Są one pozbawione wszystkich wartości formalno-plastycznych. Jako nowe elementy architektoniczne, zupełnie nie dostosowane do wystroju elewacji kamienic, wprowadzają dysharmonię, powodują zakłócenie w percepcji obiektu budowlanego jako pojedynczego dzieła sztuki budowlanej, ale również percepcji ciągu historycznej zabudowy ukształtowanej na przestrzeni określonej epoki. Wymiana stolarki powoduje bezpowrotną utratę wartości historycznych, artystycznych i naukowych poszczególnych obiektów.



Fot. 5. Jarosław, kamienica oraz drzwi przy ul. Kraszewskiego 11, stan z 2006 r., fot. B. Figiela oraz nowe drzwi, stan z 2011r., fot. J. Stęchły

Photo 5. Jarosław, the tenement house and the door at Kraszewskiego 11 street (as of 2006), photo by B. Figiela and new door (as of 2011), photo by J. Stęchły

Bez wątpienia wpływ na zachowanie zabytkowej stolarki mają właściwe służby budowlane i konserwatorskie. Jednakże najważniejszą rolę odgrywają ich właściciele. Niestety opisane powyżej przykłady świadczą o niedocenianiu roli i znaczenia zabytkowej stolarki drzwiowej przez jarosławską społeczność.

3. WNIOSKI KONSERWATORSKIE

Znaczenie stolarki drzwiowej ze względu na jej funkcję użytkową, historyczną, formalno-plastyczną w kompozycji architektonicznej elewacji oraz krajobrazie miasta jest bezsprzeczna. Analiza zebranego materiału - obecny stan rozpoznania - daje podstawę do wyciągnięcia wniosków dotyczących działań służących ochronie zabytkowej stolarki drzwiowej w Jarosławiu.

1. Weryfikacja zasobów zabytkowej stolarki drzwiowej w celu wytypowania konkretnych drzwi w Jarosławiu do bezwzględnej ochrony.

Z uwagi różnorodny stan zachowania, rangę artystyczną, historyczną i naukową poszczególnych obiektów architektonicznych i obiektów rzemiosła artystycznego,

jakimi są przedmiotowe drzwi, niezbędne jest dokonanie wartościowania, **stanowiącego podstawę wytypowania konkretnych obiektów do bezwzględnej ochrony konserwatorskiej w Jarosławiu**. W tej kwestii znaczenie ma również wartość zabudowy całej ulicy, nie tylko konkretny obiekt.

2. **Utrwalanie w świadomości społeczeństwa wartości zabytkowej, historycznej, architektonicznej i emocjonalnej stolarki drzwiowej.**

Dla znacznej części społeczeństwa w Jarosławiu drzwi wraz z wszystkimi elementami składowymi nie są traktowane jako obiekty sztuki rzemiosła artystycznego. Pełnią one głównie funkcję użytkową. Ich zły stan zachowania jest przyczynkiem do wymiany na nowe drzwi, często nie dostosowane do wyglądu obiektu. Podstawowym postulatem jest zatem **edukacja społeczeństwa w zakresie roli i znaczenia stolarki drzwiowej jako elementu powiązanego integralnie z obiektem architektonicznym, którego ochrona stanowi również ogniwo w dziele ratowania dziedzictwa kulturowego miasta**.

3. **Popularyzowanie wiedzy i metod postępowania konserwatorskiego w zakresie ochrony zabytkowej stolarki.**

Edukacja w zakresie możliwości technicznych i technologicznych naprawy dawnej stolarki drzwiowej, uwzględniających wszystkie elementy składowe, jak zawiasy, klamki, kraty zabezpieczające prześwity i nadświetla, rodzaje szklenia oraz kolorystykę drzwi.

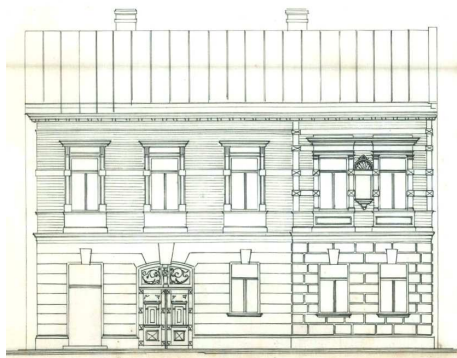
4. **Uzgardnianie postępowania dotyczącego stolarki zabytkowej ze służbami konserwatorskimi.**

Jak widać na przykładach w Jarosławiu forma ochrony konserwatorskiej poprzez wpis do rejestru zabytków lub gminnej ewidencji zabytków nie jest w pełni skuteczna. W wielu obiektach stolarka jest wymieniana bez pozwoleń lub niezgodnie z wydawanymi decyzjami. Często występuje samowola. W dokumentacjach projektowych remontów obiektów zabytkowych też traktowana jest marginalnie. Drzwi to jeden z detali, do którego projektanci nie przywiązują większej uwagi. Przy ograniczonych kadrach służb konserwatorskich wyegzekwowanie wydawanych decyzji dla obiektów rejestrowych jest wręcz niemożliwe, a przy obiektach pozostających w ewidencji (poza wpisanymi do rejestru zabytków) brak jest tak naprawdę możliwości wyciągnięcia jakichkolwiek skutków prawnych uniemożliwiających wymianę drzwi. Ta, potocznie mówiąc, mała szkodliwość społeczna, w skutkach dla ochrony dziedzictwa jest nieodwracalna. Kolejnym zatem postulatem jest skupienie większej uwagi służb konserwatorskich na problem wymiany stolarki drzwiowej w Jarosławiu i egzekwowanie uzgodnień.

5. **Dokumentacja techniczna, opisowa i fotograficzna zabytkowych drzwi.**

Dokumentacja stolarki drzwiowej obejmująca opis techniki i technologii wykonania, ich wyglądu oraz inwentaryzację pomiarowo-rysunkową w przypadku drzwi o znaczących walorach zabytkowych jest sposobem na utrwalenie historycznych możliwości technicznych i plastycznych jarosławskich warsztatów stolarskich. Jest także sposobem na utrwalenie wartości artystycznych, charakterystycznych dla miejscowego rzemiosła, jego przemian stylistycznych, panujących trendów oraz gustów lokalnej społeczności. Dokumentacja jest również materiałem porównawczym w dalszych badaniach nad za-

bytkową stolarką, może i podstawą do rekonstrukcji w przyszłości tych drzwi, których dzisiaj nie da się ocalić.



*Fot. 6. Jarosław, projekt domu przy ul. Kraszewskiego 13 i jego elewacja, stan z 2011 r.,
fot. J. Stęchły*

*Photo 6. Jaroslaw, the project of house at Kraszewskiego 13 street and its elevation
(as of 2011), photo by J. Stęchły*

4. PODSUMOWANIE

Jak wykazuje praktyka, nie tylko na terenie Jarosławia, trudno znaleźć skuteczną metodę ochrony zabytkowej stolarki. Zgromadzony materiał fotograficzny i opisowy pozostający w zbiorach autorki jest jedną z form ochrony. Temat wymaga jednak dalszego pogłębienia i poszerzenia, ponieważ troska o zachowanie autentyzmu zabytku jest wartością nadrzędną w dziele ratowania dziedzictwa kulturowego Jarosławia.

5. LITERATURA

- [1] Kieferling K., Karta Ewidencyjna Domu Mieszkalnego przy ul. Kraszewskiego 13, Jarosław 2011, zb. Arch. Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków z siedzibą w Przemyślu
- [2] Krawczyk J., Charakterystyczne cechy zabytkowej stolarki drzwiowej i jej problematyka konserwatorska (w:) Zabytkowe budowle drewniane i stolarka architektoniczna wobec współczesnych zagrożeń pod. red. E. Okonia, Toruń 2005, s. 251-267
- [3] Lewicki J., Zabytkowe drzwi i bramy. Wprowadzenie do problematyki konserwatorskiej, cz. I, „Okno”, 2000, nr 2 (21), s. 33-48; cz. 2 „Okno”, 2000, nr 3 (22), s. 163-176; tenże, Zabytkowe okna i drzwi, „Okno”, Wyd. Spec. XII 2000, s. 92-101; Zabytkowe okna i drzwi. Wprowadzenie do problematyki konserwatorskiej, „Renowacje”, R. IV, 2001, nr 1, s. 84-95; Zabytkowe drzwi i bramy. Wprowadzenie do problematyki konserwatorskiej, „Okno”, 2002, nr 4 (31), s. 118-135; Kolorystyka zabytkowej stolarki. Wprowadzenie do problematyki konserwatorskiej, „Okno”, 2003, nr 1 (32), s. 156-179
- [4] Tajchman J., Drewniane drzwi zabytkowe na terenie Polski (systematyka i problematyka konserwatorska), „Ochrona zabytków”, nr 4: 1991, s. 269-277.

THE DOOR WOODWORK'S PROBLEMS OF CONSERVATION PROTECTION IN JAROSLAW FROM THE YEARS 1850-1939. PART II.

SUMMARY

The old door woodwork, as each relic, is protected by conservation. This protection is not only necessary because of the destruction of the material associated with the passage of time, but also because of the increasing tendency of change the old woodwork with a new one. New doors are often made of plastic and they are not adjusted to the composition of the facade. They cause irreversible loss of substance of the historic, artistic worth, historical and scientific of architectural object and the specific cultural landscape of the city.

Mateusz SZUBEL, mgr inż.

AGH Akademia Górniczo Hutnicza
Wydział Energetyki i Paliw
ul. Kawiory 40, 30 - 059 Kraków
e-mail: mszubel@agh.edu.pl

OGNIWA PALIWOWE ZASILANE WODOREM PRODUKOWANYM Z BIOMASY

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono charakterystykę pracy wysokotemperaturowych ogniw stałotlenkowych SOFC, zasilanych paliwem wodorowym. Analiza osiągniętych w badanych typach ogniw parametrów pracy poprzedzona została omówieniem stosowanych technik pozyskiwania energii z biomasy oraz charakterystyką rozwiązań technologicznych w dziedzinie ogniw paliwowych. W pracy krótko omówiono różne możliwości wykorzystania paliwa biomasowego w sektorze energetycznym.

1. WPROWADZENIE

Spośród dostępnych źródeł energii odnawialnej, dla Polski szczególne znaczenie ma biomasa, wykorzystywana obecnie w celach energetycznych w różny sposób[1]:

- w formie stałej, do bezpośredniego wytwarzania energii w procesie spalania (m.in. drewno i słoma),
- w postaci przetworzonej, jako paliwo płynne lub gazowe.

Bardzo interesujące wydaje się obecnie wykorzystanie biomasy do produkcji wodoru (zgazowanie, piroliza). Jest to metoda przyjazna dla środowiska przyrodniczego, ponieważ zakłada się, iż cały wyprodukowany w tym przypadku tlenek węgla (IV), został zaabsorbowany przez rośliny w czasie procesu wegetacji. Niektóre substancje, lub ich mieszaniny, produkowane z biomasy, mogą być stosowane, jako paliwa do zasilania ogniw paliwowych. Istotny jest tu wodór i metanol, ale także węgiel, który można uzyskać w procesie pirolizy.

Obecnie w wielu ośrodkach badawczo-rozwojowych prowadzi się badania, mające na celu dostosowanie technologii pozyskiwania wodoru z biomasy do zasilania układów

CHP, w tym zintegrowanych z ogniwami paliwowymi [2, 3]. Dzięki nowatorskiemu podejściu do alotermicznego zgazowania biomasy, możliwe jest uzyskanie paliwa wodorowego, nadającego się do zasilenia ogniwa SOFC, lub np. mikroturbiny [3, 4, 5].

O popularności idei stosowania wodoru, jako nośnika energii, szczególnie w krajach wysoko rozwiniętych, może świadczyć ugruntowanie się pojęć takich jak „gospodarka wodorowa”, czy „społeczeństwo ery wodorowej”. Gospodarka wodorowa obejmuje swoim zakresem trzy etapy: wytwarzanie paliwa wodorowego, magazynowanie i transport oraz zastosowanie. Podstawowymi generatorami energii elektrycznej w systemach gospodarki wodorowej są ogniwa paliwowe [6].

2. PODSTAWOWE INFORMACJE DOTYCZĄCE BIOMASY

Pojęcie biomasy może być rozumiane dość szeroko. Właściwie biomasą jest każda substancja powstała z wykorzystaniem energii słonecznej oraz atmosferycznego tlenu węgla (IV) i wody czerpanej z gleby.

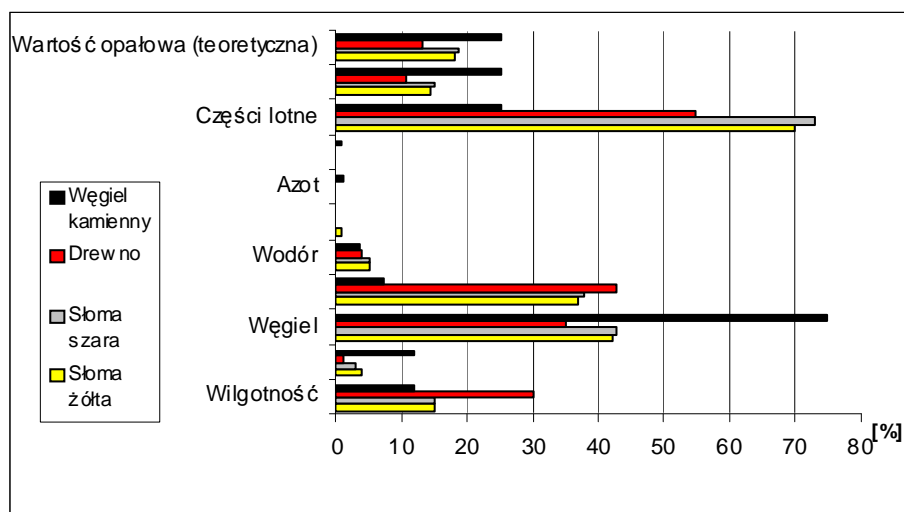
2.1 Pojęcie, podział i sposoby wykorzystania biomasy

Zgodnie z nomenklaturą wprowadzoną przez Unię Europejską, biomasa obejmuje wszelką substancję organiczną, pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, jak też wszelkie pochodne substancje, uzyskane z transformacji takich surowców. Do substratów zalicza się m.in. drewno z plantacji drzew szybkorosnących, drewno odpadowe w leśnictwie i drzewnictwie, gnojowicę, obornik w hodowli zwierząt, słomę w produkcji zbożowej, odpady organiczne będące w osadach ściekowych, w komunalnych oczyszczalniach ścieków [7]. Przepisy krajowe ze względu na Rozporządzenie Ministra Gospodarki „w sprawie obowiązku zakupu energii elektrycznej ze źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych oraz wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, a także źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych oraz zakresu tego obowiązku”, do źródeł odnawialnych włączają m.in. biogaz, biomasę stałą i biopaliwo ciekłe.

2.2 Struktura składu biomasy

Analiza składu pierwiastkowego biomasy prowadzi do prostego wniosku, iż omawiane źródło energii niewiele różni się pod tym względem od węgla. Istotne natomiast jest zwrócenie uwagi na strukturę udziału poszczególnych pierwiastków i związków chemicznych, co zostało przedstawione w tabeli 1.

Wartość opałowa biomasy jest zdecydowanie niższa niż w przypadku konwencjonalnych surowców i paliw energetycznych – waha się w granicach 12 – 20 MJ/kg (dla węgla kamiennego jest to wartość rzędu 35MJ/kg). Ponadto, należy pamiętać, iż dość uciążliwą cechą biomasy jest jej wysoka a zarazem bardzo zmienna zawartość wilgoci [8].



Rys. 1. Porównanie składu słomy i węgla (na podstawie [8]).
 Fig. 1. Comparison of straw and coal composition (based on [8])

Niska gęstość nasypowa nastęrcza natomiast problemów związanych z transportem i magazynowaniem paliwa. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych, poprzez bezpośrednie spalanie jej w kotłach energetycznych, wskazuje na potrzebę zwrócenia uwagi na problem korozji, wywołanej zwiększoną zawartością związków alkalicznych, wapnia, fosforu i chloru w paliwie [8]. Zaletą w przypadku biomasy jest nawet kilka razy niższa względem węgla emisja zanieczyszczeń (SO_2 , NO_x) i zdecydowanie niższa zawartość popiołu [8].

3. PIROLIZA I GAZYFIKACJA, JAKO PROCESY PROWADZĄCE DO EFEKTYWNEGO WYKORZYSTANIA ENERGII Z BIOMASY

Praktyki związane z wykorzystaniem biomasy do celów generacji energii elektrycznej, szczególnie na dużą skalę, poprzez spalanie i współspalanie, pokazały wiele słabych stron tego postępowania.

Bardzo istotne okazały się m.in. kwestie związane z wydatkiem energetycznym na transport biomasy oraz przystosowaniem aparatury do potrzeb niekonwencjonalnego paliwa. Jednocześnie, świadomość drzemiącego w nim potencjału energetycznego, skłania do rozpatrzenia innych, wysokosprawnych metod konwersji energii z biomasy. Bez wątpienia w najbliższym czasie będziemy świadkami dalszego, dynamicznego rozwoju mikrogeneracji. Poza procesem spalania znane są bowiem inne technologie konwersji energii z biomasy. Do takich należy piroliza i gazyfikacja.

Piroliza biomasy to termiczny rozkład zawartych w niej składników organicznych, bez dostępu powietrza. Zakres temperatur, w jakich przebiega proces, obejmuje obszar pomiędzy 450 - 750°C. Produktami pirolizy są gazy ciepłe, kondensaty i pozostałości stałe, zawierające węgiel [1].

Dzięki pirolizie możliwe jest zmniejszenie objętości odpadów organicznych, przy jednoczesnym zmagazynowaniu ich potencjału energetycznego w produktach, w postaci gazowej i stałej (koks). W wyniku procesu uzyskuje się parę wodną, dwutlenek węgla, wodór, metan, wyższe węglowodory alifatyczne, smołę wytlewną.

Podczas zgazowania biomasa ulega niekompletnemu spalaniu, przy udziale tlenu lub powietrza oraz pary wodnej. Temperatura procesu w porównaniu z pirolizą jest wyższa, wynosi około 1000°C. Kolejną różnicą jest skład otrzymywanego gazu – zawiera on CO i H₂ oraz nieznaczne ilości metanu [1].

Wybór odpowiedniego gazogeneratora jest determinowany rodzajem paliwa. Istotna jest m.in. wilgotność, zawartość popiołu i rozmiary cząstek. Podział gazogeneratorów opiera się na sposobie doprowadzenia tlenu do komory zgazowania. W związku z powyższym rozróżnia się typy z dolnym, górnym i bocznym nawiewem. Wpływ zastosowanego typu generatora oraz rodzaju surowca na strukturę składnikową produktu prezentuje tabela 2.

Tabela 1. Skład gazu wyprodukowanego z różnych surowców w różnych typach generatorów (na podstawie [7])

Table 1. Composition of gas produced from different resources in different types of reactors (based on [7])

Surowiec	Typ generatora	Skład [%]					Kaloryczność [MJ/m ³]
		CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	
Drewno (wilgotność~12-20%)	Górny nawiew	28-31	1-2	1-2	1-2	55-60	4,6-5,65
Brykiety ze słomy zbóż		17-22	16-20	2-3	10-15	45-50	5,00-5,86
Węgiel drzewny		14-17	17-19	-	11-14	-	4,5
Węgiel drzewny	Dolny nawiew	30	19,7	-	3,6	46	5,98

4. OGNIWO PALIWOWE – ŹRÓDŁO ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRZYSZŁOŚCI

Biorąc pod uwagę znaczny wzrost opłacalności konwersji energii z biomasy, przy założeniu lokalnej jej utylizacji i rozwoju strategii „smart grid”, rozwiązaniem wartym rozpatrzenia jest stosowanie w układach mikrogeneracji ogniw paliwowych zasilanych wodorem.

Wykorzystanie zachodzących w ogniwach reakcji utleniania - redukcji do generacji elektryczności, pozwala na konwersję energii chemicznej paliwa, bezpośrednio w energię elektryczną.

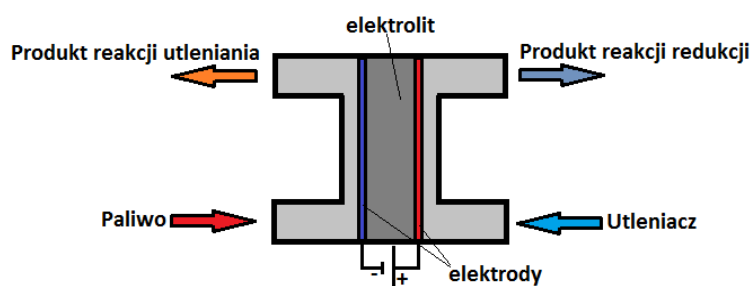
4.1. Pojęcie ogniwa paliwowego

Ogniwo paliwowe jest urządzeniem przekształcającym bezpośrednio energię chemiczną w energię elektryczną i ciepło. Ogniwa paliwowe (OP) są wysokosprawnymi gene-

ratorami energii elektrycznej, zaliczanymi do ogniów galwanicznych. Do OP substancje elektroaktywne (paliwo, utleniacz), biorące udział w reakcjach elektrodowych, dostarczane są z zewnątrz [9].

W przeciwieństwie do akumulatorów i ogniów, które są w istocie magazynami energii elektrycznej, ogniwa paliwowe są urządzeniami elektrochemicznymi, produkującymi energię elektryczną w sposób ciągły, przez elektrochemiczne spalanie paliw gazowych, jak wodór, tlenek węgla, czy metan [9].

Niezależnie od tego, z jakiego typu ogniwem mamy do czynienia, wyróżnić można kilka zasadniczych elementów, wspólnych dla wszystkich rodzajów ogniów, które prezentowane są na rysunku 2.



Rys. 2. Elementy budowy i zasada działania ogniwa paliwowego
Fig. 2. Elements of construction and operation of the fuel cell

Technologie związane z ogniwami paliwowymi ulegają obecnie dynamicznemu rozwojowi, dlatego, że zastosowania ich mogą być bardzo różnorodne. Obok energii elektrycznej wytwarzanej w OP, możliwości daje także produkt uboczny – ciepło. Ta forma energii może być spożytkowana do ogrzewania wody użytkowej i tej stanowiącej medium w sieci centralnego ogrzewania.

4.2. Rodzaje ogniów paliwowych

Obecnie możemy wyróżnić: niskotemperaturowe ogniwa paliwowe, pracujące w zakresie temperatur 25 – 120°C, średnotemperaturowe, które pracują w zakresie temperatur 120 – 500°C oraz wysokotemperaturowe od około 500 do 1000°C [10]. Podstawowym kryterium aplikacyjnym ogniwa paliwowego, jako generatora energii elektrycznej, są gęstości prądu oraz mocy czerpanej z tych ogniów, a także koszty wytwarzania oraz ich eksploatacji.

Obecnie możemy wyróżnić pięć głównych typów ogniów paliwowych [10]:

- ogniwa polimerowe, PEMFC (*ang. Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*),
- ogniwa alkaliczne, AFC (*ang. Alkaline Fuel Cell*),
- ogniwa z kwasem fosforowym, PAFC (*ang. Phosphoric Amid Fuel Cell*),
- ogniwa węglanowe, MCFC (*ang. Molten Karbon Fuel Cell*),
- ogniwa tlenkowo – ceramiczne, SOFC (*ang. Solid Oxide Fuel Cell*);

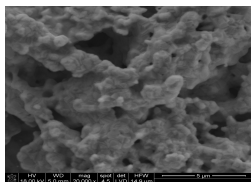
Ogniwa stałotlenkowe SOFC to wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe, zbudowane głównie z ceramicznych komponentów. W latach 60 – tych w tym ogniwie zastoso-

wano po raz pierwszy elektrolit oparty na ZrO_2 . Zbudowane wówczas ogniwo w kształcie krążka (grubości 2 mm) z platynowymi elektrodami osiągnęło niewielką gęstość mocy rzędu 40 mW/cm^2 w temperaturze 1000°C [10,11].

Obecnie ceramiczne ogniwa paliwowe budowane są z gazoszczelnego elektrolitu (8 % mol Y_2O_3 w ZrO_2) oraz dwóch elektrod, będących przewodnikami jonowo – elektrochemicznymi. Jedna z elektrod (katoda) pracuje w atmosferze powietrza, druga (anoda) w redukującej atmosferze paliwa.

W celu uzyskania wyższych mocy, ogniwa paliwowe łączy się w baterie, za pomocą interkonektora, pozwalającego na kontakt elektryczny sąsiadujących ze sobą ogniw i zapobiegającego mieszaniu się gazów, znajdujących się w przestrzeniach elektrodowych. Obecnie ogniwa paliwowe pracują w temperaturach $800 - 1000^\circ\text{C}$ i wymagają użycia jako komponentów materiałów charakteryzujących się dużą stabilnością termiczną, chemiczną, oraz wysoką odpornością korozyjną w środowiskach utleniająco – redukujących [12].

Ceramiczne ogniwa paliwowe mogą mieć konstrukcję rurową lub planarną. Najczęściej stosowanym elektrolitem stałym w tych ogniwach są gazoszczelne elementy wykonane z roztworu stałego tlenku cyrkonu (IV) o strukturze regularnej zawierającej 8% mol Y_2O_3 (8YSZ). Z kolei materiały elektrodowe (anoda i katoda) mają strukturę porowatą, co ułatwia transport reagentów jak i powstałych produktów, jako materiały anodowe stosuje się cermetale (np. Ni 8YSZ), w których cząstki niklu są równomiernie rozproszony w osnowie roztworu stałego 8YSZ. Ich udział nie przekracza 50% objętościowych. Jako materiały katodowe, stosowane są tlenki o strukturze perowskitu ABO_3 , a wśród nich manganit lantanu ($LaMnO_3$) domieszkowany strontem $La_{1-x}Sr_xMnO_3$, (od $0,1 < x < 0,8$). [13].



Rys. 3. Obraz powierzchni (SEM) materiału anodowego NiO – YSZ
Fig. 3. View of surface of NiO - YSZ anodes material (SEM)

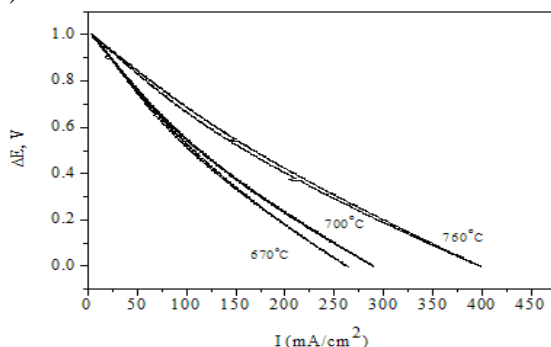


Rys. 4. Kompletnie stałotlenkowe ogniwo paliwowe na nośniku elektrolitowym
Fig. 4. Complete solid oxide fuel cell with electrolyte support

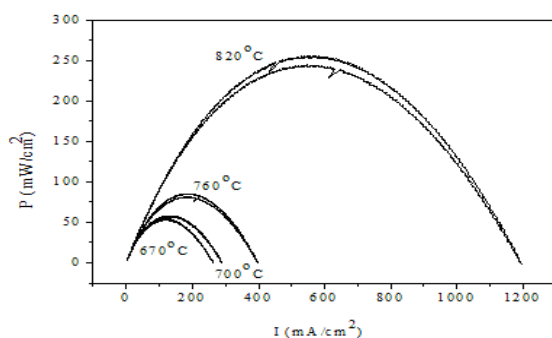
5. CHARAKTERYSTYKA PRACY OGNIWA SOFC WODOROWO – TLENOWEGO, ZBUDOWANEGO NA NOŚNIKU ELEKTROLITOWYM

W niniejszym rozdziale zaprezentowane zostały wyniki badań charakterystyki pracy stałotlenkowego ogniwa paliwowego, zbudowanego na nośniku elektrolitowym. Materiałem katodowym jest $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ (LSM), elektrolitem 8YSZ, o grubości ok. $300\mu\text{m}$, zaś materiał anodowy stanowi cermet Ni-YSZ. Podstawowymi parametrami pracy, decydującymi o możliwości wykorzystania ogniw SOFC, jako generatorów energii elektrycznej, są wartości gęstości prądu oraz mocy wytwarzane z tych ogniw. Na rysunku 4 przedstawiono pracę małego barytowego ogniwa paliwowego SOFC, zasilanego paliwem wodorowym, pracującego w temperaturach od 670 do 760°C .

Zarejestrowane wyniki, przedstawione są w postaci dwóch wykresów, prezentujących zależność zmian nadnapięcia (ΔE) od gęstości prądu (I) oraz gęstości mocy (P) od gęstości prądu (I).



Rys. 5. Zależność nadnapięcia ΔE od natężenia prądu I
Fig. 5. Relation between overvoltage ΔE and current density I



Rys. 6. Zależność gęstości mocy P od gęstości natężenia prądu I
Fig. 6. Relation between Power density P and current density I

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że gęstości prądu oraz mocy wzrastają wraz z temperaturą pracy ogniwa. Otrzymane wartości gęstości prądu lub mocy powyżej 250 mW/cm², pozwalają na wykorzystanie tych ogniw do budowy stosów SOFC. Istotne jest zapewnienie odpowiedniej temperatury pracy tych urządzeń.

6. PODSUMOWANIE

Potrzeba kompleksowego rozpatrywania problemów związanych z wykorzystaniem biomasy do celów energetycznych determinuje rozwój wysokosprawnych technologii, coraz częściej w obszarze mikrogeneracji CHP.

Bez wątpienia właściwym kierunkiem rozwoju jest wdrażanie technologii pozyskiwania energii z biomasy, na drodze bezpośredniego spalania w skali lokalnej, a nawet na szczeblu pojedynczego gospodarstwa. Równolegle należy jednak rozwijać w tym właśnie ujęciu rozwiązania poligeneracyjne, w oparciu o spalanie paliw ciekłych i gazowych z biomasy. Te ostatnie z powodzeniem mogą służyć, jako wysokojakościowe źródło ciepła

i energii elektrycznej, np. dzięki zastosowaniu stałotlenkowych ogniw paliwowych (SOFC), zasilanych wodorem. Komercyjne zastosowanie stosów SOFC determinuje potrzebę zapewnienia dostatecznie wysokiej temperatury pracy i odpowiedniej struktury elektrolitu. Wysoka wartość gęstości mocy, zaobserwowana w prowadzonych badaniach, może skłaniać ku konkluzji, iż technologie poligeneracyjne, wykorzystujące stosy ogniw opartych na SOFC, są rozwiązaniem perspektywicznym i godnym uwagi. Przy odpowiednio zwiększonych wymiarach ogniw, niewątpliwie możliwe jest uzyskiwanie mocy rzędu kilowatów.

7. LITERATURA

- [1] M. Ściążko, H. Zieliński, *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*, Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zabrze – Kraków 2003
- [2] L. Frydaa, K.D. Panopoulos, J. Karlc, E. Kakaras, *Exergetic analysis of solid oxide fuel cell and biomass gasification integration with heat pipes*, 2006
- [3] S. Karellasa, J. Karla, E. Kakaras, *An innovative biomass gasification process and its coupling with microturbine and fuel cell systems*, 2006
- [4] C. Ozgur Colpan, Feridun Hamdullahpur, Ibrahim Dincer, Yeong Yoo, *Effect of gasification agent on the performance of solid oxide fuel cell and biomass gasification systems*, 2010
- [5] Ph. Hofmanna, K.D. Panopoulos, L.E. Frydaa, A. Schweigerc, J.P. Ouweltjesd, J. Karlc, *Integrating biomass gasification with solid oxide fuel cells: Effect of real product gas tars, fluctuations and particulates on Ni-GDC anode*, 2008
- [6] P. Tomczyk, *Szanse i bariery rozwoju energetyki wodorowej*, w: „Dylematy polskiej polityki energetycznej”, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2009
- [7] I. Soliński, *Biomasa, energia odnawialna*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2001
- [8] A. Czop, *Zgazowanie biomasy*, I Ogólnopolskie Forum Ekoenergetyczne w Polkowicach, 2011
- [9] J. Maćkowski, *Wybrane problemy paliw samochodowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006
- [10] I. Kossacki, *160 lat ogniw paliwowych – niemożliwe staje się możliwe*, Wiadomości Chemiczne, Wrocław 2005
- [11] Tietz F., Buchkremer H., Stoper D., *State Ionics*, 2002
- [12] Minh Q., *Journal of the American Ceramic Society* 1993
- [13] MinQ N.Q., Takahashi T., *Science and Technology of Ceramic Fuel Cells*, 1995

FUEL CELLS POWERED BY HYDROGEN FROM BIOMASS

SUMMARY

The paper presents the operating characteristics of high temperature solid oxide fuel cells, powered by hydrogen. Results of analyses on studied fuel cell parameters was preceded by a discussion of techniques of obtaining energy from biomass and characteristics of different fuel cells types.

Dariusz SZYMCZUK, dr
***Olaf GEMBARZEWSKI, mgr inż.**
***Andrzej GOŁYGA, mgr inż.**
****Agata ZDROJEWSKA, inż.**

Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: d.szymczuk@pollub.pl
*Photovoltaic Development Ltd
Bulvar Gen. Totleben 2A, et. 4, ap. 10, Sofia, (Bulgaria)
**Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

FOTOWOLTAIKA W BUŁGARII

STRESZCZENIE

Bułgaria jest krajem, posiadającym bardzo dobre warunki usłonecznienia. Dzięki temu stała się atrakcyjnym krajem dla inwestycji w energetykę słoneczną. Przystępne dla inwestorów prawo energetyczne sprawia, że w ostatnim czasie kraj ten wysunął się na czoło państw europejskich w dynamice rozwoju fotowoltaiki. W niniejszej pracy scharakteryzowano rozwój tego sektora.

1. WPROWADZENIE

Bułgaria leży w południowo-wschodniej części Półwyspu Bałkańskiego (rys.1). Jej powierzchnia: wynosi 110 910 km², co sprawia, że Bułgaria pod względem wielkości zajmuje 102 miejsce na świecie. Ludność liczy 7 563 000 mieszkańców [1].



Rys.1. Mapa Bułgarii [2].

Fig. 1. Map of Bulgaria [2].

Rocznie Bułgaria produkuje ponad 38 mld kWh energii elektrycznej. Pod względem ilości wyprodukowanej energii elektrycznej na jednego mieszkańca Bułgaria zajmuje czwarte miejsce wśród krajów Europy Wschodniej. Mimo niewielkich pokładów bogactw naturalnych, takich jak ropa, gaz oraz węgiel, elektroenergetyka oparta jest głównie na surowcach konwencjonalnych. Pomimo tego, Bułgaria jest jednym z nielicznych eksporterów energii w regionie. Największymi elektrocieplowniami są:

- "Maritsa Iztok 2" – 1450 MW
- "Varna" – 1260 MW
- "Maritsa Iztok 3" – 870 MW
- "Bobov Dol" – 630 MW
- "Ruse Iztok" – 600 MW
- "Maritsa Iztok 1" – 500 MW

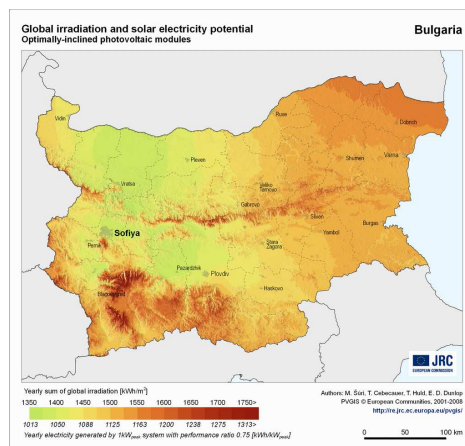
Bułgaria posiada także elektrownię atomową w Kozłoduju, która wytwarza ponad 3760 MWh energii rocznie, co jest równe 40% całkowitego zapotrzebowania Bułgarii na energię. W 2007 roku podjęto decyzję o budowie drugiej elektrowni atomowej w Belene, o mocy 1GW [1]. Bułgaria jest krajem o niskim potencjale produkcji energii wodnej. Obecnie kraj posiada 87 elektrowni wodnych, które wytwarzają energię o łącznej mocy ponad 2000 MW. Największymi elektrowniami wodnym Bułgarii są "Belmeken-Sestrimo" oraz "Dospat-Vacha", które razem produkują ponad 1400 MWh energii.

2. ROZWÓJ ENERGETYKI ODNAWIALNEJ W BUŁGARII

Bułgarskie prawo przez długie lata nie sprzyjało rozwojowi energetyki alternatywnej. Pomimo, iż ceny klasycznych nośników energii zbliżyły się do cen zachodnioeuropejskich, nie starano się wprowadzić udogodnień dla rozwoju sektora odnawialnych źródeł energii (OZE). Wprawdzie w Prawie Energetycznym Bułgarii jeszcze z roku 1999 wprowadzono zapisy o OZE, ale miały one zbyt ogólny charakter. Propagowano głównie rozwój energetyki jądrowej [3]. Wynikało to przede wszystkim z istnienia silnego "lobby atomowego". Wprawdzie udało się w ostatnim czasie –wzorem państw zachodnioeuropejskich – wprowadzić taryfy stałe na energię odnawialną (FiT -Feed in Tariffs) [4], jednakże obecnie

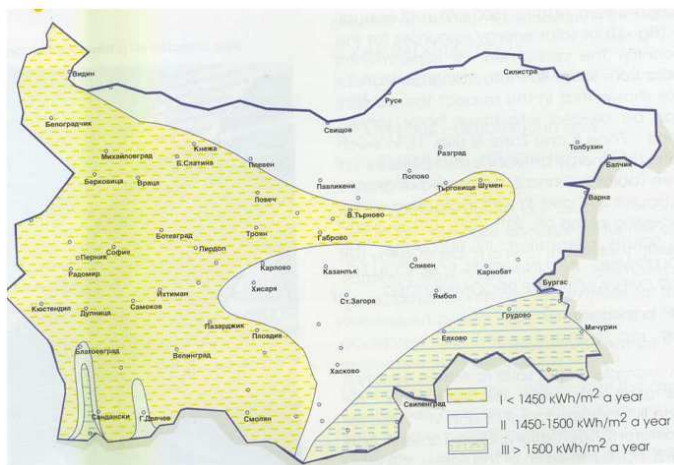
Rząd Bułgarii przygotowuje zmiany ustawodawcze, mające zapobiec zmianie przeznaczenia gruntów rolnych na cele produkcji nieżywnościowej [5]. Celem tego projektu jest głównie zakaz budowy farm wiatrowych na gruntach 1-4 kategorii, w celu zagwarantowania ochrony gruntów ornych, pomimo, iż w Bułgarii powyżej 800 tys. ha ziemi rolnej leży odłogiem. Na tych gruntach mogłyby z powodzeniem powstawać różne systemy OZE. Ze względu na położenie geograficzne i klimat, w Bułgarii istnieją bardzo dogodne warunki do inwestycji fotowoltaicznych. Na rys. 2 przedstawiono mapę usłonecznienia Bułgarii [6].

To właśnie dzięki wysokim cenom energii klasycznej, w Bułgarii w ostatnich latach pojawiły się sprzyjające warunki dla rozwoju sektora fotowoltaiki (PV). Z powodu dobrych warunków napromieniania (rys. 2. i 3) i atrakcyjnej ceny za sprzedaż energii, w Bułgarii nastąpił szybki wzrost inwestycji w farmy fotowoltaiczne. W pierwszym momencie stawki FiT dla dużych instalacji wynosiły 37.2 euro centów za kWh i obowiązywały przez 20 lat [4]. Przede wszystkim inwestycje te opierały i opierają się na kapitale zagranicznym. Jeśli w 2010 roku sumaryczna moc farm PV wynosiła 2 MWp (p – oznacza moc szczytową) [7], to obecnie w Bułgarii zainstalowanych jest już kilkadziesiąt MWp w systemach PV, natomiast w trakcie realizacji są kolejne inwestycje. W b.r. planuje się uruchomić farmy o mocy 50 MWp, a do roku 2015 w Bułgarii ma się zwiększyć ich moc do 500 MWp [7]. Do roku 2020 liczba ta może wzrosnąć do 2,5 -4 GWp. W chwili obecnej w inwestycje PV w Bułgarii angażują się m.in. takie firmy, jak Toshiba and Tokyo Electric Power (realizujące inwestycje w regionie Yambol) [8], Premier Power Renewable Energy Inc. (budująca farmę o mocy 16 MWp koło Dimitrogradu) [9], Phoenix Solar AG (planuje budowę 50 MWp farmy w regionie Kazaniak) [10]. Bułgaria zamierza dość intensywnie korzystać z zachodnich technologii w celu spełnienia celów zadeklarowanych dla UE - osiągnięcia 16 procent mocy z OZE do 2020 r.. Obecnie jest to tylko 7% [10]. Głównym atutem inwestycyjnym Bułgarii jest duże nasłonecznienie, które pozwala rocznie wygenerować z 1 kWp mocy 1300-1350 kWh energii w ciągu roku.



Rys.2. Mapa usłonecznienia Bułgarii [6].
Fig. 2. Map of insolation in Bulgaria [6].

Rozkład nasłonecznienia terytorialnego ukazuje najbardziej atrakcyjne miejsca dla lokalizacji farm fotowoltaicznych. Przedstawia to rys.3.



Rys.3. Mapa nasłonecznienia Bułgarii [5]

Fig. 3. Map of insolation in Bulgaria [5]

Nasłonecznienie Bułgarii jest o ok. 30% wyższe niż na terytorium Niemiec – światowego lidera w wytwarzaniu energii elektrycznej z konwersji fotowoltaicznej. Wypada nadmienić, że łączne moce farm PV w Niemczech na koniec 2011 roku wynosiły ponad 24.7 GWp, z czego tylko w 2011 roku zainstalowano 7 GWp mocy [11]. Dostrzegając walory tego kraju, również polski kapitał znalazł miejsce na realizację swoich inwestycji. Obecnie obowiązujące stawki FiT, choć niższe od tych, które obowiązywały pierwotnie, są nadal atrakcyjne dla inwestorów. Ich charakterystyka przedstawiona jest w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka taryf stałych (FiT) w Bułgarii.

Table 1. Characteristics of FiT in Bulgaria.

FiT	Instalacja dachowe (eurocenty)	Instalacje naziemne (eurocenty)	Czasokres obowiązywania FiT
Bułgaria	<math>< 5\text{kW} = 0.42</math> $> 5\text{kW} = 0.39$ ponad 30kW = 0.3094 30-200kW = 0.3048 200-1000kW = 0.2986	<math>< 5\text{kW} = 0.42</math> $> 5\text{kW} = 0.39$ ponad 30kW = 0.2945 30-200kW = 0.2899 <math>< 200\text{kW} = 0.2485</math>	20 lat

W chwili obecnej budowane są farmy o sumarycznej mocy 12 MWp. Inwestycje te są zlokalizowane w następujących miejscowościach:

- 373 kWp - Kosharevo, rejon Pernik,
- 1300 kWp - Krushare I, rejon Sliven,
- 1000 kWp - Debelt, rejon Burgas,
- 900 kWp - Krushare II, rejon Sliven,
- 2400 kWp - Mladovo, rejon Sliven,
- 2000 kWp - Shegerdzata, rejon Sliven,
- 2500 kWp - Shegerdzata, rejon Sliven,
- 1500 kWp - Suhindol, rejon Svilengrad.



Rys. 4. Zdjęcie farmy Photovoltaic Development Ltd. w miejscowości Kosharevo, rejon Pernik.

Fig. 4. The picture of Photovoltaic Development Ltd. farm in Kosharevo, Pernik district.

3. PODSUMOWANIE

Bułgaria jest atrakcyjnym krajem dla rozwoju sektora fotowoltaiki. Pomimo dobrych warunków klimatycznych sektor OZE przez wiele lat był zaniedbany. Dopiero w ostatnim czasie zaczęto intensyfikować budowę systemów fotowoltaicznych. Spowodowane to jest głównie wprowadzeniem udogodnień inwestorskich, w postaci taryf stałych.

4. LITERATURA

- [1] http://pl.wikipedia.org/wiki/Gospodarka_Bu%C5%82garii
- [2] www.bulgary.home.pl
- [3] Bulgaria, The Energy Law, published State Gazette No. 107 of December 09, 2003 and is effective as of December 12, 2003.
- [4] Shamsiah Ali-Oettinger, Bulgaria set to have a renewable energy act, PV Magazine 16.12.2010.
- [5] Violetta Groseva, Manager of Balkan OPET-Sofia Energy Centre, Bulgaria, 2012.

- [6] pvgis_solar_optimum_BG.
- [7] Becky Stuart, PV Magazine, 2 MW PV plant installed in Bulgaria; country could hit 4 GW capacity by 2020 28.09.2010 .
- [8] Shamsiah Ali-Oettinger, Toshiba to build solar plant in Bulgaria, PV Magazine, 21 January 2011.
- [9] Becky Stuart, , Bulgaria: Premier Power starts work on 16.2 MW PV project, PV Magazine, 07.03.2012.
- [10] Jonathan Gifford, Phoenix Solar's TectoFlat system, PV Magazine, 05.09.2011.
- [11] Market Report, EPIA 2012.

PHOTOVOLTAICS IN BULGARIA

SUMMARY

Bulgaria is a country with very good insolation conditions. This allowed to be an attractive country for investment in solar energy. Energy law accessible for investors makes that recently this country has moved forward to the forefront of European countries in the dynamics of photovoltaic development. This work characterizes the development of this sector.

Grzegorz TANNENBERG, mgr inż.

Centrum Komputerowe
Politechnika Śląska
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice
e-mail: Grzegorz.Tannenbergl@polsl.pl

Krzysztof TANNENBERG, dr inż.

TANEL Elektronika i Informatyka, Sp. J.
ul. Kopernika 121, 44-100 Gliwice
e-mail: info@tanel.com.pl

OCENA MOŻLIWOŚCI NATURALNEGO WYSUSZENIA BALOTÓW SŁOMY PRZEZNACZONEJ DO PRODUKCJI PELETÓW

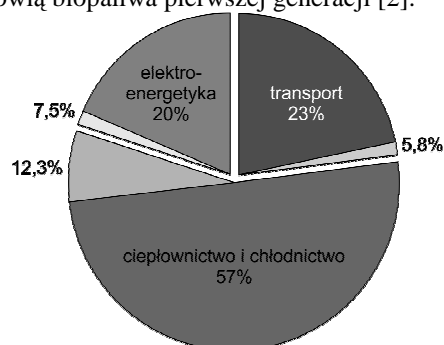
STRESZCZENIE

Większość producentów peletów ze słomy magazynuje je na wolnym powietrzu. Wiosną słoma jest bardzo mokra. Autorzy artykułu wybrali jeden balot słomy (o wymiarach $\varnothing 130$ cm x 130 cm), umieścili go oddzielnie na stanowisku pomiarowym i w okresie kwiecień – lipiec 2011 r. dokonywali sukcesywnych, cotygodniowych pomiarów jego wilgotności (każdorazowo w 54 punktach). Otrzymane wyniki stanowiły podstawę do komputerowego zobrazowania przestrzennego rozkładu wilgotności i przebiegu procesu suszenia. We wnioskach oceniono skuteczność takiej metody suszenia oraz przedstawiono jej wady i ograniczenia.

1. WPROWADZENIE

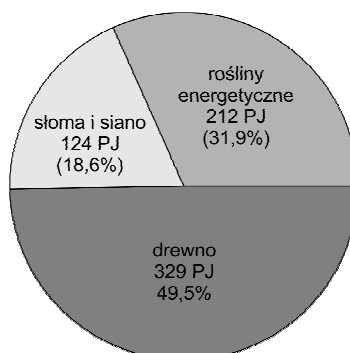
Udział produkcji energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) w Polsce kształtuje się na poziomie od 8.0% (szacunki Polskiej Izby Gospodarczej Energii Odnawialnej) do 9.5% (szacunki Ministerstwa Gospodarki) całkowitej produkcji energii w 2010 roku [1][2]. Udział OZE w poszczególnych sektorach przedstawiono na rys. 1. W sektorze elektroenergetycznym udział OZE to około 7,5%, z czego połowę stanowi współspalanie biomasy stałej z węglem [2]. W sektorze ciepłownictwa udział OZE to około 12,3%, na który prak-

tycznie w całości (95%) składa się spalanie biomasy stałej w źródłach niesieciowych [2]. W transporcie OZE stanowią biopaliwa pierwszej generacji [2].



Rys. 1. Udział energii z OZE w sektorach energetycznych w Polsce w 2010 r.
Fig. 1. Renewable energy in various energy sectors in Poland in 2010

W 2004 roku na potencjał energetyczny biomasy stałej w Polsce w ponad 18% składała się słoma i siano (124 PJ; rys. 2), przy czym potencjał ten był wykorzystany jedynie w 1,3% [3]. W kolejnych latach potencjał energetyczny słomy wykazuje tendencję wzrostową (do poziomu około 140 PJ w 2010 r. [4]).



Rys. 2. Potencjał energetyczny różnych źródeł biomasy stałej w Polsce w 2004 r. [3]
Fig. 2. The energy potential of various sources of solid biomass in Poland in 2004

Jednym z elementów mających istotny wpływ na potencjał energetyczny biomasy jest wartość opałowa, która z kolei zależy od wilgotności materiału [5][6]. W przypadku słomy wilgotność w dużym stopniu zależy od warunków pogodowych w miejscu składowania. Przy produkcji peletów ze słomy wymagana jest wilgotność materiału nie przekraczająca 15% (jest to wartość optymalna pod względem energochłonności produkcji i jakości produktu) [6][7]. Tak niską wilgotność może posiadać słoma tuż po żniwach (sierpień – październik). Wiosną – w przypadku przechowywania słomy na wolnym powietrzu – konieczne jest dosuszanie słomy w suszarniach. Praktykowane jest także odrzucanie zewnętrznej (najbardziej mokrej) 10 – 15 cm warstwy słomy z każdego balotu.

2. CEL POMIARÓW

Celem pomiarów było sprawdzenie, czy i w jakim stopniu w polskich warunkach klimatycznych możliwe jest wysuszenie słomy w sposób naturalny po uprzednim rozłożeniu stogów na pojedyncze baloty. Poprzez sukcesywne pomiary autorzy uzyskali przestrzenny obraz rozkładu wilgotności w funkcji czasu. Badania umożliwiły także ocenę wpływu warunków klimatycznych na proces suszenia.

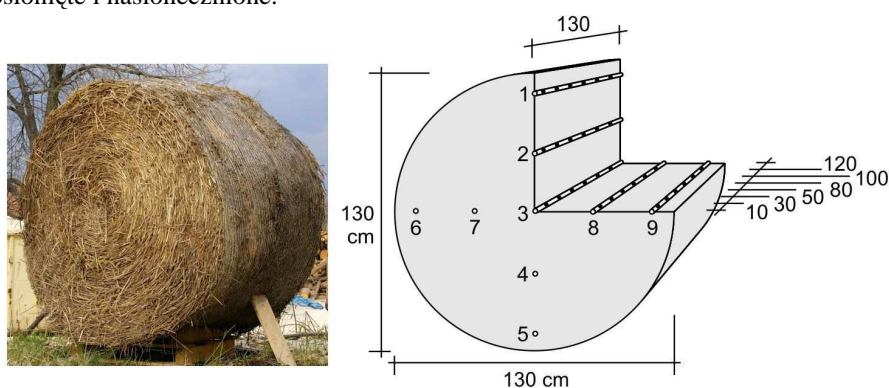
3. SPOSÓB PRZEPROWADZENIA POMIARÓW

Do pomiarów wybrano balot ze słomy pszenżyta o wymiarach $\phi 130$ cm x 130 cm, który w zimie był nieosłonięty i przechowywany na wolnym powietrzu (rys. 3).



Rys. 3. Składowanie słomy zimą
Fig. 3. Straw storage in winter

Balot umieszczono na wydźrębnionym stanowisku pomiarowym odizolowanym od podłoża paletą drewnianą grubości 20 cm (rys. 4). Stanowisko było przewiewne, nieosłonięte i nasłonecznione.



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe (z lewej) i przekrój przez balot słomy z wyróżnionymi punktami pomiarowymi (z prawej)
Fig. 4. Test site (left) and cross-section of a bale of straw with indication of points of measurements (right)

W okresie od 15.04 do 15.07.2011 r. dokonywano cotygodniowych pomiarów wilgotności słomy w 54 punktach pomiarowych. W 9 miejscach na płaszczyźnie czołowej i na 6 różnych głębokościach w każdym miejscu (rys. 4, rys. 5). Pomiarów dokonano uprzednio skalibrowanym wilgotnościomierzem rezystancyjnym typu WSI-5 (wyniki kalibracji przedstawione są w rozdziale 5). Wilgotnościomierz wyposażony był w układ kompensacji wpływu temperatury słomy na wynik pomiaru wilgotności, co dodatkowo poprawiło dokładność pomiaru. Równocześnie w tym samym okresie rejestrowano wilgotność względną powietrza RH_{BAL} i temperaturę t_{BAL} wewnątrz balotu (rys. 5) oraz wilgotność względną RH_{OT} i temperaturę t_{OT} otoczenia. Rejestrator RH_{BAL} i t_{BAL} umieszczono w miejscu „2” (rys. 4) na głębokości 50 cm. Przed zainstalowaniem rejestratora sprawdzono jego dokładność dwuciśnieniowym generatorem wilgotności. Błędy rejestratora nie przekraczały:

- dla wilgotności: $\pm 2.0\%$ w zakresie 30 – 80 % RH,
 $\pm 3.0\%$ w zakresach 10 – 30 oraz 80 – 95 % RH,
- dla temperatury: $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ w zakresie 0 – 50 $^{\circ}\text{C}$.

Jednoczesna rejestracja parametrów wewnątrz i na zewnątrz balotu pozwoliła na zbadanie korelacji pomiędzy zewnętrznymi warunkami atmosferycznymi i wilgotnością powietrza wewnątrz balotu.



Rys. 5. Rejestrator wilgotności powietrza i temperatury (z lewej, przed umieszczeniem wewnątrz balotu); pomiar wilgotności słomy (z prawej)
Fig. 5. Humidity and temperature recorder (left, before placing inside the bale); moisture contents measurement (right)

4. OCENA WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

Porównanie warunków pogodowych w okresie od 15.04 do 15.07.2011 r. ze średnią pogodą w ostatnich dziesięciu latach zostało wykonane dla następujących parametrów: temperatura średnia, średnia prędkość wiatru, średnia wilgotność, liczba dni deszczowych. Badania nad naturalnym schnięciem słomy przeprowadzono w okolicy Gliwic, a dane dot. pogody w latach ubiegłych pochodzą z Pyrzowic (odległość ok. 45 km). Zestawienie danych przedstawione jest w tabeli 1. Wynika z niego, iż parametry pogody w regionie wiosną 2011 r. nie odbiegały zasadniczo od średniej dziesięcioletniej.

Tabela 1. Średnie parametry pogody w Pyrzowicach w okresach 15 kwietnia – 15 lipca w kolejnych latach [8]

Table 1. Average weather parameters in Pyrzowice in April 15th – July 15th in consecutive years

	temp. średnia T_{sr} [°C]	średnia prędkość wiatru [km/h]	średnia temp. pkt. rosy T_{dp} [°C]	średnia wilgotność [%RH]	liczba dni deszczowych
wiosna 2001	13	11	9	74	53
wiosna 2002	16	10	11	72	46
wiosna 2003	15	10	9	70	b.d.
wiosna 2004	13	11	8	72	61
wiosna 2005	13	10	8	69	47
wiosna 2006	14	9	9	68	44
wiosna 2007	15	11	9	67	46
wiosna 2008	14	10	8	70	46
wiosna 2009	14	10	8	70	51
wiosna 2010	14	10	9	75	49
wiosna 2011	14	10	9	70	45
średnia 2001-2011	14,1	10,2	8,8	70,6	48,8

5. KALIBRACJA WILGOTNOŚCIOMIERZA WSI-5

Przed rozpoczęciem eksperymentu dokonano wzorcowania wilgotnościomierza WSI-5 (rys. 6) według następującej procedury: w badany balot słomy w 8 różnych miejscach o różnych wilgotnościach wsunięto elektrodę pomiarową i postępując zgodnie z instrukcją obsługi przyrządu [9] odczytano wyniki. Jednocześnie dokładnie z tych samych miejsc pobrano 8 próbek słomy o masie ok. 30 g każda. Wilgotność pobranych próbek określono metodą suszarkowo-wagową. Następnie tak skorygowano charakterystykę rezystancyjną wilgotnościomierza, by błędy charakterystyki – w porównaniu z metodą suszarkowo-wagową – były jak najmniejsze. Uzyskano następujące dokładności:

± 1.0 %	w zakresie 8 – 15 %
± 2.0 %	w zakresie 15 – 30 %
± 4.0 %	w zakresie powyżej 30%

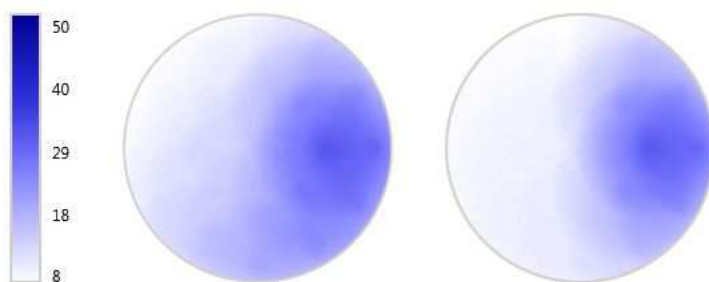
Rys. 6. Wilgotnościomierz siana WSI-5

Fig. 6. Moisture meter for hay WSI-5



6. WYNIKI POMIARÓW

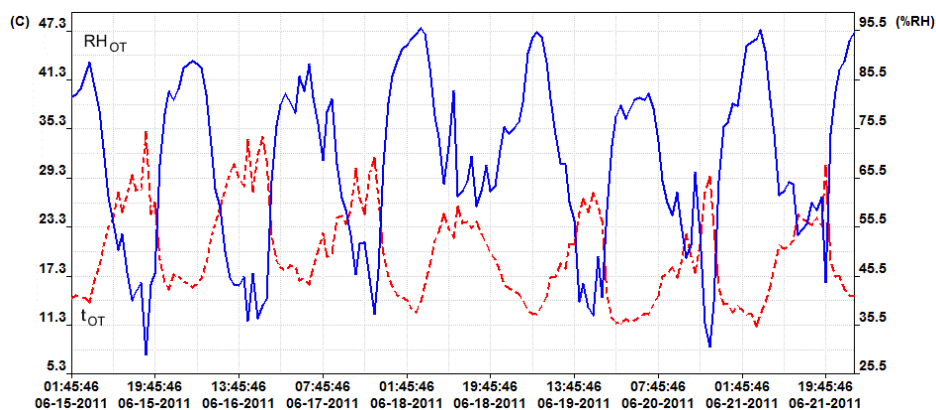
Wyniki pomiarów wilgotności wprowadzono do graficznego programu komputerowego, który na poszczególnych płaszczyznach pomiarowych dla każdego punktu pomiarowego (oraz dla dodatkowych punktów pośrednich) wykreślał koło o określonym kolorze zależnym od wilgotności. Uzyskano w ten sposób serię przekrojów z przestrzennym kolorowym rozkładem wilgotności. Dodatkowo program umożliwia symulację zmian rozkładu wilgotności w funkcji czasu (dla zadanego przekroju) lub w funkcji głębokości przekroju (dla zadanej daty). Przykładowo na rys. 7 przedstawiono rozkład wilgotności na głębokości 30 cm w dniach 23.04 oraz 25.06.2011 r.



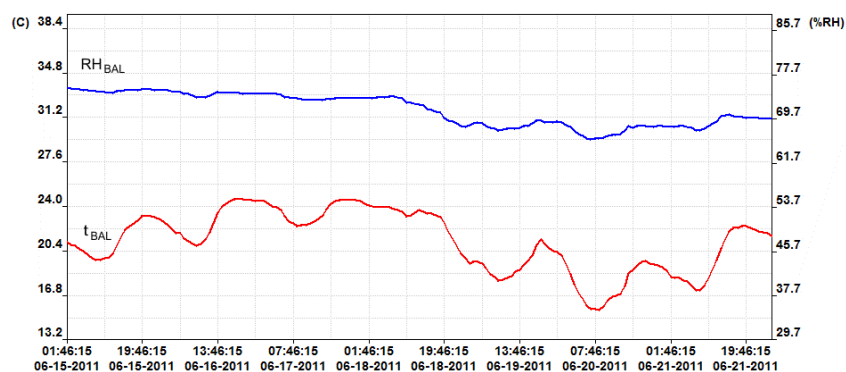
Rys. 7. Symulacja rozkładu wilgotności w balocie na głębokości 30 cm w dniach 23.04.2011 r. (z lewej) oraz 25.06.2011 r. (z prawej)

Fig. 7. Distribution of moisture contents at depth of 30 cm on 23.04.2011 (left) and 25.06.2011 (right)

Przykładowe wyniki rejestracji RH_{OT} i t_{OT} dla okresu 18.06 – 25.06.2011 r. przedstawione są na rys. 8. Wyniki RH_{BAL} i t_{BAL} dla tego samego okresu obrazuje rys. 9.



Rys. 8. Wykres parametrów pogody zarejestrowanych w trzecim tygodniu czerwca 2011 r.
Fig. 8. Weather parameters registered during the third week of July 2011

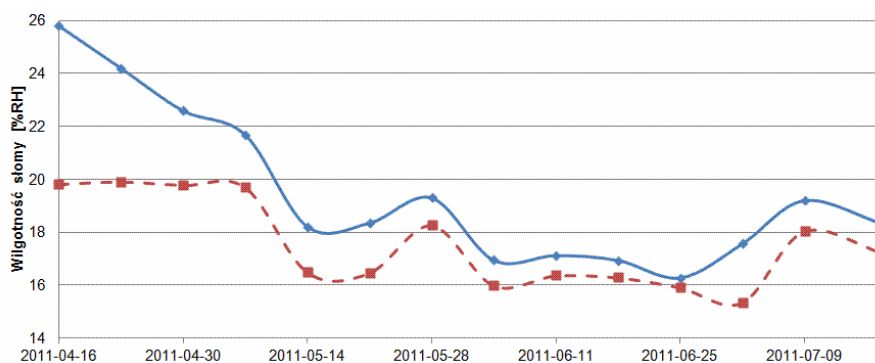


Rys. 9. Wykres parametrów zarejestrowanych w balocie w trzecim tygodniu czerwca 2011r.
Fig. 9. Parameters registered inside the bale during the third week of July 2011.

Z porównania wykresów wynika, że nawet duże dobowe zmiany wilgotności powietrza otoczenia nie wpływają w zauważalny sposób na wilgotność powietrza wewnątrz balotu. Temperatura powietrza wewnątrz balotu zmienia się w rytm zmian temperatury otoczenia.

Wybrany do badań balot już na początku okresu pomiarowego posiadał ognisko zgnilizny w miejscu nr 9 na głębokości 10 – 50 cm. Zgnilizna ta nie zanikła (nie wyschła) do końca eksperymentu. Można nawet stwierdzić, iż obszar zgnilizny uległ rozszerzeniu.

Na rys. 10 przedstawione są średnie wilgotności słomy w balocie dla poszczególnych dat (linia ciągła) oraz średnie wilgotności słomy w balocie po odrzuceniu zewnętrznej warstwy grubości ok. 15 cm (średnia liczona wyłącznie z pomiarów w punktach 2, 3, 4, 7, 8 – rys. 4; oznaczona linią przerywaną).



Rys. 10. Wykres średnich wilgotności słomy w balocie w okresie eksperymentu
Fig. 10. Average moisture contents in the bale of straw during the experiment

Wilgotność balotu malała w okresie od początku pomiarów do 1.07.2011 r. Na początku lipca obfite deszcze zatrzymały (a nawet cofnęły) proces osuszania.

7. WNIOSKI

Przeprowadzone pomiary pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- silnie (mocno) zawilgocone baloty słomy w polskich warunkach klimatycznych samoistnie (naturalnie) wysuszą się jedynie do średniej wilgotności 18 – 20%,
- w wyniku takiego procesu można jednak oczekiwać znacznego, ok. 10%, zmniejszenia się ich wilgotności,
- uzyskanie balotów (słomy) o wilgotności poniżej 15% wymaga dodatkowego sztucznego suszenia w suszarniach,
- w miejscach narażonych na zgniliznę proces gnicia słomy nie zostaje zatrzymany podczas naturalnego wysychania, a nawet ma tendencje wzrostowe (zaobserwowano zwiększenie obszaru gnicia),
- obfite kilkudniowe deszcze cofają proces wysychania, a średnia wilgotność balotu rośnie wtedy o kilka procent,
- usunięcie zewnętrznej warstwy słomy w balocie w zauważalny sposób obniża wilgotność średnią (w szczególności w początkowym okresie eksperymentu).

8. LITERATURA

- [1] Raport określający cele w zakresie udziału energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii znajdujących się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, w krajowym zużyciu energii elektrycznej na lata 2010 – 2019, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2011,
- [2] http://www.pigeo.org.pl/pliki/tresci_pl/136/PIGEO_dane_statystyczne_ryнку_OZE_2010.pdf (25.03.2012)
- [3] Janota-Bzowski J.; Ocena strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz kierunku rozwoju energetycznego wykorzystania biomasy rolniczej wraz z propozycją działań; oprac. dla NFOŚiGW, Warszawa 2005,
- [4] Janicka A., Janicki M.; Biomasa dla energetyki; Ekologia 4/2011
- [5] Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.; Słoma – energetyczne paliwo; Wyd. Wieś Jutra, 2001,
- [6] Igliński B., Buczkowski R., Cichosz M.; Technologie bioenergetyczne; Wyd. Naukowe UMK, 2009,
- [7] Hejft R.; Energochłonność procesu peletowania i brykietowania; materiały konferencyjne – „Rynek pelet i brykietów – możliwości rozwoju”; Czysta Energia 6/2011,
- [8] <http://www.wunderground.com/history/airport/EPKT> (07.03.2012)
- [9] Instrukcja obsługi wilgotnościomierza WSI-5; TANEL Elektronika i Informatyka

EVALUATION OF POSSIBILITY OF NATURAL DRYING OF STRAW BALES INTENDED FOR PRODUCTION OF PELLETS

SUMMARY

Majority of pellet manufacturers stores the supply of straw in bales in the open. In spring the straw is very moist. The authors conducted research on the natural drying process of a single bale of straw in spring 2011. The results of measurements were used in development of a graphic simulation of the drying process.

Bartłomiej TOMKOWICZ, mgr inż. arch.
Janusz PEŁCZYŃSKI, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Konserwacji Zabytków
Zakład Urbanistyki i Architektury
al. Powstańców Warszawy 12, 35-329 Rzeszów
e-mail: btomkowicz@poczta.fm
jpe@prz.edu.pl

**PROBLEMY MODERNIZACJI OBIEKTÓW POŁOŻONYCH
W STREFIE OCHRONY KONSERWATORSKIEJ NA
PRZYKŁADZIE PRZEBUDOWY BUDYNKU MIESZKALNEGO
PRZY UL. PIEKARSKIEJ 13 W KOLBUSZOWEJ**

STRESZCZENIE

Na podstawie przypadku modernizacji budynku mieszkalnego znajdującego się w Kolbuszowej przy ul. Piekarskiej 13 można dojść do wniosku, że w prawie budowlanym powinny znaleźć się zapisy umożliwiające prowadzenie modernizacji obiektów zlokalizowanych w strefie śródmiejskiej i ochrony konserwatorskiej na odrębnych zasadach, dostosowanych do specyfiki problemów występujących w tych obszarach.

1. WPROWADZENIE

Fala przemian związanych z procesami transformacji ustrojowej rozpoczętej w latach 90-tych XX coraz częściej dociera do małych miasteczek Podkarpacia. Poprawa kondycji ekonomicznej lokalnych społeczności, przedsiębiorców i właścicieli nieruchomości wyzwała działania mające na celu modernizację i rozwój istniejącej zabudowy. Potrzeby rozwoju związane są z rosnącymi wymaganiami cywilizacyjnymi, koniecznością rozwijania istniejących funkcji oraz wprowadzaniem funkcji nowych. Zaspokojenie występującego popytu jest jednocześnie warunkiem dalszego trwania procesu transformacji. Potrzeby rozwoju dotyczą stref centralnych małych miast, które skupiają się wokół rynku. Obszary te stanowią historycznie ukształtowane układy zabudowy wśród której znajdują się chronione układy urbanistyczne, autentyczne zabytki kultury materialnej wpisane do rejestru zabytków, oraz różnej klasy obiekty zabytkowe wpisane do ewidencji zabytków. Jedną

z form ich ochrony jest wprowadzenie w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego zapisów ustanawiających ochronę zabytków nieruchomych wpisanych do rejestru wraz z ich otoczeniem, oraz innych zabytków nieruchomych znajdujących się w gminnej ewidencji zabytków. W zależności od potrzeb ustanawia się strefy ochrony konserwatorskiej obejmujące obszary, na których obowiązują określone w planie przepisy szczególne tj. ograniczenia, zakazy i nakazy, mające na celu ochronę znajdujących się na tym obszarze zabytków.

Strefa ochrony konserwatorskiej obejmuje bardzo często szereg obiektów w złym stanie technicznym, a jednocześnie atrakcyjnych ze względu na lokalizację w tkance śródmiejskiej.

W wyniku związanej z transformacją nowelizacji przepisów prawnych dotyczących planowania i zagospodarowania przestrzennego, ochrony zabytków, praw własności oraz kompetencji samorządów lokalnych, ujawniły się nowe problemy na styku działań służb konserwatorskich oraz prywatnych i samorządowych właścicieli budynków. Jedni bowiem dążą do ochrony i utrzymania historycznych struktur i tradycyjnego charakteru historycznych miast lub ich zabytkowych stref, drudzy do modernizacji i rozbudowy.

Wszelkie działania modernizacyjne traktowane są na gruncie prawa budowlanego jako przebudowa lub budowa (budową jest rozbudowa, nadbudowa, odbudowa) i jako takie podlegają wszystkim wymaganiom obecnie obowiązujących przepisów technicznych.

Podejmowana inwestycja: zmiana funkcji, modernizacja istniejącego budynku lub budowa nowego obiektu musi uzyskać akceptację konserwatorską i musi także jednocześnie sprostać wszystkim współczesnym wymaganiom warunków technicznych jak każda inwestycja lokowana w dowolnym miejscu. Oznacza to konieczność dostosowania zabytkowych obiektów do aktualnych przepisów technicznych.

Z jednej strony istnieje konieczność zachowania określonych wartości historycznych w zakresie formy, układu, proporcji czy podziałów elewacyjnych z drugiej zaś przepisów techniczno-budowlanych dotyczących odległości między budynkami, budynków od granic działki budowlanej, warunków oświetlenia naturalnego, przesłaniania.

Powstają tutaj trudności, których pokonanie nie jest łatwe a czasami wręcz niemożliwe.

Przedstawiony poniżej przypadek modernizacji budynku mieszkalnego znajdującego się w Kolbuszowej przy ul. Piekarskiej 13 obrazuje niektóre problemy jakie można napotkać w trakcie modernizacji obiektów zlokalizowanych w strefie ochrony konserwatorskiej.

2. RYS HISTORYCZNY, OPIS BUDYNKU

Najcenniejszym elementem krajobrazu kulturowego Kolbuszowej, pozwalającym zidentyfikować tożsamość miasta, jest jego historycznie najstarsza część z charakterystyczną zabudową rynku i dominantą wieży kościelnej [4].

Ulica Piekarska, przy której zlokalizowany jest budynek wchodzi w skład historycznego układu urbanistycznego Kolbuszowej. Zachowana historyczna struktura przestrzenna obejmuje obszar I fazy formowania się miasta (rynek). Zabudowa w tym obszarze istniała już w XVII w. i stanowiła podstawę do rozmierzenia rynku.

Układ urbanistyczny Kolbuszowej zmieniał się w wyniku odbudów po licznych pożarach, które trawiły miasto. W ciągu XIX wieku przy niemal tych samych granicach zabudowy prawie dwukrotnie wzrosła liczba budynków co prowadziło do zacierania się pierwotnych

założeń rozplanowania. Pewne uporządkowanie nastąpiło dopiero po wielkich pożarach z 1890 i 1900 r. [1].

O zabudowie Kolbuszowej przed 1900 rokiem wiemy bardzo niewiele. W zasadzie brak jest dla tego okresu źródeł ikonograficznych. Drewniana, zwarta zabudowa, w ogromnej większości parterowa i prawdopodobnie podcieniowa, została zupełnie zniszczona przez wspomniane pożary. W okresie od końca XIX niemal do połowy XX wieku wykształciły się w Kolbuszowej trzy typy zabudowy miejskiej [2]. Pierwszy, w formie zwartej zabudowy murowanej, który zastąpił drewnianą, zlokalizowany był w obrębie rynku i uliczek dolnych - ul. Piekarskiej, Mickiewicza. Większość tej zabudowy przetrwała do naszych czasów jednak w znacznie zniekształconej formie. O tożsamości historycznej miasta świadczy zachowane założenie urbanistyczne w planie oraz zespoły zabudowy z przełomu XIX i XX w. Z tego też powodu prawie wszystkie budynki pierzei rynkowych znajdują się w ewidencji zabytków w celu ochrony układu. Drugi pas zabudowy, w obrębie ulic okólnych posiada mniej wartościowej zabudowy, zauważalna jest w nim duża dysharmonia przestrzenna. Dotyczy to także rejonu ulicy Piekarskiej.

Obiekt przy Piekarskiej 13 przed przebudową składał się z dwóch brył o rzucie prostokąta. Pierwszą, główną bryłę stanowił budynek mieszkalny jednorodzinny. Druga bryła w postaci dobudówki pełniła funkcję gospodarczą. Obydwie części wzniesione zostały w konstrukcji tradycyjnej murowanej ze stropem drewnianym. Główną bryłę zwieńczono dachem dwupołaciowym, część gospodarczą pulpitowym, stanowiącym przedłużenie mniejszej połaci dachu głównego. Dach w całości został wykonany w konstrukcji drewnianej i pokryty blachą.

Budynek od dłuższego czasu nie był użytkowany, i znajdował się w złym stanie technicznym. Niezbędnym było przeprowadzenie gruntownego remontu. Właściciel przy tej okazji chciał poprawić stan budynku zarówno w jego układzie funkcjonalnym, jak i wizualnym co znalazło również uznanie w oczach lokalnego samorządu, który w celu poprawy zagospodarowania przestrzennego miasta, poprawy estetyki miasta, i stanu technicznego budynków" ujął to zamierzenie w Lokalnym Programie Rewitalizacji Miasta Kolbuszowa na lata 2010-2015 [4].

Zapisy Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego dopuszczały możliwość modernizacji budynku poprzez przeprowadzenie nadbudowy w wymiarze niezbędnym dla zaadaptowania poddasza, ale z zachowaniem charakteru gabarytów [3].

Z punktu widzenia przestrzeni miejskiej i wyrazu architektonicznego miejsca wydawało się zasadne wpisanie kubatury dobudówki do głównej bryły budynku. Ponieważ obiekt widnieje w ewidencji zabytków, a teren jego lokalizacji leży w strefie pełnej ochrony konserwatorskiej, wszelkie rozwiązania projektowe musiały uzyskać akceptację Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków. Warunki konserwatorskie zobowiązywały do zachowania historyzującego charakteru obiektu oraz kształtu elewacji w układzie otworów okiennych i drzwiowych. Pierwszy z nich nie budził wątpliwości – budynek po nadbudowie i rozbudowie mógł zyskać lepsze i bardziej wyraziste proporcje, a forma wzbogacona o lukarny i detal mogła stać się pozytywnym elementem przestrzeni ulicy Piekarskiej. Drugi warunek natomiast otworzył dyskusję nad możliwością jakiegokolwiek przebudowy w tym miejscu.

3. ZAGADNIENIA FORMALNO-PRAWNE MODERNIZACJI

Przyjęty zakres prac jednoznacznie kwalifikuje przedmiotową inwestycję jako nadbudowę (czyli budowę). Literalnie czytane paragrafy warunków technicznych [7] powodują, że wprost nie do spełnienia są zapisy dotyczące odległości wznoszonej zabudowy od granic działki budowlanej oraz z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe.

W omawianym przypadku ściana frontowa usytuowana w granicy wschodniej działki 1291/2 graniczy co prawda z działką, która nie kwalifikuje się do budowlanych – jest gminnym traktem pieszym o szerokości ok. 2 m, ale parcela nr 1294/2 przylegająca z drugiej jego strony jest działką budowlaną i nie powinno się ograniczać jej praw wynikających z tego tytułu. Mamy zatem do czynienia z sytuacją, w której można uznać że opisywany obiekt nie spełnia §12 warunków technicznych, który stanowi, że budynek na działce budowlanej należy sytuować w odległości od granicy z sąsiednią działką budowlaną nie mniejszej niż 4 m - w przypadku budynku zwróconego ścianą z otworami okiennymi lub drzwiowymi w stronę tej granicy. Wprawdzie działka 1294/2 nie przylega bezpośrednio do działki, na której znajduje się omawiany budynek, jednakże należałoby ją brać jako sąsiednią z uwagi na przepisy przeciwpożarowe.

W tym miejscu pojawia się pierwszy paradoks, polegający na tym, że o ile w przypadku remontu obecność okien w ścianie wschodniej nie budzi wątpliwości, w przypadku jednak przebudowy utrzymanie ich nie znajduje swojego uzasadnienia w żadnym paragrafie warunków technicznych.

W rzeczywistości pozostawienie okien w elewacji wschodniej nie zmienia możliwości zabudowy działki 1294/2, gdyż chcąc na niej budować trzeba by było spełnić wymagania ochrony pożarowej wobec zabudowy istniejącej. Jednak w przypadku zakwalifikowania inwestycji jako budowy i żądaniu zachowania odległości od granicy działki 1294/2 należałoby zapewnić tej działce lepsze warunki zabudowy niż przed podjęciem budowy na działce 1291/2. Jeszcze ciekawiej przedstawia się diagnoza wobec działki położonej bezpośrednio od północy (1291/1). Przed przebudową omawiany obiekt posiadał otwory w ścianie frontowej w odległości 78 cm od granicy północnej. Okno doświetlało pomieszczenie, które po przebudowie zachować miało swoją pierwotną funkcję mieszkalną. Ponieważ odległość pozioma otworu od granicy ponownie nie spełniała normatywnej wielkości – 2m rozważeniu podlegały dwie możliwości – pierwsze polegające na przesunięciu poziomym okna, drugie – na zastosowaniu przeszklenia o parametrach EI 60, bez możliwości otwarcia. Na pierwszy postulat konserwator nie wyraził zgody, ponieważ przesunięcie byłoby precedensem i otwierało drogę do podobnych zabiegów w innych, podobnych przypadkach, wobec czego inwestor stanął przed koniecznością wstawienia okna przeciwpożarowego. Ponieważ jednak pomieszczenia mieszkalne przeznaczone na stały pobyt ludzi powinny mieć zapewnioną możliwość przewietrzenia naturalnego, którego brak może zastąpić jedynie zastosowanie wentylacji mechanicznej doszło do kolejnej dyskusyjnej sytuacji, a nawet nieco absurda biorąc pod uwagę istniejący stan budynku i jego obecne rozwiązania. Konserwator aby umożliwić budowę zaproponował nawet wskazanie działki 1291/1 jako niebudowlanej powołując się na historyczny układ zabudowy i swój sprzeciw na jakąkolwiek nową zabudowę w tym miejscu. Postulat ten jednak z uwagi na istnienie budynku w północnej jej części, któremu nie można odebrać możliwości jakiegokolwiek przebudowy lub modernizacji szybko został obalony. Bezwzględny priorytet warunków konserwator-

skich ustanowiony w Miejscowym Planie Zagospodarowania Przestrzennego nie pozwala przecież na uchylene warunków technicznych i innych przepisów budowlanych.

Kolejnym problemem w omawianym przypadku była kwestia istniejącego otworu na ścianie południowej budynku w granicy z sąsiednią działką budowlaną, powyżej dachu istniejącej zabudowy. Pojawiło się pytanie, czy okno to powinno zostać zlikwidowane, skoro trudno pokusić się o jednoznaczne określenie okresu z którego pochodzi? Być może okno to wiązało się z samowolą poprzedniego właściciela, a być może wstawiono je dla doświetlenia przestrzeni strychowej na początku istnienia budynku w sytuacji, gdy na działce sąsiedniej nie było zabudowy lub wybicie otworu nie stało w konflikcie z ówczesnym prawem? Pozostawienie tego okna, nawet w formie nieotwieranej przegrody EI60 postawiłoby sąsiada planującego możliwą zapisami planu inwestycję przebudowy obiektu na swojej działce w trudnej sytuacji. Do instytucji nadzoru budowlanego trafia wiele takich spraw, ciągną się one zazwyczaj latami i prawie nigdy nie kończą się polubownie. Ostatecznie przekazywane na drogę sądową, gdzie postępowania, w trakcie których prowadzone są skomplikowane badania przez biegłych rzeczoznawców, zyskują finał w postaci i tak możliwych do podważenia orzeczeń.

W przypadku okien w obiektach przebudowywanych zaistnieć może jeszcze jeden konflikt prawny. Ponieważ strefa ochrony konserwatorskiej najczęściej mieści się w historycznym śródmieściu, najstarszej części miasta, gdzie tkanka jest zwarta i gęsta, spotykamy się z przypadkami tak zorientowanych budynków względem stron świata, że nawet zaprojektowanie dodatkowych przeszkleń, najczęściej trudne do zaakceptowania przez Urząd Ochrony Zabytków, nie gwarantuje spełnienia norm dotyczących zapewnienia odpowiedniej ilości światła naturalnego dla pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi [7]. Możliwe jest wtedy przebudowanie np. mieszkania w taki sposób, aby było jednoprzestrzenne, ale będzie to zabieg którego jedynym celem będzie formalne spełnienie przepisu, a nie realizacja potrzeb funkcjonalnych, czemu ma w założeniu służyć cała modernizacja. Podobnie ma się zagadnienie przesłaniania i zacieniania w sytuacji przebudowy obiektów w zwartej tkance. W rozumieniu przepisów i interpretacji urzędów każdy budynek w wyniku przebudowy powinien bezwzględnie spełniać wszystkie paragrafy polskiego prawa budowlanego i warunków technicznych. Oczywiście w wielu przypadkach nie jest to do osiągnięcia.

Ostatnim napotkanym problemowym aspektem w omawianym przez nas budynku w Kolbuszowej jest przekraczanie granic własnej działki przez drugorzędne elementy budynku. Obecność na działce sąsiedniej takich elementów jak gzymsy, okapy, rynny, rury spustowe, schody zewnętrzne, można uwzględnić poprzez wykazanie się prawem do dysponowania nieruchomością sąsiednią na cele budowlane. W przypadku uzyskania zgody sąsiada na lokalizację legalnie przecież istniejących już elementów na jego działce (co nie zawsze łatwe jest ...) konsekwencją formalną jest objęcie zasięgiem inwestycji kolejnych działek sąsiednich. Uwarunkowania lokalizacyjne tych kolejnych działek mogą być źródłem następnych problemów formalnych wynikających z innej kwalifikacji przedmiotowej inwestycji niż jako remontu.

4. ANALIZA PROBLEMOWA

Powyższe rozważania budzą wątpliwości dotyczące słuszności rozwiązań polskiego prawa budowlanego. Nasuwa się pytanie, czy wymagania stawiane obiektom podlegającym modernizacji zlokalizowanym w śródmieściach miast oraz w strefie ochrony konserwatorskiej powinny być takie same jak w przypadku obiektów całkowicie nowych? Czy zawsze całość budynku musi spełniać wszelkie wymagania przepisów jeżeli inwestycją objęta jest tylko jego część? Czy modernizacja polegająca na technicznej poprawie stanu istniejącego zawsze powinna być traktowana na równi z budową w rozumieniu prawa, czy może stać się odrębnym rodzajem działań objętym własnymi przepisami, których rygor będzie dostosowany do specyfiki problemów towarzyszących zagadnieniu? Obecny kształt prawa prowadzi niejednokrotnie do sytuacji wymuszającej konieczność całkowitej rezygnacji z inwestycji lub realizacji jej w kształcie nadmiernie skomplikowanych rozwiązań technicznych, kosztownych i niefunkcjonalnych, znacznie odbiegających od powszechnie stosowanych rozwiązań.

Być może zasadne byłoby wprowadzenie do przepisów prawa budowlanego zasady nie pogarszania w wyniku podejmowanych prac budowlanych stanu istniejącego budynków położonych w śródmieściach miast i w strefie ochrony konserwatorskiej.

Zasada taka umożliwiłaby szersze niż aktualnie prowadzenie inwestycji budowlanych, w wyniku których następowałaby poprawa zabudowy istniejącej.

Słusznym wydaje się ponadto dopuszczenie do stosowania - na określonych warunkach - rozwiązań analogicznych do występujących w bezpośrednim sąsiedztwie, czyli możliwości zastosowania historycznych rozwiązań architektonicznych i budowlanych podczas rozbudowy czy wprowadzania zabudowy uzupełniającej.

Zasady takie nie musiałyby być nawet obligatoryjne dla wszystkich inwestycji położonych w śródmieściach miast i w strefie ochrony konserwatorskiej, ale dostępne tylko dla takich sytuacji, kiedy całkowicie nie istnieje możliwość lub brak jest możliwości racjonalnego spełnienia obecnych warunków technicznych.

Obecny stan prawa blokuje ponadto podnoszone w środowisku architektów i urbanistów postulaty dotyczące potrzeby ożywiania centrów miast poprzez przywracanie funkcji mieszkaniowej do tkanki śródmiejskiej. Historyczne i socjologiczne uwarunkowania są jednak niewystarczające w starciu z przepisami o naturalnym doświetleniu pomieszczeń i w wielu lokalach, pierwotnie mieszkalnych, ponowna adaptacja jest trudna do przeprowadzenia.

Prawo powinno zezwalać na poprawę warunków i zabezpieczać przed możliwością ich pogarszania. Liberalizacja niektórych zapisów powinna przyczynić się do polepszenia jakości i wartości przestrzeni, która w przypadku stref objętych ochroną konserwatorską jest dobrem publicznym, świadectwem naszego dziedzictwa.

Rozważania na temat zmiany prawa zawsze rodzą obawę dotyczącą możliwych konsekwencji. W przypadkach modernizacji zabudowy zwartej zabudowy śródmiejskiej objętej dodatkowo ochroną lub opieką konserwatorską trudno nie odnieść jednak wrażenia, że obecne jej położenie względem obowiązujących przepisów jest wynikowe i przypadkowe.

Rozważane zmiany nie powinny stwarzać niebezpieczeństwa w postaci większych niż obecnie paradoksów. Dodatkowo eliminowałoby to pokusę omijania prawa poprzez działania nieformalne zmierzające do tego, żeby jednak przeprowadzić oczekiwane inwestycje

w zamierzonym kształcie; formalnie możliwy remont jest bowiem w wielu przypadkach działaniem niewystarczającym i nieoptymalnym.

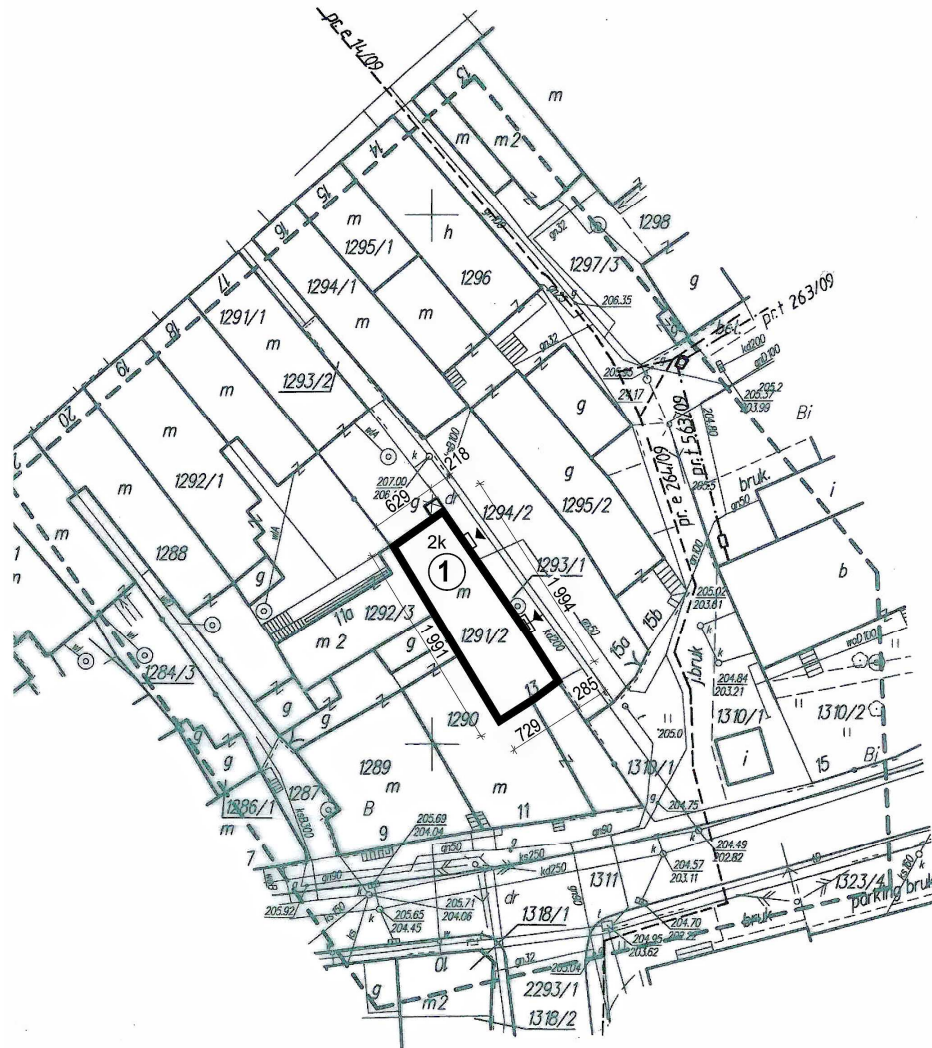
5. PODSUMOWANIE

Jak się okazuje w wielu przypadkach nie jest możliwe przeprowadzenie legalnej, w myśl obowiązujących przepisów, modernizacji lub wiąże się to z wprowadzaniem nieracjonalnych rozwiązań nawet wtedy, gdy budynek przed podjęciem działań modernizacyjnych powodował dużo większą niezgodność z przepisami budowlanymi niż po wykonaniu ewentualnej inwestycji.

Obowiązujące prawo z jednej strony służy, zabezpiecza ważne interesy, z drugiej powoduje, że nie możemy racjonalnie gospodarować zasobami materialnymi. Jeżeli nasze działanie nie jest tylko przywróceniem stanu pierwotnego budynku, to już nie jest remont, ale jakąś formą budowy lub przebudowy z pełnym wachlarzem współczesnych wymagań. Tymczasem znaczna część zasobów śródmiejskich nadaje się do modernizacji.

O ile w przypadku wartościowych zabytków niestandardowe i najczęściej bardzo drogie rozwiązania techniczne znajdują swoje uzasadnienie, tak konieczność stosowania ich w obiektach o znikomej wartości historycznej jest wątpliwe, choć nieraz w praktyce nieuniknione ze względu na lokalizację obiektu w strefie ochrony.

Powołując się na przypadek modernizacji budynku mieszkalnego znajdującego się w Kolbuszowej przy ul. Piekarskiej 13 można dojść do wniosku, że w prawie powinny znaleźć się zapisy umożliwiające racjonalne prowadzenie modernizacji obiektów zlokalizowanych w strefie śródmiejskiej i ochrony konserwatorskiej. Napotkane w trakcie tej inwestycji problemy odnoszą się bowiem do wielu innych przypadków. Problemy te dotyczą nie tylko małych miejscowości, ale wszystkich historycznych centrów miast, gdzie istniejąca zabudowa ma zwięzłą, specyficzną strukturę, a budynki i całe zespoły zabudowy zlokalizowane są zazwyczaj w granicach działek, bez zachowania współcześnie wymaganych odległości funkcjonalnych i technicznych.



Rys. 1. Sytuacja
Fig. 1 The situation



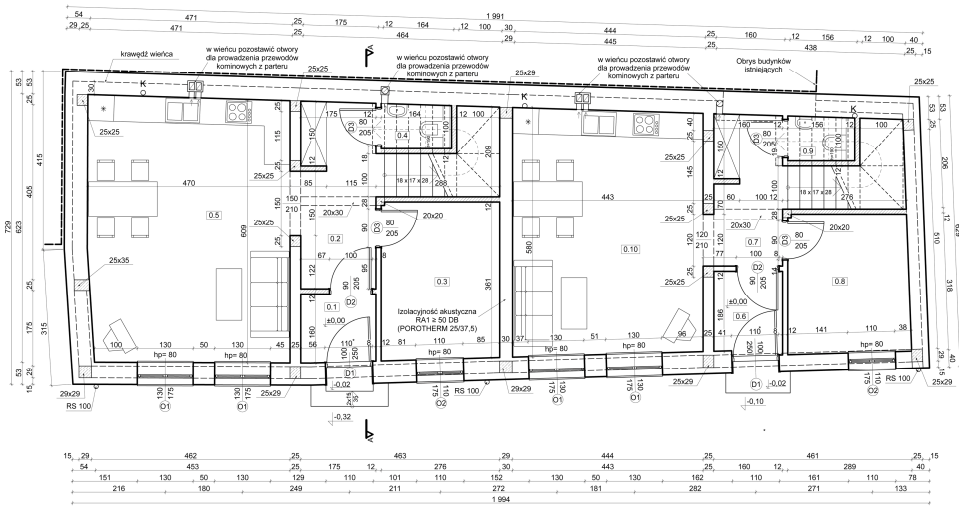
¶ Rys. 2. Budynek przy ul. Piekarskiej 13 przed przebudową
Fig. 2. The building Piekarska st. 13 before the conversion



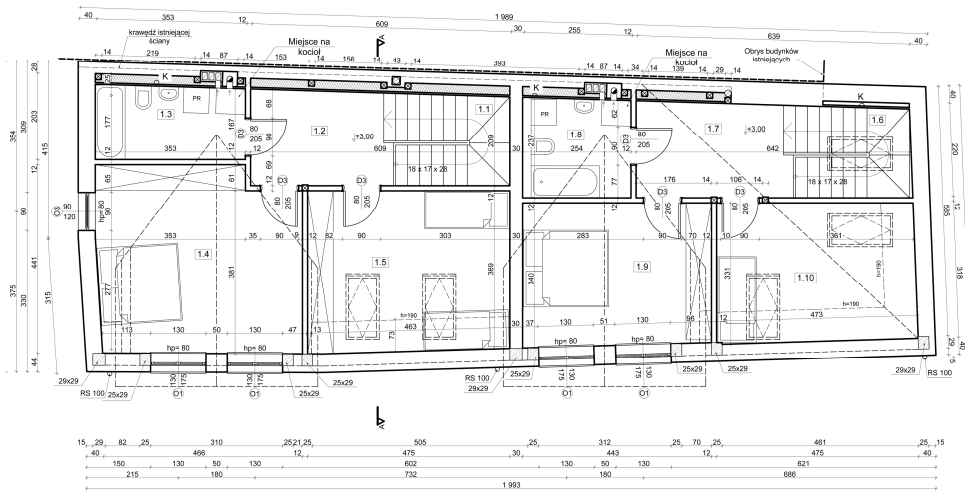
¶ Rys. 3. Wizualizacja koncepcji przebudowy
Fig. 3. Visualization of the concept of remodeling



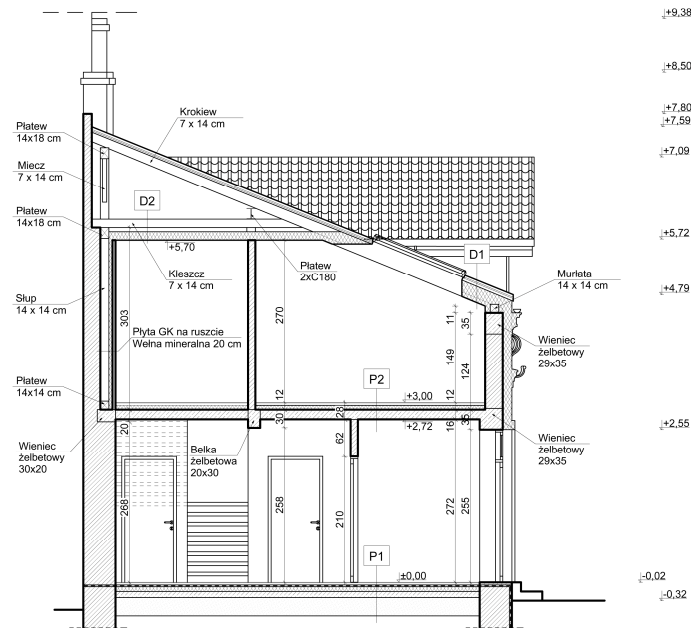
Rys. 4. Elewacja frontowa wg projektu kolorystyki
Fig. 4. Facade, designed by color



Rys. 5. Rzut parteru w stanie projektowanym
Fig. 5. Throw in the groundfloor state of the proposed



Rys. 6. Rzut poddasza w stanie projektowanym
 Fig. 6. Throw in a position to proposed attic



Rys. 7. Przekrój w stanie projektowanym
 Fig. 7. Section

6. LITERATURA

- [1] Bajdan J., Dragan W., Zieliński J.; Rozpoznanie i ocena zasobów dziedzictwa kulturowego w gminie Kolbuszowa, Materiały do studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, Kolbuszowa 1998 r.
- [2] Książek M., Miasta prywatne – Wiśnicz Nowy i Kolbuszowa (na tle działalności urbanistyczno-architektonicznej Lubomirskich w XVII wieku), monografia w ZN PK, Kraków 1990 r.,
- [3] Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego terenu Rynku wraz z otoczeniem w Kolbuszowej.
- [4] Lokalny Program Rewitalizacji Miasta Kolbuszowa na lata 2010-2015, Rada Miejska w Kolbuszowej, Kolbuszowa 2010 r.
- [5] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane., Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414,
- [6] Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami, Dz.U. 2003 nr 162 poz. 1568,
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690.

PROBLEMS OF MODERNIZATION OF FACILITIES LOCATED IN THE PRESERVATION PROTECTION ZONE RESIDENTIAL BUILDING AT KOLBUSZOWA PIEKARSKA ST. 13

SUMMARY

Based on the modernization of a residential building located in Kolbuszowa Street. Piekarska 13 can come to the conclusion that in the building law should include provisions for carrying out the modernization of facilities located in the city center and the conservation protection zone by separate rules, tailored to the specific problems in these areas.

Michał A. TOMSKI, mgr inż.
Krzysztof SORNEK, mgr inż.
Mariusz. FILIPOWICZ, dr hab. inż.

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Energetyki i Paliw
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: tomski@agh.edu.pl

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE ZGAZOWANIA BIOMASY NA POTRZEBY ZINTEGROWANYCH UKŁADÓW ENERGETYCZNYCH

STRESZCZENIE

W referacie zaprezentowano wybrane nowoczesne i przyszłościowe technologie zgazowania biomasy na potrzeby zintegrowanych układów energetycznych. Wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii oraz fakt, że wiele potencjalnych zastosowań wymaga wysokiej jakości gazu przyczyniają się do rozwoju istniejących oraz powstawania nowych koncepcji technologii zgazowania biomasy. Zastosowanie w energetyce procesu zgazowania biomasy daje możliwość budowy alternatywnych układów energetycznych opartych o turbiny gazowe, silniki Stirlinga czy ogniwa paliwowe. Przedstawione w tej pracy zostały takie technologie jak: zgazowanie plazmowe, zgazowanie solarne, zgazowanie allotermiczne z wykorzystaniem rur ciepła.

1. WPROWADZENIE

Biomasa jest jednym z głównych odnawialnych źródeł energii mogących stanowić substytut paliw kopalnych. Energetyczne użytkowanie biomasy należy do najszybciej rozwijających się sektorów energetyki w Polsce. Najstarszym i najbardziej rozpowszechnionym sposobem stosowania biomasy jest spalanie, jednak coraz większa waga przykładana jest do koncentracji energii w postaci zdatnej do wytwarzania jako końcowy produkt wodoru, metanu lub metanolu [1]. Podejście takie wynika przede wszystkim z poszukiwania nowych technologii pozyskiwania energii elektrycznej z większą niż obecnie sprawnością, np. za pomocą ogniw paliwowych.

Istotnym czynnikiem rozwoju metod zgazowania biomasy jest też nowe spojrzenie na energetykę: decentralizacja źródeł energii oraz coraz szersze stosowaniem technologii kogenacji ciepła i energii elektrycznej (CHP). Układy te posiadają spore wymagania odnośnie czystości gazu, pokazuje to tabela 1.

Tabela 1. Limity zawartości smoły w gazie przy różnych zastosowaniach [2]

Table 1. Upper Limits of Biomass Gas Tar [2]

Zastosowanie	Zawartość smoły [g/Nm ³]
Bezpośrednie spalanie	Bez określonego limitu
Produkcja syngazu	0,1
Turbiny gazowe	0,05-5
Silniki o spalaniu wewnętrznym	50-100
Ogniwa paliwowe	<1,0

2. PROCES ZGAZOWANIA

Zgazowanie jest procesem termochemicznej konwersji materiałów takich jak węgiel lub biomasa do postaci gazu znajdującego zastosowanie jak paliwo.

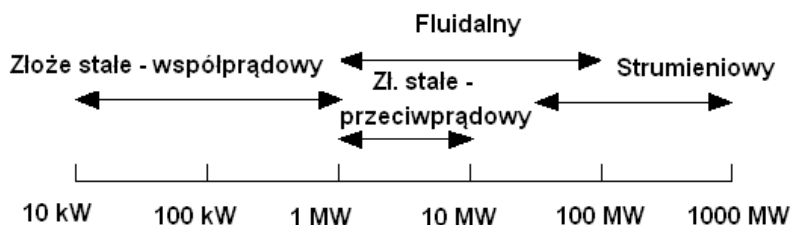
W typowym procesie zgazowania biomasa jest najpierw ogrzewana i suszona a następnie ulega pirolizie. Produkty pirolizy w postaci gazu i stałego karbonizatu reagują między sobą oraz z medium zgazowującym (np. tlen, powietrze, para wodna) co prowadzi do powstania finalnego produktu.

W większości stosowanych komercyjnie generatorów gazu energia konieczna do procesu pochodzi ze spalania części dostarczonego do zgazowania surowca, co powoduje zmniejszoną sprawność energetyczną takiego procesu oraz zanieczyszczenie powstałego gazu syntezowego produktami spalania biomasy.

3. REAKTORY ZGAZOWANIA

Ze względu na sposób działania można wyróżnić trzy podstawowe typy reaktorów wykorzystywanych w procesie zgazowania:

- reaktory ze złożem stałym
- reaktory fluidalne
- reaktory strumieniowe



Rys. 1. Zakresy stosowalności reaktorów zgazowania danego typu w zależności od mocy [2].

Fig. 1. Range of applicability for biomass gasifier types [2]

Zawartości smoły może się zmieniać nawet w zakresie dwóch rzędów wielkości w zależności od technologii zgazowania. Ogólne dane pokazują, że zawartość ta może zmieniać się od 1 g/Nm^3 dla gazyfikatorów ze złożem stałym działających współprądowo, do 100 g/Nm^3 dla pracujących w systemie przeciwpądowym. Natomiast dla gazyfikatorów ze złożem fluidalnym jest to wielkość rzędu 10 g/Nm^3 . Inny jest też skład smoły dla poszczególnych technologii zgazowania [3].

3.1. Reaktory ze złożem stałym

W tego typu generatorach paliwo podawane jest zwykle z górnej części reaktora. Generatory ze złożem stałym mogą być zaprojektowane zarówno w konfiguracji współprądowej i przeciwpądowej. W zależności od wybranej konfiguracji różna jest kolejność charakterystycznych stref reakcji a co za tym idzie uzyskiwane produkty mogą się znacząco różnić np. pod względem zawartości zanieczyszczeń smołowych będących utrudnieniem dla wielu potencjalnych zastosowań (tabela 1). Generatory ze złożem stałym są stosunkowo łatwe do projektowania i eksploatacji, są najlepiej dostosowane do użytkowania w instalacjach małych i średnich. Przy stosowaniu generatorów gazu ze stałym złożem w instalacjach większych mogą pojawić się problemy z transportem biomasy wewnątrz reaktora co prowadzi do nierównomiernego przepływu gazu także osiągnięcie jednolitej temperatury w strefie zgazowania w instalacjach dużej skali może być trudne ze względu na brak mieszania w strefie reakcji.

3.2. Reaktory fluidalne

W reaktorach ze złożem fluidalnym podawany zwykle z góry lub z boku surowiec do zgazowania szybko miesza się w całej powierzchni generatora ze stałymi, gorącymi cząstkami złoża. Podawany czynnik zgazowujący stanowi często jednocześnie gaz fluidyzujący. Główną zaletą generatorów ze złożem fluidalnym jest jednorodność temperatury w strefie reakcji oraz bardzo dobry kontakt zgazowywanego surowca ze złożem. Wyróżnia się dwa podstawowe typy generatorów tego rodzaju: generatory ze złożem cyrkulacyjnym oraz pęcherzykowym.

3.3. Reaktory strumieniowe

W reaktorach strumieniowych, rozdrobnione paliwo w stanie suchym lub pod postacią zawiesiny wodnej wprowadzane jest do strefy reakcyjnej w strumieniu mieszaniny tlenu i pary wodnej. Ze względu na konieczność bardzo znacznego rozdrobnienia surowca kierowanego do zgazowania (do ziarna poniżej $0,1 \text{ mm}$) reaktory tego typu dotychczas nie są praktycznie stosowane w procesach zgazowania biomasy.

4. PRZYKŁADOWE NOWE TECHNOLOGIE ZGAZOWANIA

W tych technologiach (tzw. allotermicznego zgazowania) ciepło potrzebne do procesu zgazowania dostarczane jest z zewnątrz. Możliwe jest to na różne sposoby. Niektóre z nich zostaną omówione w niniejszym rozdziale.

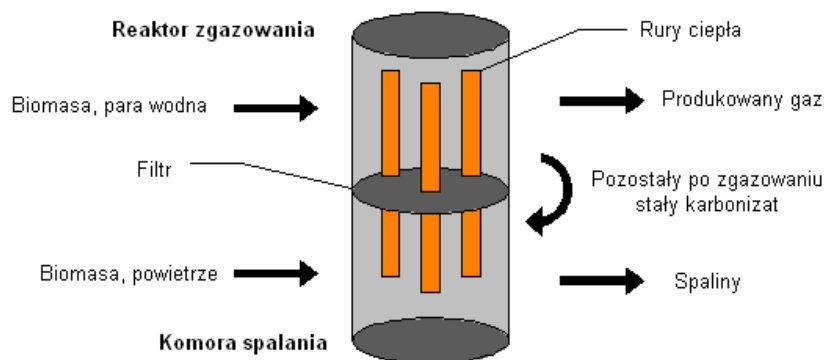
4.1. Zgazowanie allotermiczne z zastosowaniem rur ciepła

System allotermicznego zgazowania biomasy BioHPR (Biomass Heatpipe Reformer) przedstawiono schematycznie na rysunku 2. Składa się on z fluidalnego reaktora zgazowania oraz oddzielonej od niego filtrem komory spalania. Transport ciepła z komory spalania odbywa się za pomocą rur wypełnionych metalami alkalicznymi, np. sodem lub potasem.

Tabela 2. Skład gazu uzyskiwanego z instalacji BioHPR (%) [4]

Table 2. Composition of gases at the output of the BioHPR (%) [4]

H ₂	H ₂ O	CO	CO ₂	CH ₄
30÷40	15÷25	10÷20	8÷15	7÷10



Rys 2. Schemat działania reaktora wykorzystującego rury ciepła

Fig 2. Diagram of the reactor with heatpipes

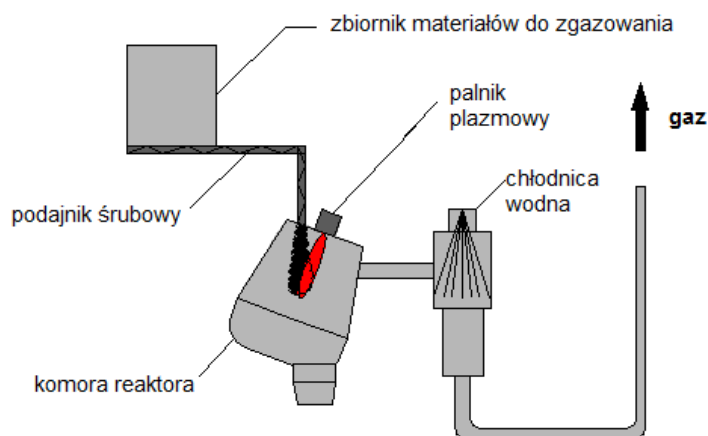
Do znajdującego się w górnej części reaktora zgazowania dostarczana jest biomasa oraz para wodna będąca zarówno czynnikiem zgazowującym jak i fluidyzującym złożę. Proces zgazowania przebiega w temperaturze około 800°C. Pozostały po zgazowaniu stały karbonizat opada w dół do komory spalania działającej również w systemie fluidalnym. Wytworzony gaz charakteryzuje się wysoką zawartością wodoru oraz niewielką ilością zanieczyszczeń smołowych[4].

4.2. Zgazowanie plazmowe

W przypadku zgazowania plazmowego energia do procesu dostarczana jest przez plazmę, a nie przez spalanie części dostarczonego surowca jak ma to miejsce w klasycznych technologiach zgazowania, daje to możliwości szybkiej kontroli i zmian parametrów procesu a także przyczynia się do braku emisji spalin. Na rysunku 3 przedstawiono układ doświadczalnego reaktora plazmowego PLASGAS.

Moc zastosowanego palnika plazmowego może być regulowana w zakresie od 90 do 160kW. Straty mocy zostały ograniczone poprzez zastosowanie wewnątrz reaktora wykładzin ceramicznych o grubości 400 mm. Wewnętrzna objętość reaktora wynosi 0,22 m³. Temperatura ścian reaktora mieści się w zakresie od 1100 do 1400°C i może być regulowana poprzez zmianę mocy palnika oraz zmianę szybkości podawania materiału do zgazowania. Wszystkie części reaktora chłodzone są wodą.

Materiał do zgazowania dostarczany jest przy pomocy podajników śrubowych o regulowanej szybkości. Wysoka temperatura i jej równomierny rozkład w reaktorze powodują zmniejszenie ilości powstających zanieczyszczeń smołowych. Uzyskanie wysokiej gęstości energii i wysokiej wydajności wymiany ciepła pozwala na krótszy czas przebywania materiału w reaktorze i dużą przepustowość.



Rys 3. Schemat układu eksperymentalnego reaktora plazmowego PLASGAS [5]

Fig 3. Schematic diagram of the experimental PLASGAS reactor [5]

Tabela 3. Przykładowy skład gazu uzyskiwany ze zgazowania drewna w reaktorze PLASGAS [6]

Table 3. Composition of gases at the output of the PLASGAS reactor[6]

Moc palnika	Prędkość podawania paliwa	Temperatura	H ₂	CO	CO ₂	O ₂	Ar	CH ₄
[kW]	[kg/h]	[K]	%					
104	6,9	1360	27,2	60,8	5,4	0,7	4,9	0,5
106,3	27,1	1417	22,3	68,3	2,4	4,8	1,4	0,8
107,7	47,2	1364	37,3	60,1	1,8	0,1	0,2	0,4

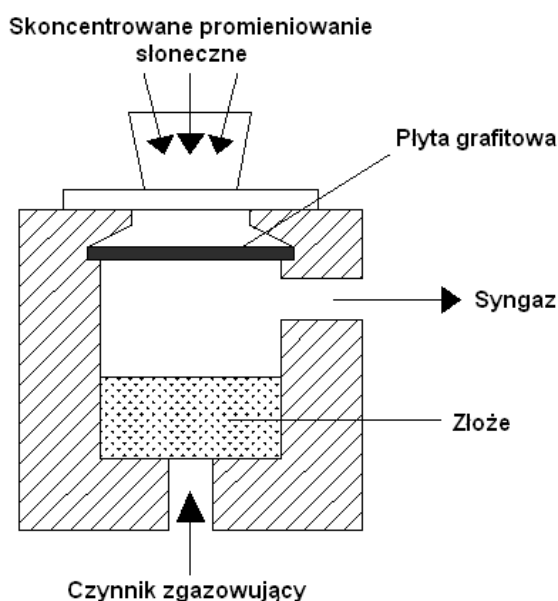
4.3. Zgazowanie solarne

W reaktorach solarnych dostarczana biomasa stanowi jedynie źródło węgla. Źródłem energii dla procesu zgazowania jest natomiast skoncentrowane promieniowanie słoneczne.

Otrzymywany w tym procesie wysokiej jakości gaz syntezowy stanowić może surowiec do produkcji paliw ciekłych w procesie Fischera-Tropscha lub wytwarzania energii elektrycznej w ogniach paliwowych [7].

W celu koncentracji promieniowania słonecznego stosowane są układy z wykorzystaniem wieży słonecznej lub koncentratory paraboliczne.

Przykładowy reaktor zgazowania wykorzystujący skoncentrowaną wiązkę promieniowania słonecznego uzyskiwaną przy użyciu koncentratora parabolicznego pokazano na rysunku 4.



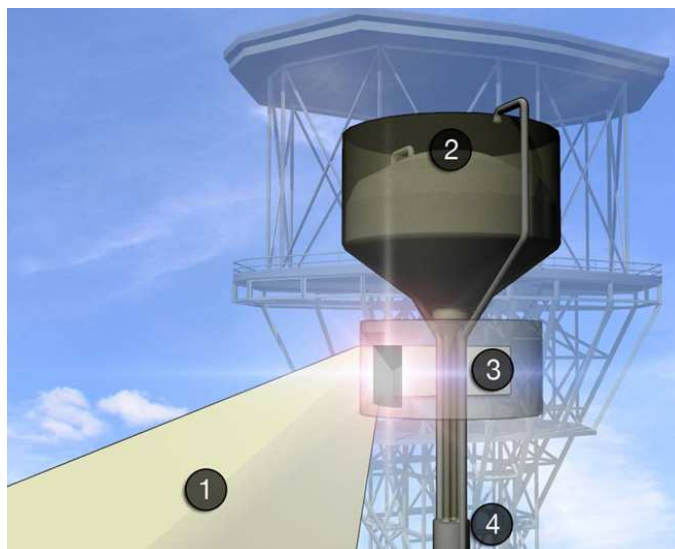
Rys. 4. Schemat przykładowego reaktora zgazowania solarnego
Fig. 4 Schematic diagram of the solar gasifier

Przedstawiony na rysunku 4 reaktor składa się z dwóch komór oddzielonych płytką grafitową powlekaną SiC.

Górna komora wyposażona w okienko kwarcowe pełni funkcję absorbera promieniowania słonecznego, niższa natomiast stanowi przestrzeń reakcyjną.

Głównym zadaniem oddzielającej te przestrzenie płytki jest wyeliminowanie kontaktu między kwarcowym okienkiem a reagentami i produktami reakcji, co zapobiega osadzeniu się cząstek i skraplających się gazów zapewniając czystość okienka podczas pracy, umożliwia także jednorodne ogrzewanie złoża[8].

Sposób działania technologii zastosowanej w wieży słonecznej pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Reaktor zgazowania na wieży słonecznej [9],
Fig. 5. Gasifier on the solar tower [9]

Promieniowanie słoneczne odbite od odpowiednio ustawionych na ziemi luster otaczających wieżę zostaje skoncentrowane na jej szczycie gdzie umiejscowiony jest reaktor zgazowania (1). Drobno zmielona biomasa dostarczana jest na wieżę przy pomocy instalacji pneumatycznej (2). Zgazowanie zachodzi podczas przechodzenia biomasy przez strefę reakcji o temperaturze wynoszącej 1300°C (3).

Uzyskiwany tą metodą syngaz kierowany jest rurami (4) do biorafinerii gdzie służy jako surowiec do produkcji paliw płynnych [9].

Zastosowany system pozwala przy utrzymaniu temperatury w zakresie od 1100 do 1300°C na ograniczenie zawartości smoły w gazie poniżej 200 mg/Nm³ [10].

Do innych, niewymienionych tutaj metod zgazowania biomasy można zaliczyć: rozpuszczanie biomasy w ciekłych metalach, zastosowanie stopionych soli czy wykorzystanie promieniowania mikrofalowego, chociaż te technologie są na razie w fazie koncepcji czy początkowych prób eksperymentalnych.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione przykłady nowych technologii zgazowania świadczą o ciągłym rozwoju tej znanej od dawna metody konwersji paliw. Prowadzone obecnie badania nakierowane są przede wszystkim na uzyskanie gazu wysokiej jakości co umożliwi coraz szersze jego stosowanie. Istotnym wyzwaniem są warunki stawiane przez generatory pracujące w zintegrowanych układach energetycznych.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej WEiP, AGH „Badania uwarunkowań zrównoważonego rozwoju energetycznego”

6. LITERATURA

- [1] Ściążko M., Zieliński H. i inni. Termochemiczne przetwórstwo węgla i Biomasy. Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zabrze – Kraków 2003
- [2] Basu P. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Academic Press 2010
- [3] Milne T.A., Evans R.J., Abatzoglou N, Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation, and Conversion, raport NREL/TP-570-25357, National Renewable Energy Laboratory, 1998
- [4] Karellasa S., Karla J., Kakarasb E.; An innovative biomass gasification process and its coupling with microturbine and fuel cell systems, *Energy* 33 (2008) 284–291
- [5] Van Oost G., Hrabovsky M., Kopecky V., Konrad M., Hlina M., Kavka T., Chumak A., Beeckman E., Verstraeten J. Pyrolysis of waste using a hybrid argon–water stabilized torch. *Vacuum* 80 (2006) 1132–1137
- [6] Shaukat S.S. Progress in Biomass and Bioenergy Production, InTech 2011
- [7] Piatkowski N., Wieckert Ch., Steinfeld A. Experimental investigation of a packed-bed solar reactor for the steam-gasification of carbonaceous feedstocks. *Fuel Processing Technology* 90 (2009) 360–366
- [8] Gordillo E.D., Belghit A. A bubbling fluidized bed solar reactor model of biomass char high temperature steam-only gasification. *Fuel Processing Technology* 92 (2011) 314–321
- [9] Materiały firmy Sundrop Fuels Inc., <http://www.sundropfuels.com/images/partnerenlarge.jpg>,
- [10] Perkins et al.; System and methods for an integrated solar driven chemical plant, United States Patent Application Publication, 2010

RECENT BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES FOR INTEGRATED POWER GENERATION SYSTEMS

SUMMARY

This paper provides a review of recent and future technologies of biomass gasification for integrated power systems. The widely recognised importance of renewable energy sources and the need for using high quality gas in most potential applications has added impetus for the creation and development of advanced biomass gasification processes.

Using biomass gasification processes in power engineering is allowing the possibility to build an alternative energy systems based on gas turbines, Stirling engines or fuel cells.

The technologies described in this paper are plasma gasification, solar gasification and a gasification system with heatpipes.

Michał URUSZCZAK, dr inż. arch.

Uniwersytet Rolniczy
Katedra Gospodarki Przestrzennej i Architektury Krajobrazu
ul. Balicka 239,
e-mail: muruszcza@op.pl

ZABYTKOWE ZAŁOŻENIE REZYDENCJONALNO-OGRODOWE W UDORZU. STAN OBECNY I PERSPEKTYWY REWALORYZACJI

STRESZCZENIE

Praca prezentuje obraz parku dworskiego położonego we wsi Udórz, w województwie małopolskim. Przedstawione są dzieje parku na tle historii okolicy, jak też niekorzystne przemiany jakie w nim nastąpiły po drugiej wojnie światowej. Przedstawiona koncepcja rewaloryzacji, wraz z przeprowadzoną analizą drzewostanu, posłużyć może jako rodzaj wytycznych projektowych dla przyszłych działań, na rzecz ratowania udorskiego zabytku sztuki ogrodowej.

1. WPROWADZENIE

Miejscowość Udórz położona jest na zachodnim skraju gminy Żarnowiec, należącej do powiatu zawierciańskiego. Zajmuje północno-wschodni obszar województwa śląskiego, granicząc z województwem świętokrzyskim i małopolskim. Ponadto wieś leży w obrębie Parku Krajobrazowego Orlich Gniazd, wśród pól uprawnych, granicząc od południowego-zachodu z dużym kompleksem leśnym, gdzie zlokalizowane są ruiny zamku (strażnicy) z XIV/XV wieku.

Rzeka Udorka, płynąca u podnóża wspomnianych ruin i kompleksu leśnego na terenie wsi Udórz, tworzy rozlewisko. Stanowi ono element kompozycji krajobrazowej, będąc ukrytą granicą opracowywanego założenia parkowego.

2. STAN BADAŃ

Zakres przestrzenny parku udorskiego obejmuje powierzchnię 4,5 hektara. Został wpisany do rejestru zabytków w grudniu 1981 roku pod numerem 1273/81. Powstał na przełomie XVIII i XIX wieku, będąc rozszerzony do obecnej wielkości jeden wiek później.

Na terenie zespołu dworskiego, prowadzonych było szereg badań, sporządzone zostały takie opracowania jak *Studium historyczno-przestrzenne parku podworskiego w Udorzu* pod kierunkiem A.Celichowskiego [1991], wykonane na zlecenie Zarządu Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych Województwa Katowickiego, oraz *Badania archeologiczno-architektoniczne relikwów dworu w Udorzu* autorstwa W.Długoszewskiej i J.Pietrzaka [2001]. Prace przeprowadzono na zlecenie Śląskiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków.

3. ZABYTKOWE ZAŁOŻENIE REZYDENCJONALNO-OGRODOWE W ŚWIETLE HISTORYCZNYCH UWARUNKOWAŃ UDORZA

Pierwsza wzmianka pisana o wsi Udórz pochodzi z roku 1232. Dotychczasowy jej właściciel, przekazał wieś i dobra klasztorowi miechowskiemu. Ponad sto lat później miejscowość z rąk Bożogrobców, przeszła w posiadanie rodziny Długoszów herbu Wieniawa. Naukowcy przypuszczają, że w tym właśnie czasie mogła zostać rozpoczęta budowa wspomnianego we wstępie obiektu murowanego nad rzeczką Udorką [Guerquin 1974]. Brak wzmianek w źródłach pisanych, może dowodzić nie ukończenia wspomnianego obiektu, podobnie jak na to wskazuje brak śladów archeologicznych, mogących świadczyć o stałej w tym miejscu, obecności ludzi [Uruszczak 2003].

Na przełomie XV i XVI wieku miejscowość weszła w skład klucza Pileckiego i pozostała własnością rodziny Pileckich do połowy XVI wieku.[Długoszewska, Pietrzak 2001] Poważne zmiany miały miejsce w drugiej połowie XVIII wieku, a więc w okresie powstania omawianego parku, kiedy wsią władało kilku kolejnych właścicieli. Walewscy herbu Kolumna, Komornicy, Ostaszewscy [Semkowicz 1939].

W źródłach można odnaleźć informacje o stacjonowaniu w Udorzu wojsk późniejszego króla pruskiego Fryderyka II. Miało to miejsce w 1794 roku, przed bitwą pod Szczekocinami[Celichowski 1991]. Z tego okresu zachowały się fundamenty dworu, spichlerz oraz najstarsze okazy dębów szypułkowych i lip szerokolistnych. Rozmieszczenie najstarszego drzewostanu wskazuje, że park w obecnych granicach musiał istnieć już w XVIII wieku. Rodzi się jednak szereg wątpliwości czy jego początku nie szukać nawet w XVII wieku, kiedy to w miejscu później rozbudowywanego w kilku fazach dworu murowanego stał taki obiekt, ale drewniany, o czym świadczą badania wykopaliskowe [Długoszewska, Pietrzak 2001].

Swobodny sposób rozmieszczenia drzew, najstarszej ich grupy wiekowej, podkreśla nieregularną kompozycję założenia. Wiek tych okazów (lip szerokolistnych i dębów szypułkowych) dobiega prawie dwustu lat. Dzięki ich rozmieszczeniu można przypuszczać, że Aleksander Moes (ostatni ziemiański właściciel tego terenu), kupując ów majątek w 1890 roku, zastał park w obecnych granicach, wraz z dworem i folwarkiem jako integralną częścią założenia [Wiśniewski 1933]. Zapewne nowi właściciele przystąpili do przebudowy samego parku. Jego zasięg zachowany został w dawnych granicach, prezentując swobodny układ krajobrazowy. W tym okresie główne ciągi piesze zostały podkreślone okazami grabu pospolitego.

Cechy regularnie kształtowanej kompozycji parku, posiada średnia grupa wiekowa drzewostanu, datowana na lata 1890-1939. Przykłady można dostrzec w północno-wschodniej części parku, a stanowią je zachowane, wspomniane aleje grabowe.

W przypadku najmłodszej grupy wiekowej drzew, ich układ jest wyraźnie zróżnicowany. Wśród regularnie rozmieszczonych nasadzeń, górują topole otaczające folwark. Pochodzą one najprawdopodobniej z akcji zalesiania nieużytków, prowadzonych głównie w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Znajdują się na terenie całego założenia, a znaleźć tu można m.in. jesiony wyniosłe, wiązy górskie, robinie białe, olchy szare i czarne, jak też wiele innych gatunków. Brak zabiegów pielęgnacyjnych doprowadził do zacierania się dawnego układu kompozycyjnego parku. Samosiewy porastają każdą wolną przestrzeń, w tym mniej użytkowane ścieżki i wolne jeszcze polany.

Park dworski w Udorzu, założony w XVIII wieku, z licznymi cennymi okazami drzew, zachowany w dawnych granicach stanowi cenną pamiątkę historyczną. Pomimo swego starszego rodowodu, przedstawia przykład XIX-wiecznego założenia naturalistycznego. Jest to wynikiem kolejnych etapów przekształceń parku. Układ wiąże ściśle ze sobą powiązane: park, folwark, stawy użytkowane gospodarczo, oraz rozległy widokowo, otaczający je krajobraz. Pomimo silnego zaniedbania drzewostanu założenia, możliwe jest odtworzenie dawnego układu. Duża ilość zachowanego starodrzewia sprawia, że park w Udorzu może stać się piękną pamiątką XIX-wiecznej sztuki ogrodowej regionu. Powyższy cel może zostać osiągnięty dopiero po realizacji kompleksowej rewaloryzacji założenia



*Fot 1,2 Widok jezior i drzewostanu parku w Udorzu. Fot.M.Rams
Photo 1,2. View on the Lake and the tree stand of Udorz park. Photo M.Rams*

4. PROJEKT REWALORYZACJI PARKU

Uwzględniając dużą wartość historyczną założenia, sporządzone opracowanie posiada charakter projektu rewaloryzacji, przy maksymalnym wykorzystaniu walorów przyrodniczych i kompozycyjnych terenu.

Wykonany projekt rozstrzyga generalne zasady kształtowania przestrzeni parkowej, w nawiązaniu do przyjętych wytycznych stylistycznych, a co za tym idzie odtworzonego stylu kompozycyjnego. Założono dokonanie powiązań kompozycyjno-przestrzennych między relikdami dworu, (który powinien zdaniem autora zostać odtworzony) zabytkowymi obiektami folwarku, jak i sąsiadującym od południa terenem grodziska.

Dążąc do uzyskania historycznej kompozycji założenia, odtworzono naturalistyczny charakter parku, korzystając z uwag, spostrzeżeń i analiz teoretyków i historyków sztuki ogrodowej takich jak: E.Jankowski [1888], G.Ciołek [1978], L.Majdecki [1993], J.Bogdanowski [1999].

Elementy kompozycyjne projektu rewaloryzacji, ukształtowano przyjmując następujące założenia:

- a. Podkreślenie przebiegu głównych osi kompozycyjnych.
- b. Objęcie całego założenia układem komunikacyjnym.
- c. Odtworzenie wnętrz parkowych i sektorów widoczności na otaczający krajobraz.
- d. Odtworzenie obiektów małej architektury ogrodu, jak też budynku dworu w kolejnym etapie

Przywrócenie założeniu XIX-wiecznej kompozycji, opiera się głównie na danych zawartych w literaturze ogólnej. Szczególna rola zieleni w kompozycji parku, wynika z dwójakiej zależności. kompozycji. Rozwój parku natomiast, wpływa na samą kompozycję założenia. Z jednej strony przedstawia trendy kształtujące sztukę ogrodową w XIX wieku, z drugiej ujawnia walory materiału roślinnego, jako tworzywa kompozycji. Fakty te przemawiają zatem, za niezwłocznym przeprowadzeniem prac w obrębie drzewostanu, w celu zachowania wartości historycznych jakich jest obrazem.



Rys 1. Projekt rewaloryzacji Parku w Udorzu (rys.M.Rams)
Fig. 1. The Project of restoration of the park In Udorz

Zlokalizowane na terenie parku runo nie jest pełne, a rodzaj gatunków i ich rozmieszczenie w części przypadków jest niewłaściwe. Poszczególne rośliny okrywowe już istniejące, stanowiące składnik runa powinny służyć za podstawę do dalszego ich rozprzestrzeniania, w celu uzupełnienia braków. W zakresie drzewostanu, projekt rewaloryzacji zakłada:

- a. usunięcie przypadkowych zadrzewień powojennych i samosiewów nie wpisujących się w układ kompozycyjny
- b. odtworzenie dawnego układu wysokiej zieleni, z otwartymi wnętrzami parkowymi, z uwzględnieniem panoram parku i okolicy
- c. wymianę osobników, których stan zdrowotny nie daje wielkich szans na długi żywot
- d. przeprowadzenie dodatkowych prac, związanych ze sporządzoną gospodarką drzewostanem, w obrębie poszczególnych osobników.

5. PODSUMOWANIE. WNIOSKI KOŃCOWE

Ratunkiem dla zachowania zabytkowych założeń parkowych (parkowo-rezydencjonalnych) jest znalezienie dla nich właściwej funkcji, zbliżonej do historycznej. Zwracana jest szczególna uwaga na tradycje miejsca, a dla dobra obiektu jego przestrzeń, przekazywana powinna być jednemu właścicielowi, bez dokonywania podziałów przestrzennych. Niewłaściwe jest aby na terenie zabytku wprowadzona została nowa oderwana od tradycyjnej funkcja, prowadzi to bowiem przeważnie do jego degradacji i ruiny[Balińska 1996]. Zatem i w Udorzu, zespół dwór, parki folwark musi być potraktowany jako integralna całość.

Wieś Udórz posiada cały szereg obiektów o znaczeniu historycznym, z zamkiem średniowiecznym włącznie[Uruszczak 2009], co stawia omawiany zabytek w wyjątkowym miejscu. Wysoka wartość historyczna, oraz atrakcyjne tereny Jurajskiego Parku Krajobrazowego uzasadniają utworzenie na terenie wsi zabytkowego zespołu krajobrazowego. Zespół ten, powinien zostać poddany zabiegom rewaloryzacyjnym i szczególnej ochronie, a zalecaną odnowę parku dworskiego, należy traktować jako jeden z fragmentów większej aranżacji krajobrazowej.

2. LITERATURA

- [1] Balińska G. *Racot. Przemiany i zagrożenia zespołów podworskich*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. 1996. Wrocław
- [2] Bogdanowski J. *Style ,kompozycja i rewaloryzacja w polskiej sztuce ogrodowej. Wybrane problemy*. Zakład Graficzny Politechniki Krakowskiej. 1999. Kraków
- [3] Celichowski A. *Studium historyczno-przestrzenne parku podworskiego w Udorzu*, 1991, Łódź.
- [4] Ciołek G. *Ogrody Polskie* Arkady. 1978. Warszawa
- [5] Długoszewska W. Pietrzak J. *Badania archeologiczno-architektoniczne reliktyw dworu w Udorzu*, 2001, Łódź, Piotrków Trybunalski
- [6] Guerquin B. *Zamki w Polsce* Arkady 1974 Warszawa
- [7] Jankowski E. *Ogród przy dworze wiejskim*, 1888, Warszawa
- [8] Majdecki L. *Ochrona i konserwacja zabytkowych założeń ogrodowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1993, Warszawa

- [9] Semkowicz W. *Materiały do słownika historyczno-geograficznego w dobie sejmu czteroletniego (1788-1792)*, 1939, Kraków
- [10] Uruszczak M. *Czternastowieczne wieże strażnicze Jury Krakowsko-Częstochowskiej w świetle badań nad sztuką obronną w czasach Kazimierza Wielkiego.*[w:] *Czasopismo Prawno-historyczne* tom LV, z 2, s.187-210, 2003 Poznań
- [11] Uruszczak M. *Zamki w Lelowie i Żarnowcu- świadkowie rozkwitu i recesji dwóch miast na prawie magdeburskim*, [w:] *Czasopismo Prawno-historyczne*, tom LXI, z 1, s.231-240, 2009, Poznań
- [12] Wiśniewski J. *Historyczny opis kościołów, miast, zabytków, pamiątek w olkuskim*, 1993, Wyd. Mariówka Opoczyńska

HISTORIC LAYOUT OF A RESIDENCE AND GARDEN IN UDORZ. CURRENT STATE AND THE PROSPECTS OF RASTORATION

The work presents the view on a manor park In the village of Udorz In the małopolski voivodeship.

In includes the history of park and its surrounding, as well as the unfarouvable changes that occurred in the time of World War II. The work also proposes the concept of restoration and it also includes the current analysis of the stand. It could be used as guidelines for the future activities regarding the rescue of the Udorz's monument of the garden art.

Anna WACHOWICZ-PYZIK, mgr inż.

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Surowców Energetycznych
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
e-mail: amwachowicz@poczta.fm

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA INSTALACJI SOLARNEJ DLA BASENU KĄPIELOWEGO

STRESZCZENIE

Stan środowiska naturalnego pogarsza się. Z tego względu nie dziwi fakt, że inwestorzy coraz częściej sięgają po odnawialne źródła energii. Doskonałym przykładem są instalacje solarne, które wykorzystują energię słoneczną. W artykule przedstawiono opis koncepcyjnego projektu instalacji solarnej dla basenu TOSiR w Tarnowie. Celem inwestycji jest wspomaganie przygotowania ciepłej wody użytkowej. Przeanalizowano koszty uzyskania ciepłej wody użytkowej i wody technologicznej oraz opisano przeprowadzone badania mające na celu określenie dobowego zapotrzebowania basenu na energię cieplną. Na koniec zaprezentowano wyniki analizy ekonomicznej oraz obliczono okres zwrotu inwestycji uwzględniając dwa warianty: pierwszy przy 80% dofinansowaniu oraz drugi bez dofinansowania.

1. WPROWADZENIE

W obliczu ciągłego wzrostu światowego zapotrzebowania na energię oraz pogarszającego się stanu środowiska naturalnego spowodowanego wykorzystywaniem konwencjonalnych źródeł energii takich jak węgiel, gaz ziemny, czy ropa naftowa, gospodarka coraz częściej sięga do zasobów energii odnawialnej, głównie energii : słonecznej, wodnej, wiatrowej, czy też pochodzącej z wnętrza ziemi energii geotermalnej. Szczególnie szybki rozwój odnawialnych źródeł energii można zauważyć w krajach należących do Unii Europejskiej, gdyż w sposób priorytetowy traktuje tę część gospodarki. Przykładem może być Dyrektywa 2009/28/WE, która nakłada obowiązek wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii do 20% całkowitego zużycia energii na obszarze Unii Europejskiej. Oznacza to dla Polski wzrost udziału odnawialnych źródeł energii do 15 % do końca roku 2020 [1].

2. PROJEKT INSTALACJI SOLARNEJ DLA BASENU TOSIR W TARNOWIE.

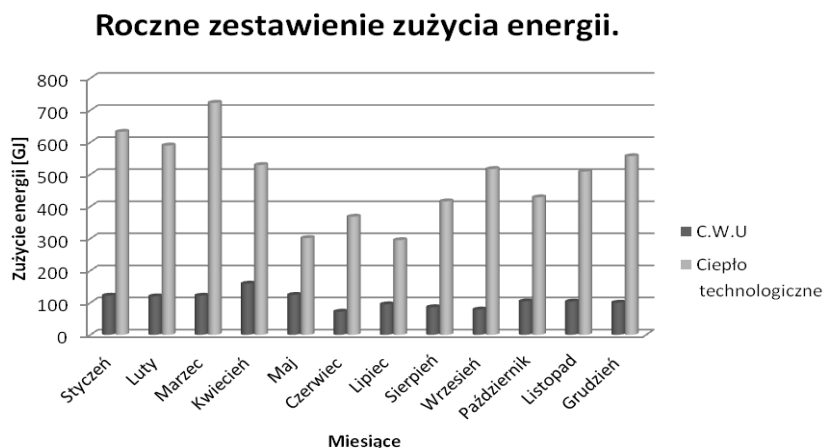
Pływalnia TOSiR, dla której opracowano wstępny projekt instalacji słonecznej zlokalizowana jest w Tarnowie przy ul. Piłsudskiego 30. Głównym celem zaprojektowanej instalacji było wspomaganie przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) natomiast nadmiar energii miał być wykorzystywany do podgrzewania wody w basenach znajdujących się na terenie krytej pływalni TOSiR. W momencie tworzenia projektu obiekt był w trakcie rozbudowy. Dane dotyczące nie istniejącej części zakładane były w oparciu o projekty i wyliczenia pochodzące od inwestora obiektu. Charakterystyka części istniejącej budynku oraz nowo dobudowywanej zamieszczona jest w tabeli 1[2].

Tabela 1 Charakterystyka krytej pływalni TOSiR w Tarnowie.

Table 1. Characteristic of the indoor swimming pool TOSiR in Tarnow.

	Powierzchnia lustra wody [m²]	Głębokość [m]	Temp. [°C]
Budynek istniejący			
Basen pływacki	312,5	0,8-0,5	26-28
Basen rekreacyjny	152,5	0,5-1,2	28-30
Wanna z hydromasażem	5	0,8	34-36
Budynek dobudowywany			
Basen rekreacyjny	313	0,8-1,2	28-30
Basen dla dzieci	24,5	0,4	30-32
Wanny z hydromasażem	15	0,8	34-36
Basen schładzający	3,3	1,3	12-15

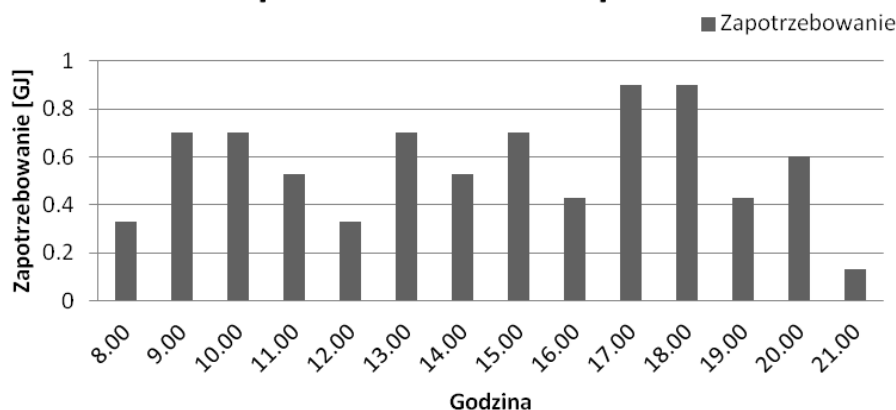
Na podstawie bilansu zużycia energii w roku 2009 sporządzonego przez MPEC w Tarnowie [3] określono wielkość zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową i wodę technologiczną basenu - rys.1 . Całkowite zapotrzebowanie obejmujące ciepłą wodę użytkową oraz wodę technologiczną (podgrzewającą wodę w basenie) dla szczytowego zapotrzebowania mocy cieplnej wyniosło około 1460 kW, zakładając zapotrzebowanie rzędu 613 kW dla części istniejącej i 847 kW dla części dobudowywanej.



*Rys. 1 Roczne zestawienie zużycia energii w 2009 roku.
Fig.1 The annual energy consumption in 2009 year.*

Na podstawie sporządzonego wykresu widoczne jest duże zróżnicowanie zapotrzebowania na energię w zależności od pory roku zarówno dla c.w.u jak i ciepła technologicznego. W okresie letnim od maja do sierpnia zapotrzebowanie na moc ciepłą wyraźnie maleje i wynosi około 50 GJ/miesiąc, natomiast w okresie zimowym wzrasta i utrzymuje się powyżej 100 GJ/miesiąc. Zależność ta charakteryzuje zarówno zapotrzebowanie na c.w.u jak i ciepło technologicznego. Przy czym wskaźnik dla ciepła technologicznego jest wyższy od ilości ciepła na potrzeby c.w.u. Uwagę zwraca również wartość zapotrzebowania w marcu, które przekroczyło 700 GJ, co związane było z awarią basenu. Dodatkowo aby określić dobową charakterystykę zapotrzebowania dla obiektu przeprowadzono badania, które miały na celu określenie rozkładu zapotrzebowania przy uwzględnieniu ilości osób korzystających z basenu. Badania prowadzono przez trzy miesiące, od marca do maja 2010 roku. Wiązało się to z faktem, iż obiekt od marca nie korzystał z dodatkowego centralnego ogrzewania, które mogłoby wpłynąć na wyniki pomiarów. Węzeł cieplny dla ciepłej wody i centralnego ogrzewania nie był podzielony na osobne węzły. Pomiary polegały na odczycie parametrów tj.: wielkości zużytej energii, temperatury na wejściu i wyjściu wody z zasobnika, zużycia mocy, prędkości i wielkości przepływu wody, stanu wodomierza oraz ilości osób korzystających z obiektu. Badania przeprowadzono przez trzy dni w miesiącu (sobotę, niedzielę i poniedziałek), co godzinę przez cały czas, gdy obiekt był otwarty.

Zapotrzebowanie ciepłne



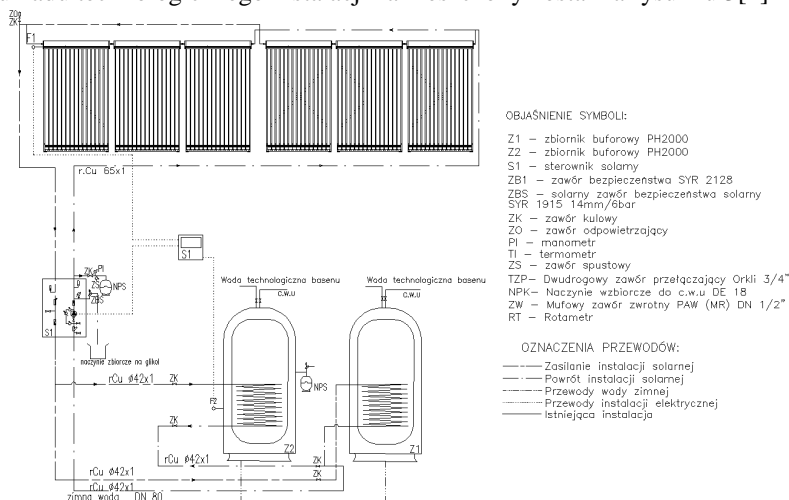
Rys. 2 Wielkość zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową 30.05.2010 roku na basenie TOSiR.

Fig. 2 The volume of demand for hot water, on 30.05.2010 in the swimming pool TOSiR.

Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono dobowe zestawienia zużycia energii, zapotrzebowania (rys.2) oraz ilości osób korzystających z obiektu dla poszczególnych dni. Największe zapotrzebowanie na ciepło (a tym samym wzrost zużycia energii cieplnej) przypadło w godzinach od 9 do 11 oraz pomiędzy 17 a 18. Pokrywa się to ze wzrostem ilości osób korzystających w tych godzinach z basenu [4].

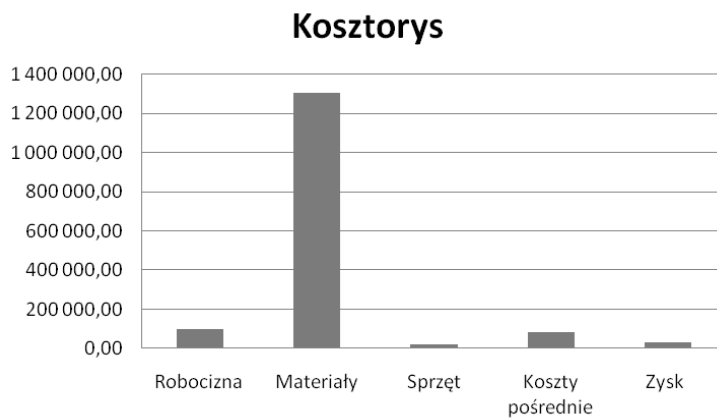
Biorąc pod uwagę powyższe dane oraz fakt, iż kryta pływalnia nie jest obiektem sezonowym, ale użytkowana jest przez cały rok zaprojektowano solarną instalację złożoną z 270 kolektorów próżniowo-rurowych zlokalizowanych na ziemi w 3 niezależnych od siebie rzędach, po 90 kolektorów każdy wzdłuż południowej granicy działki należącej do basenu TOSiR o łącznej powierzchni 604,8 m² w tym 324 m² powierzchni czynnej. Układ hydrauliczny instalacji oparto o grupy złożone z 3 kolektorów połączonych szeregowo. Umieszczenie kolektorów wiązało się głównie ze słabą konstrukcją dachu, która nie przeniosłaby ciężaru tak dużej instalacji oraz faktem, iż wytypowana działka skierowana była na południe, co w przypadku tego typu instalacji było sprawą priorytetową. Dodatkowo zasugerowano wykorzystanie dodatkowej konstrukcji wsporczej, która uniemożliwiłaby wzajemne zacienienie kolektorów oszczędzając przy tym przestrzeń. Moc szczytowa instalacji przy wykorzystaniu kolektorów próżniowo rurowych wyniosła około 261 kW, co umożliwiłoby 40 % procentowe pokrycie rocznego zapotrzebowania energii dla potrzeb c.w.u. Regulacja instalacji solarnej oparta została o rotametry dla przepływu 2-15 l/min, które umieszczone zostały przed każdym zestawem złożonym z 3 kolektorów. Wymiana ciepła między obiegiem solarnym, a buforowym oraz obiegiem buforowym, a obiegiem c.w.u. i wody technologicznej oparta została o rurowe wymienniki ciepła. Czynnikiem grzewczym wykorzystywanym w obiegu pośrednim była woda uzdatniana, a czynnikiem

pośrednim instalacji, z uwagi na dużą powierzchnię całkowitą oraz zakaz pośredniego kontaktu wody pitnej z czynnikiem solarnym była mieszanina wody z 30% glikolem powszechnie stosowana w tego typu instalacjach, z powodu dużej pojemności buforowej. Schemat układu technologicznego instalacji zamieszczony został na rysunku 3[4]



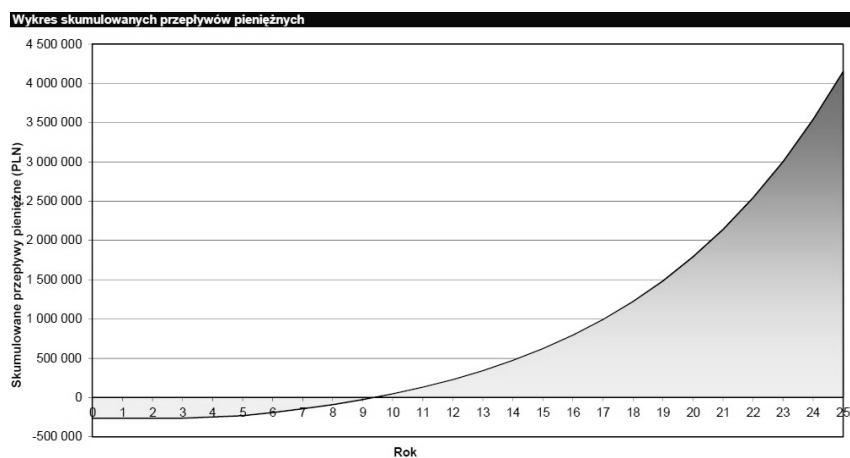
Rys. 3 Konceptyjny model instalacji solarnej dla basenu TOSIR w Tarnowie
 Fig. 3 Conceptual model for a solar pool TOSIR in Tarnow

Sporządzono również szczegółowy kosztorys projektowanej instalacji słonecznej. Poniżej na rys. 4 zaprezentowano zestawienie kosztów dla poszczególnych elementów instalacji.



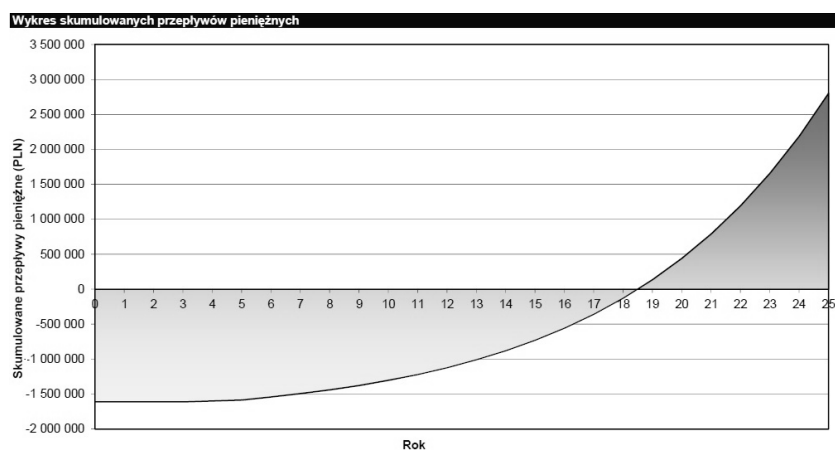
Rys. 4 Zestawienie kosztów dla poszczególnych elementów wchodzących w skład projektowanej instalacji solarnej
 Fig. 4 Summary of costs for individual items included in the proposed solar installation

Całkowity koszt inwestycji według opracowanego projektu wyniesie około 1,5 mln złotych, w tym przeszło połowa kosztów związana będzie z cenami materiałów niezbędnych podczas budowy instalacji solarnej. Przeprowadzono również analizę zwrotu inwestycji dla dwóch przypadków, zakładając koszt energii w wysokości 24 zł za 1 GJ energii przy 15% wzroście cen w nadchodzących latach. W pierwszym modelu założono 80% dofinansowanie pochodzące z Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego - finansowanego ze środków europejskich w latach 2007-2013 w Małopolsce [5] Rysunek 5 przedstawia okres zwrotu inwestycji, który dla pierwszego przypadku wyniósł około 9,5 lat.



Rys. 5 Wykres skumulowanych przepływów pieniężnych (przy uwzględnieniu 80 % dofinansowania).

Fig.5 Graph of cumulative cash flow (taking into account the 80% funding).



Rys. 6 Wykres skumulowanych przepływów pieniężnych (bez uwzględnienia dotacji).

Fig.6 The graph of cumulative cash flow (excluding grants).

W drugim przypadku (rys.6) nie zakładano żadnych form dofinansowania, w związku z czym okres zwrotu wzrósł do około 18 lat. W przypadku tak dużej instalacji solarnej nie było to złym wynikiem biorąc pod uwagę, że po 25 latach działalności instalacji inwestycja zwróciła by się niemal dwukrotnie [4].

3. PODSUMOWANIE

Inwestycja wiązała się ze znacznym obniżeniem kosztów opłat za energię oraz zmniejszeniem emisji substancji toksycznych tj. CO₂ oraz NO_x, które wydzielają się podczas spalania paliw konwencjonalnych. Przedstawiona instalacja solarna pomimo tego pozostała w fazie projektu. Biorąc pod uwagę fakt, iż tak duża inwestycja w odnawialne źródła energii mogłaby umożliwić uzyskanie w przyszłości licznych odliczeń finansowych związanych z wykorzystaniem źródeł odnawialnych pozostaje mieć nadzieje, że zostanie ona zrealizowana w przyszłości.

4. LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r, Dziennik Urzędowy UE, 2009.
- [2] Dane techniczne basenu TOSiR w Tarnowie, Projekty techniczne i architektoniczne basenu TOSiR w Tarnowie udostępnione przez Dyrektora obiektu, 2010.
- [3] Zestawienie kosztów energii w roku 2009, Materiały udostępnione przez przedstawiciela Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej S.A. w Tarnowie, 2010.
- [4] Wachowicz A. "Konceptyjny projekt instalacji solarnej dla basenu TOSiR w Tarnowie." *Praca magisterska*. Biblioteka Wydziałowa Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków, (nie opublikowana), 2011.
- [5] Małopolski Regionalny Program Operacyjny na lata 2007-2013, Załączniki Nr 1 do Uchwały Nr 780/07 Zarządu Województwa Małopolskiego, 2007.

POSSIBILITY OF APPLICATION SOLAR INSTALLATION FOR THE SWIMMING POOL TOSIR IN TARNOW.

SUMMARY

Due to deterioration of natural environment, global society is increasingly turning to renewable energy sources. An excellent example of its usage are solar installations. This paper presents conceptual design for a solar installation for swimming pool TOSIR in Tarnow city, designed mainly to support the preparation of hot water. Cost analysis of hot water and process water were presented, and also the results of research conducted to identify the daily demand for thermal energy for the swimming pool. Economic analysis in two variants with and without payback period of the funding were calculated.

Henryk WACHTA, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: hwachta@prz.edu.pl

**KREOWANIE PRZESTRZENNEGO POSTRZEGANIA
OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH W OŚWIETLENIU SZTUCZNYM
NA PRZYKŁADZIE PARLAMENTU PROWINCJI ALBERTA
W KANADZIE**

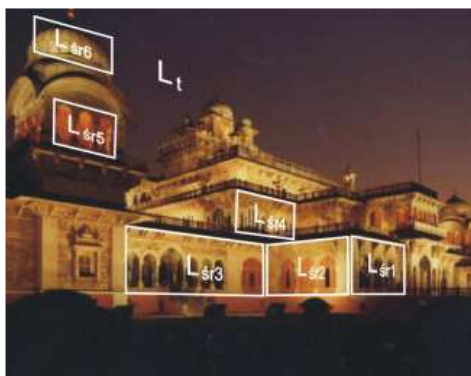
STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono możliwości wzmacniania przestrzennego postrzegania obiektów architektonicznych w porze nocnej za pośrednictwem oświetlenia iluminacyjnego. Wstępnie omówiono środowiskowe (związane z oświetleniem naturalnym) przesłanki korzystnego rozkładu plam świetlnych w przestrzeni. Następnie zaproponowano wykorzystanie wybranych zasad iluminacji do akcentowania formy geometrycznej obiektu zabytkowego. Wreszcie na przykładzie obiektu rzeczywistego – Parlamentu Prowincji Alberta w Edmonton, zilustrowano praktyczne wykorzystanie zasad iluminacji, poprawiających jego przestrzenne postrzeganie. Prace prowadzono na drodze symulacji komputerowych, wykorzystujących format IES modeli reflektorów oraz uzyskane w wyniku obliczeń świetlnych rozkłady przestrzenne luminancji na iluminowanych powierzchniach obiektu.

1. WPROWADZENIE

Dominującą cechą iluminacji (zewnętrznego oświetlenia dekoracyjnego) jest kreowanie estetycznego obrazu obiektu w porze nocnej [8],[11]. Inne, techniczne i oświetleniowe wskazania, odnoszące się do prawidłowego funkcjonowania iluminacji są ważne, jednak posiadają mniejszą rangę. Czynnikiem estetycznym bazuje na innym niż naturalne (quasi punktowe) oświetlenie słoneczne. Jest nim najczęściej wielopunktowa instalacja iluminacyjna o zróżnicowanych kierunkach nacelowania reflektorów na powierzchnie obiektu oraz miejscach ich montażu [2]. Wobec powyższego istnieje duża swoboda tworzenia gry światłocienia na elementach wystroju obiektu architektonicznego. Obok tej niewątpliwie ko-

rzystnej (nieskrępowanej) możliwości pracy projektowej istnieje równolegle ewentualność wzmocnienia lub osłabienia przestrzennego postrzegania obiektu (rys.1.)



Rys.1. Iluminacja punktowa Albert Hall Museum w Jaipur w Indiach [6]
Fig. 1. The punctual illumination of The Albert Hall Museum in Jaipur in India [6]

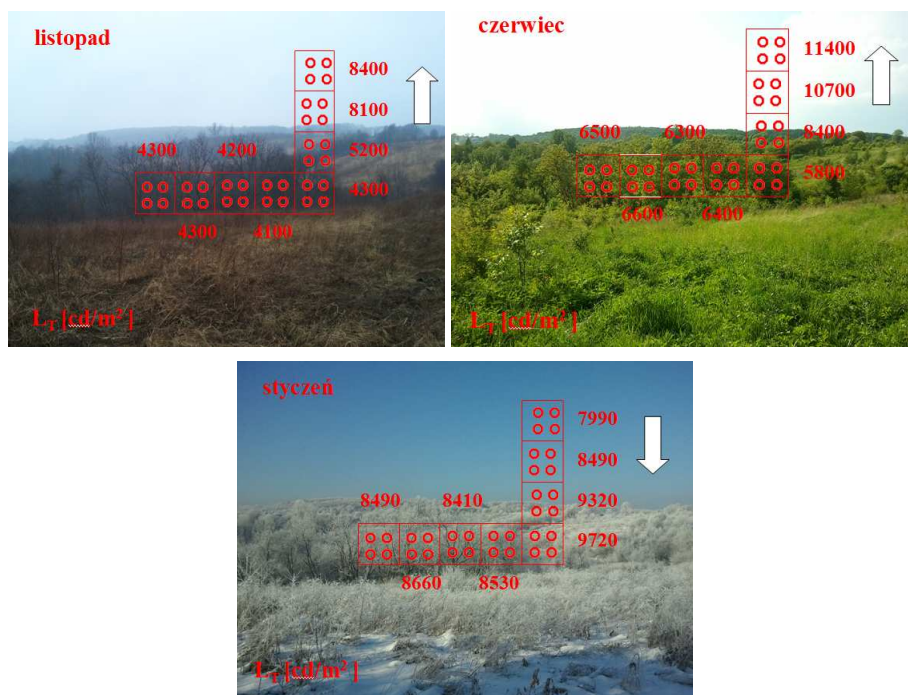
Dla wyodrębnionych powierzchni elewacji, związanych z różnymi grupami reflektorów, można uzyskiwać różne średnie wartości luminancji [3],[10]. Dla przedstawionego przykładu, niekorzystnym efektem optycznym byłoby np. takie samo rozświetlenie stref Lsr1 i Lsr4. Umowny obserwator mógłby dla przyjętego głównego – prostopadłego do frontonu kierunku obserwacji, postrzegać mylnie te dwa obszary jako jedną powierzchnię. To zdecydowanie wypaczałoby rzeczywistą geometrię obiektu oraz niekorzystnie wpływałoby na jego przestrzenne postrzeganie. Należy zatem poszukiwać możliwości luminancyjnego stopniowania akcentów świetlnych dla stref elewacyjnych - nie leżących w jednej płaszczyźnie odniesieniowej [7].

Proponuje się, dla rozpatrywanego przykładu, przyjęcie trzech relacji lokalizacyjnych powierzchni składowych elewacji: przemieszczenie powierzchni składowych w osi pionowej (rys.1.: Lsr1, Lsr4, Lsr5 oraz Lsr6 zgodnie z zasadą wzmacniania wysokości), przemieszczenie powierzchni składowych w osi poziomej (rys.1.: Lsr1 oraz Lsr3 zgodnie z zasadą wzmacniania głębi) oraz powierzchni do siebie prostopadłych (rys.1.: Lsr 1 oraz Lsr2). W dalszej, szczegółowej analizie, autor skoncentrował się na zasadzie wzmacniania głębi i wysokości [2],[8],[13],[14].

2. GŁÓWNE CECHY NATURALNEGO ŚRODOWISKA ŚWIETLNEGO

Źródeł przestrzennego postrzegania obiektów należy poszukiwać w środowisku oświetlenia naturalnego. Wynika to z faktu, iż aparat wzrokowy człowieka przystosowany jest głównie do aktywności w porze dziennej (widzenie fotopowe) [10],[12]. W tych warunkach, dla dobowego czasu analizy, obserwuje się znaczną dynamikę kierunkowości podania promieni słonecznych (kolinearnych), wynikających z biegu słońca po nieboskłonie (nieboskłon bezchmurny lub prawie bezchmurny występuje w Polsce średnio od 200 do 240 dni w roku). Tak więc nie należy oczekiwać utrwalenia się u obserwatora mechanizmów świetlnych związanych z dobowym ruchem słońca po nieboskłonie. Nieco

inaczej można analizować cechy środowiska świetlnego w rocznym czasie obserwacji (rys.2.)



Rys.2. Zmiany rozkładu luminancji środowiska naturalnego, oświetlonego światłem słonecznym, dla różnych pór roku

Fig. 2. The changes in schedule of natural environment luminance, lighted up with light of sun, at different seasons of the year

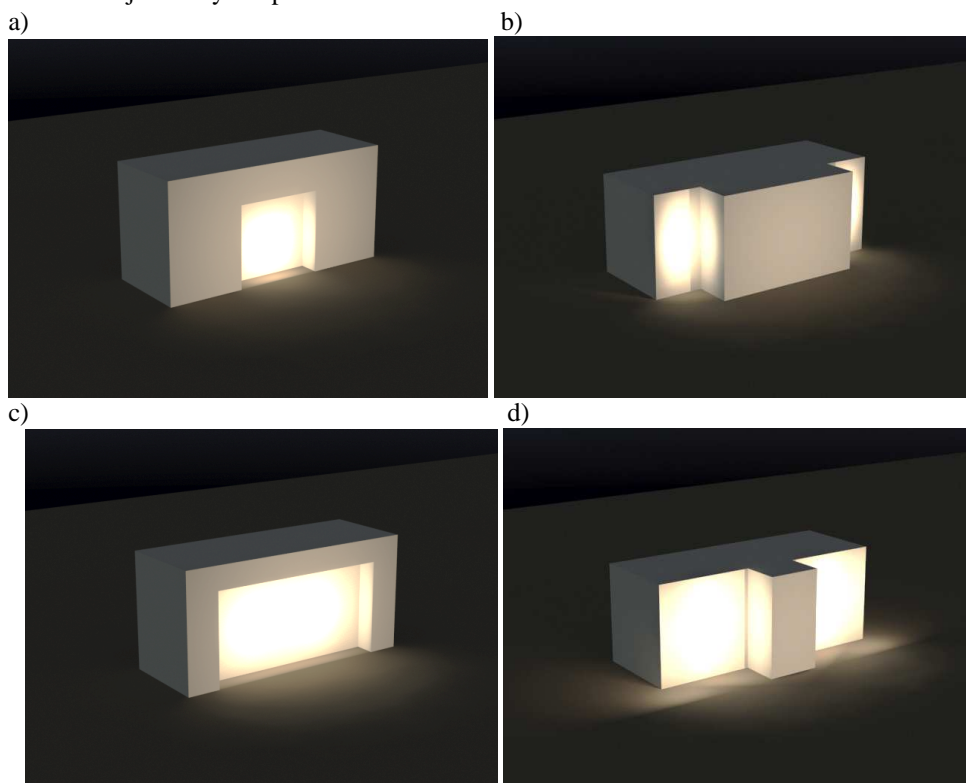
Łatwo zauważyć, iż naturalne środowisko świetlne, obejmujące nieboskłon i obszar leżący poniżej linii horyzontu, niezależnie od tego czy dotyczy nieba zachmurzonego (listopad) czy bezchmurnego (czerwiec), cechuje kierunkowość wzrostu średniej luminancji w osi pionowej od poziomu ziemi do nieboskłonu. Prowadzi to do wniosku, iż należy oczekiwać naturalnej skłonności obserwatorów preferowania iluminowania wyższych partii obiektów architektonicznych z wyższą średnią luminancją – zasada wzmocnienia wysokości. Oczywiście incydentalnie może zaistnieć krótki okres czasu w ciągu roku, gdy ten mechanizm wzmocnienia wysokości nie będzie odwzorowany – efekt odwrotny (rys.2. – styczeń).

Podobnie analiza bliższego i dalszego planu w obrębie horyzontu prowadzi do analogicznego wniosku: wraz ze wzrostem odległości obiektu od obserwatora należy oczekiwać wzrostu średniej luminancji obrazu – zasada wzmocnienia głębi. Główną rolę takiego rozstrzygnięcia należy przypisać nieprzejrzystości powietrza, która tworzy warunki optycznego rozjaśnienia obiektów oddalonych od punktu obserwacji oraz znaczny udział relatyw-

nie wyższej luminancji tła nieboskłonu otaczającego obiekt w małym kącie bryłowym – obiekty oddalone od obserwatora.

3. ZASADA WZMACNIANIA GŁĘBI W ARCHITEKTURZE

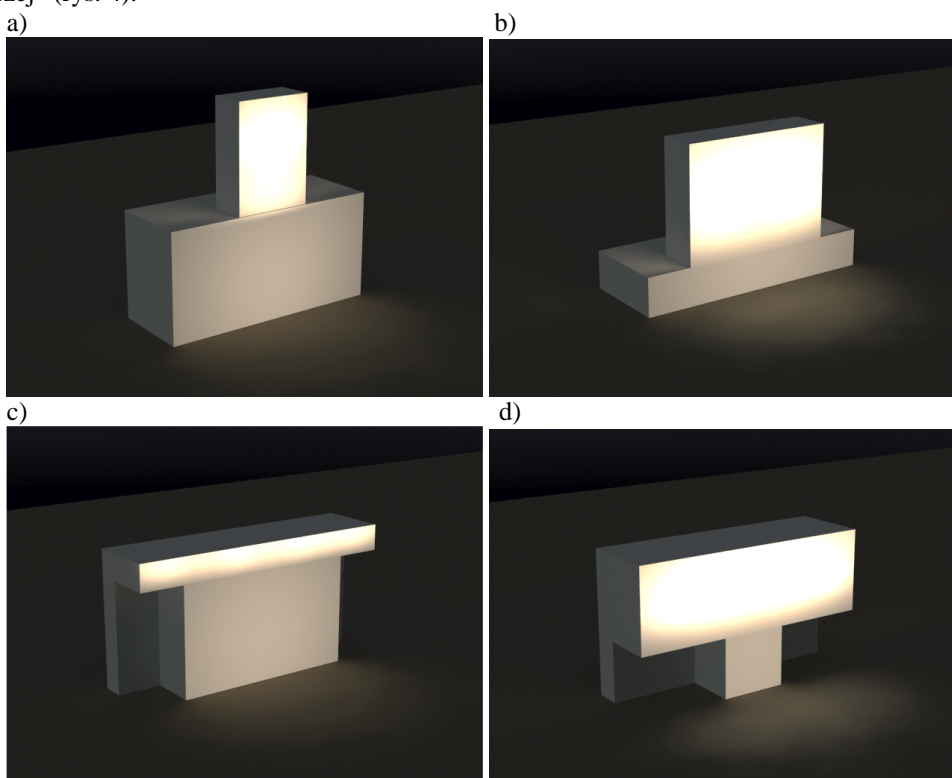
Analizowany mechanizm wzmocnienia głębi można odnieść do czterech podstawowych rozwiązań przestrzennych obiektów architektonicznych (rys.3.). Dotyczą one: stosunku powierzchniowej strefy wysuniętej do strefy cofniętej oraz relacji stopnia zawierania się strefy cofniętej w strefie wysuniętej. Stosunkowo najczęstszymi przypadkami rzeczywistymi są przypadki „a” - loggie, attyki zabytków itp. oraz „b” – np. frontony kościołów trójnawowych itp.



Rys. 3. Ilustracja zasady wzmocnienia głębi: a) powierzchnia cofnięta jest w obrębie większej powierzchni wysuniętej, b) powierzchnia cofnięta jest poza obrębem większej powierzchni wysuniętej, c) powierzchnia cofnięta jest w obrębie mniejszej powierzchni wysuniętej, d) powierzchnia cofnięta jest poza obrębem mniejszej powierzchni wysuniętej
 Fig. 3. The illustration of the principle of depth strengthener: a) surface be retreating in grounds of larger surface advanced, b) surface be retreating apart from grounds of larger surface advanced c) surface be retreating in grounds of smaller surface advanced d) surface be retreating apart from grounds of smaller surface advanced

4. ZASADA WZMACNIANIA WYSOKOŚCI W ARCHITEKTURZE

Podobnie, dla zasady wzmocnienia wysokości można wydzielić dwa przypadki geometryczne brył podstawowych, w których strefa wyżej ulokowana ma większą powierzchnię od strefy niższej oraz dwa o odwrotnej relacji powierzchni „wyższej” i „niższej” (rys. 4).



Rys. 4. Ilustracja zasady wzmocnienia wysokości: a) powierzchnia górna mniejsza i węższa od dolnej, b) powierzchnia górna większa ale węższa od dolnej, c) powierzchnia górna mniejsza i szersza od dolnej, d) powierzchnia górna większa i szersza od dolnej
 Fig. 4. The illustration of the principle of height strengthener: a) upper surface smaller and narrower than bottom, b) upper surface larger but narrower than bottom, c) upper surface smaller and wider than bottom, d) upper surface larger and wider than bottom

Zdecydowanie najliczniejszą reprezentację praktyczną znajduje wariant „a” w postaci wieży usytuowanej nad główną bryłą obiektu (cokoły wież kościelnych, dzwonnicy itp.)

5. PRAKTYCZNA REALIZACJA ILUMINACJI Z ZASTOSOWANIEM ZASADY WZMACNIANIA GŁĘBI ORAZ WYSOKOŚCI

Jako przykład praktycznych badań szczegółowych wybrano obiekt zabytkowy – Parlament Prowincji Alberta w Edmonton w Kanadzie (rys. 5). Istnieją dwa powody powyższego wyboru: pierwszy - obiekt posiada funkcjonującą aktualnie iluminację bez pełnej realizacji zasady wzmocnienia wysokości i głębi oraz drugi - możliwe jest wskazanie stref elewacji spełniających relacje przemieszczeń powierzchni względem siebie w osi pionowej i poziomej.



Rys. 5. Współczesna iluminacja Parlamentu Prowincji Alberta w Edmonton [5]
Fig. 5. The present illumination of Parliament of Alberta's Province in Edmonton [5]

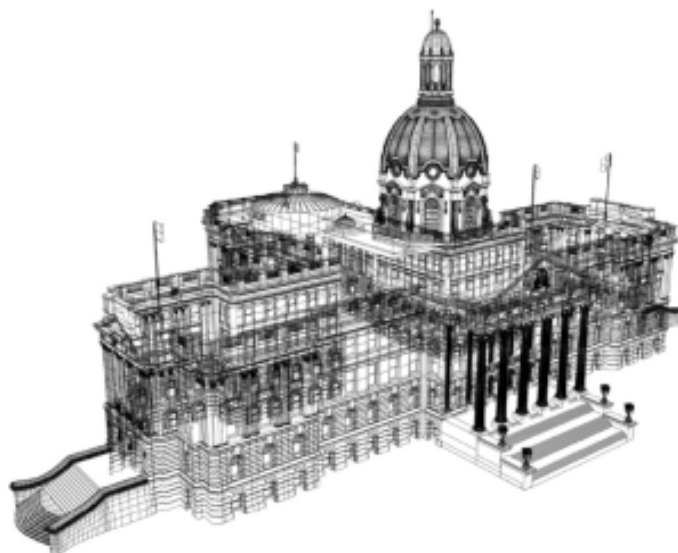
Spełnienie zasady wzmocnienia wysokości wymagałoby, aby np. strefa cokołu wieży (rejon D4 na rys.6) oraz hełm wieży były oświetlone bardziej intensywnie niż środkowa, usytuowana poniżej tympaanonu strefa centralna fasady. Niestety aktualna iluminacja pozbawiona jest zupełnie oświetlenia wieży, co prowadzi do utraty spójności świetlnej obiektu i kłóci się z jego dziennym obrazem. Inną istotną zaletą podwyższonej średniej luminancji szczytowych partii budowli byłaby jej dobra widoczność z dalszych odległości. Zasada wzmocnienia głębi zrealizowana jest w aktualnej iluminacji jedynie częściowo. Co prawda zaznaczono akcentem świetlnym rejon wejścia głównego względem wysuniętej kolumnady, niemniej nie rozgraniczono optycznie fragmentów frontonu przemieszczonych względem siebie (rejony D2 z symetrycznymi D1 oraz D3 na rys.6).

Także zupełnie pominięto na etapie tworzenia koncepcji iluminacji kwestię stosunkowo licznych, głębokich wnęk okiennych frontonu. Ostatecznie zdaniem autora zrealizowana iluminacja nie sprzyja korzystnej ocenie wizualnej detali architektonicznych usytuowanych na dalszych planach lub o małych rozmiarach kątowych oraz nie „inspiruje” aparatu wzrokowego obserwatora do penetrowania dalszych, równie atrakcyjnych, planów obiektu.



Rys. 6. Wyodrębnione główne strefy obiektu (D1, D2, D3 oraz D4), uczestniczące we wzmacnianiu zasady głębi i wysokości [4]
Fig. 6. The marked main parts of the building (D1, D2, D3 as well as D4), participating in strengthening the principle of the depth and the height [4]

Weryfikacja powyższych braków iluminacyjnych możliwa jest dzięki stosowanej z powodzeniem od kilkunastu lat komputerowej technice wizualizacyjnej.



Rys. 7. Komputerowy model geometryczny obiektu zabytkowego [1]
Fig. 7. The computer geometrical model of the antique building [1]

Wymagane jest jedynie stosowanie aplikacji wykorzystujących procedury obliczeniowe, odwzorowujące fizyczny opis biegu promieni świetlnych oraz ich reakcji z przeszkodami. Prace symulacyjne wykonano wieloetapowo.

Na wstępie należało wykonać komputerowy model obiektu z dokładnością uwzględniającą najbardziej restrykcyjne cechy zasady wzmacniania głębi i wysokości – w analizowanym przypadku rozumie się przez to możliwość kształtowania wrażenia przestrzeni poprzez rozświetlenie wnętrza okiennych elewacji (rys.7). W następnym kroku powleczono powierzchnie modelowanych elewacji materiałami odpowiadającymi rzeczywistym pierwowzorom. W ostatnim etapie po wczytaniu modeli reflektorów możliwa była wielo-wariantowa analiza tworzonej iluminacji w myśl sformułowanych postulatów (rys. 8). Nie koncentrowano się na opracowaniu zaleceń ilościowych odpowiadających rozpatrywanym zasadom iluminacji, gdyż wykracza to poza zakreślony temat rozważań, niemniej problematyka będzie przedmiotem planowanych dalszych badań.



Rys. 8. Etapy tworzenia wizualizacji iluminacji fasady obiektu – widoczne strefy od lewej: etap modelu geometrycznego, etap powleczenia materiałowego oraz etap oświetlenia iluminacyjnego [1]

Fig. 8. The stages of creating the visualization of illumination of the facade of the object - the visible parts from left: the stage of geometrical model, the stage of bed-linen of material and the stage of the light illumination [1]

6. REZULTATY SYMULACJI WIZUALIZACYJNYCH

Ostatecznie wybrane rezultaty doboru reflektorów, ich parametrów fotometrycznych, miejsc montażu i nacelowania zostały przedstawione na rys.10 oraz 12. Dla porównania różnicy w przestrzennym odbiorze iluminacji zrealizowano wariant oświetlenia z ograniczonym wykorzystaniem zasady wzmacniania głębi (rys.9). Jako elementu weryfikacji ilościowej rozkładu średnich luminancji użyto pseudokolorystycznej wizualizacji luminacyjnej (rys.11) [9]. W odczuciu autora zaproponowana iluminacja zdecydowanie korzystniejsza niż aktualna prezentuje formę obiektu, czyni go bardziej plastycznym, korzystniejszą rozkłada akcenty świetlne, ogniskujące uwagę obserwatora.



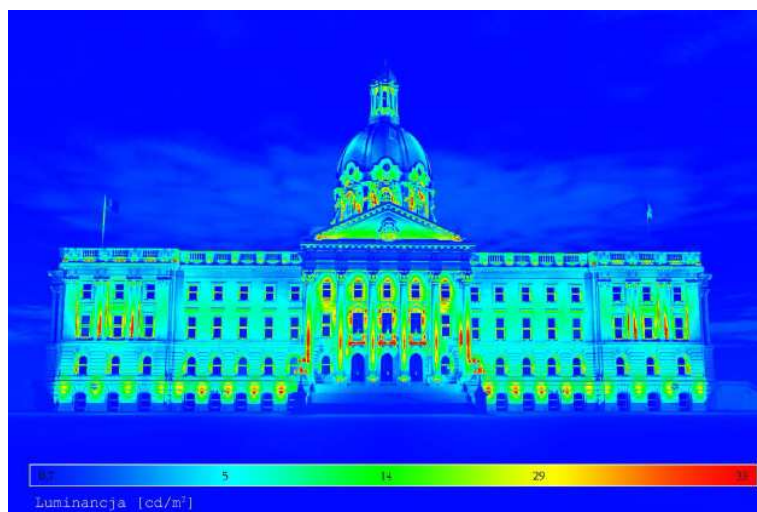
Rys. 9. Oświetlenie zalewowe – spłaszczające geometrię fasady (wizualizacja komputerowa) [1]

Fig. 9. The Surface Lighting - flattening the geometry of the facade (the computer visualization) [1]



Rys. 10. Oświetlenie strefowe – wypuklające geometrię fasady (wizualizacja komputerowa) [1]

Fig. 10. The Parts Lighting - convex the geometry of the facade (the computer visualization) [1]



Rys. 11. Kontrolna rola analizy rozkładu luminancji, uzyskanego w wyniku obliczeń świetlnych zastosowanej aplikacji graficznej [1]

Fig. 11. Supervisory part of the analysis of schedule luminance, got in result of the lighting calculations of applied graphic application [1]



Rys. 12. Finalna wizualizacja iluminacji uwzględniająca postulaty zasady wzmocnienia głębi oraz wysokości [1]

Fig. 12. The Final visualization of illumination, taking into account the postulates of the principle of strengthen the depth as well as the height [1]

7. PODSUMOWANIE

Zrealizowana praca pozwala na sformułowanie kilku wniosków o charakterze ogólnym.

1. Tworzenie atrakcyjnego, nocnego obrazu obiektu należy planować z uwzględnieniem naturalnych preferencji wzrokowych mających swe odniesienie w oświetleniu dziennym.
2. Zakreślone przez badaczy-oświetleniowców ramowe zasady iluminacji należy adaptować każdorazowo do warunków geometrycznych poszczególnych obiektów.
3. Specjalizowane pakiety symulacyjne są nieodzownym narzędziem do wielowariantowych badań szczegółowych, mających na celu opracowanie najbardziej korzystnego sposobu iluminacji obiektu (jego przestrzennego eksponowania).
4. Stosowalność zasady wzmacniania głębi i wysokości może być ograniczona warunkami lokalizacyjnymi sprzętu oświetleniowego, cechami odbić promieni świetlnych od elewacji oraz lokalnymi uwarunkowaniami np. restrykcyjne zalecenia imisji świetlnej.
5. Obszar analogicznych badań należałoby rozszerzyć o stosowanie zasady akcentowania ścian prostopadłych.
6. Ilościową ocenę zasady wzmacniania głębi oraz wysokości, poza subiektywnym wyborem projektanta, należałoby rozszerzyć o element badań statystycznych związanych ze „społecznym” odbiorem przestrzennym iluminacji.

8. LITERATURA

- [1] Autorskie wizualizacje komputerowe, wykonane w ramach prac Koła Naukowego ELEKTROENERGETYK , działającego przy Katedrze Energoelektroniki i Elektroenergetyki Politechniki Rzeszowskiej.
- [2] CIE Technical Report No 94 – Guide for floodlighting.
- [3] Egan M. David, Olgay W. Victor, Architectural Lighting, McGraw-Hill Companies, New York 2002.
- [4] [http:// culture.alberta.ca/about/emblems/legislative.aspx](http://culture.alberta.ca/about/emblems/legislative.aspx)
- [5] <http://www.photosot.com/legislature-buildings-in-winter-edmonton-alberta/>.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Albert_hall_original.JPG
- [7] PN-90/E-01005 Technika Świetlna, Terminologia.
- [8] Ratajczak J.: Oświetlenie iluminacyjne obiektów architektonicznych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.
- [9] TechnikaŚwietlna'09, Poradnik – Informator, Warszawa 2009.
- [10] The Illuminating Engineering Society of North America: Lighting Handbook. Reference and Application. Publications Department IESNA. New York 2000.
- [11] Żagan W.: Iluminacja obiektów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.
- [12] Żagan W: Podstawy techniki świetlnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa 2005.
- [13] Krupiński R.: Modelowanie 3d dla potrzeb iluminacji obiektów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.

- [14] Brzozowski S.: Oświetlenie elewacji budynków. Technika Świetlna 96, Poradnik – Informator.

Praca została zrealizowana z wykorzystaniem aparatury zakupionej w wyniku realizacji Projektu nr POPW.01.03.00-18-012/09 „Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej 2007- 2013, Priorytet I. Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3 Wspieranie innowacji.

**THE PARLIAMENT OF ALBERTA'S PROVINCE IN CANADA AS THE
EXAMPLE OF THE CREATING THE SPATIAL PERCEPTION OF
ANTIQUÉ BUILDINGS IN ARTIFICIAL LIGHTING**

SUMMARY

The author in present paper refers to the possibility of strengthening the spatial perception of the architectural buildings at night with a mediation of illumination lighting. It was initially talked over the environmental and (connected with natural lighting) the premise of profitable schedule of light spots in space. Then the author proposed exploiting the chosen principles of illumination to accentuation the geometrical model of the antique building. The practical use of the principles of illumination, adjusting the spatial perception, was illustrated then with the example of the real building – The Parliament of Alberta's Province in Edmonton. The works were realized with the computer simulations with use of the IES models of the reflectors, and also with got in results of the lighting calculations, the spatial schedules of luminance on the illuminated surfaces of the building.

Henryk WACHTA, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: hwachta@prz.edu.pl

**ODWZOROWANIE GRAFICZNE
ANTYCZNEGO KOMPLEKSU SAKRALNEGO W JEROZOLIMIE
Z WYKORZYSTANIEM KOMPUTEROWYCH APLIKACJI
WIZUALIZACYJNYCH**

STRESZCZENIE

W prezentowanym referacie autor przedstawił aktualne wyniki prac obejmujących komputerowe odwzorowanie antycznej Świątyni Jerozolimskiej. Wykorzystując współczesne możliwości graficzne aplikacji komputerowych został wykonany wirtualny model geometryczny Świątyni z sąsiadującą zabudową. Przygotowany materiał przeanalizowano pod kątem możliwości realizacji w przyszłości sekwencji animacyjnych oraz wykorzystania technologii interaktywnych. Wspomniane techniki są znakomitym narzędziem prezentacji nieistniejących współcześnie pomników dziedzictwa kulturowego ludzkości.

1. WPROWADZENIE

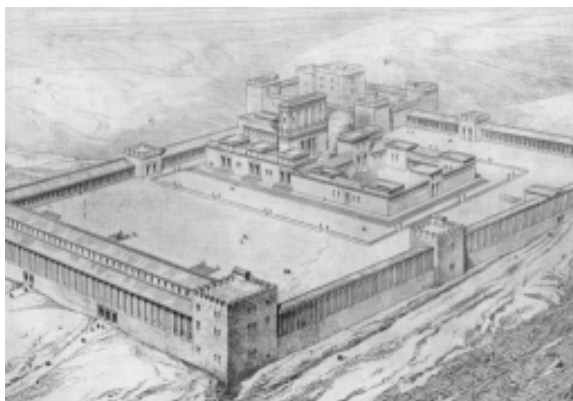
Z dużym powodzeniem realizowane są współcześnie projekty angażujące technikę informatyczną w obszar badań archeologicznych, historii i architektury. Dzięki „rzeczywistości wirtualnej” możliwe jest przywołanie z przeszłości nieistniejących już budowli czy wręcz miast. Od połowy ubiegłego roku Muzeum Historii Miasta Krakowa udostępniło zwiedzającym komputerową, historyczną rekonstrukcję miasta z XVII w. pod nazwą Cracovia 3D [8]. Stało się to po kilku latach wyężonej pracy dużego zespołu informatyków, architektów, historyków architektury i archeologów. Podobne przedsięwzięcia podejmowane są coraz częściej z wykorzystaniem najnowszych technik animacyjnych czy wręcz interakcyjnych – stosowanych dotąd głównie w grach komputerowych. Możliwe jest przeniesienie komputerowych doświadczeń rekonstrukcyjnych średniowiecznych rynków miast na budowę o randze międzynarodowej.

Wśród nich bez wątpienia znajduje się Antyczna Jerozolima – centrum cywilizacji oraz centrum kultu trzech religii. Wyzwanie rekonstruktorskie jest o tyle trudniejsze, gdyż

do współczesnych czasów zachował się jedynie fragment muru Świątyni Jerozolimskiej (muru herodiańskiego), zniszczonej doszczętnie przez Rzymian w 70 r.n.e.[9]. Z punktu widzenia rangi Świątyni Jerozolimskiej, najciekawszy jest okres po przebudowie na przełomie er - za panowania Króla Judei Heroda Wielkiego.

2. DOSTĘPNE WSÓLCZEŚNIE METODY PREZENTACJI ANTYCZNEJ ŚWIĄTYNI JEROZOLIMSKIEJ

Przed erą komputerów badacze czasów antycznych rekonstruowali Świątynię, korzystając z materiałów opisowych, badań archeologicznych itp. Finalnie powstawały szkice o stosunkowo małej atrakcyjności estetycznej i poznawczej oraz dostępności (rys.1).



*Rys.1. Próba graficznej wizualizacji Świątyni Jerozolimskiej [12]
Fig. 1. The trial of graphic visualization of The Jerusalem Temple [12]*

Precyzyjne odtworzenie elementów środowiska naturalnego (ukształtowania terenu, rozkładu cieni pochodzących od światła naturalnego, kolorystyki i faktury murów nie było możliwe. Te wady eliminowała inna technika rekonstrukcyjna – technika makiet wykonanych w skali. Aktualnie w Jerozolimie funkcjonuje kilka rozbudowanych – wciąż uaktualnianych makiet Świątyni Jerozolimskiej wraz z całą otaczającą ją zabudową w obrębie murów obronnych miasta (rys.2) [3]. Makieta eliminuje wady, które wymieniono wcześniej, jednak wymusza możliwość analizy struktury zabudowy wyłącznie z zewnątrz murów okalających miasto oraz prezentuje poszczególne obiekty w dużym uproszczeniu (skali). Zdecydowanie największe rekonstrukcyjne możliwości niesie z sobą technika cyfrowego wizualizowania. Obecnie stale podejmowane są mniej lub bardziej udane próby odtworzenia w rzeczywistości komputerowej fragmentu zabudowy Jerozolimy lub jej najcenniejszych obiektów a nawet całego miasta [4], [6], [7].



Rys.2. Współczesne próby odtworzenia Świątyni wraz z sąsiadującą zabudową Jerozolimy w postaci makiety [3],[6]

Fig. 2. The present trial of reproducing The Jerusalem Temple with adjacent buildings of Jerusalem in the figure of model [3],[6]

Osobną kwestią jest ocena wiarygodności tych wirtualnych prezentacji. Analizując dostępne realizacje można dostrzec różne poziomy uszczegółowienia detali architektonicznych, zróżnicowany poziom rzetelności odtworzenia faktury murów itd. Należy przypuszczać, iż ten stan rzeczy wynika z różnego poziomu przygotowania historycznego i architektonicznego zespołów wykonawczych tych prezentacji, ewentualnie ograniczonych możliwości konsultowania ze specjalistami zagadnień szczegółowych. Istnieje zatem potrzeba - wyzwanie wykonania precyzyjnego modelu świątynnego, odpowiadającego współczesnej wiedzy historycznej, wiernego odwzorowania środowiska naturalnego oraz zastosowanie współczesnych zdobyczy grafiki komputerowej.

3. WYKORZYSTANIE GAFIKI KOMPUTEROWEJ DO WIZUALNEGO ODTWORZENIA ŚWIĄTYNI JEROZOLIMSKIEJ

Korzystając z udostępnionych danych historycznych zrealizowano pierwszy etap podjętego planu rekonstrukcji całej antycznej Jerozolimy [12]. Komputerowemu odwzorowaniu przyporządkowano cztery cechy. Pierwszą jest wystarczająco dokładne odtworzenie topografii terenu (wzgórza Moria) za pomocą powierzchniowego modelu węzłowego [11]. Analogicznie zrealizowano cechę drugą, czyli odtworzenie geometrycznej struktury zabudowy dwu dziedzińców świątynnych oraz samej Świątyni z ołtarzem całopalenia [2], [10], [11]. Rezultaty bieżącego etapu prac wizualizacyjnych przedstawiono na rys.3 oraz rys.4. Kolejną dostępną techniką modelowania graficznego pozwoliła w sposób bardzo realistyczny wizualizować zniszczone czy stare elementy budowli oryginalnej – metoda warstwowa. Pozwala też za pomocą techniki „bumpmapowania” odwzorowywać skomplikowane detale architektoniczne i zdobienia [2], [10], [11]. Ostatnią cechą jest uzupełnienie sceny modelowej oświetleniem imitującym światło dzienne (zdefiniowana kierunkowość padania promieni świetlnych, barwa światła).



Rys.3. Wizualizacja Świątyni Jerozolimskiej, widok z kierunku południowo-wschodniego [1]
Fig. 3. The visualization of The Jerusalem Temple – the view from south-east direction [1]



Rys. 4. Wizualizacja Świątyni Jerozolimskiej – widok z kierunku północno-zachodniego [1]
Fig. 4. The visualization of The Jerusalem Temple, the view from north-west direction [1]

4. PERSPEKTYWY WZBOGACENIA FUNKCJI CYFROWEGO ZAPISU MODELU OBIEKTU

Stale udoskonalane aplikacje graficzne oferują coraz doskonalsze procedury modelowania. Ten trend obejmuje też moduł oświetlenia naturalnego [13],[14]. W zrealizowanych wizualizacjach zamodelowano oświetlenie naturalne ściśle odpowiadające naturalnemu biegowi słońca po nieboskłonie nad Jerozolimą, w wyznaczonym czasie i porze roku [5]. Tak więc rozkład światłocienia w obrębie zabudowy świątynnej jest odwzorowaniem tego antycznego – naturalnego.



Rys.5. Komputerowa wizualizacja Świątyni Jerozolimskiej – widok z dziedzińca kobiecego na Bramę Nicanora [1]

Fig. 5. The computer visualization of The Jerusalem Temple - the view at the Nicanora Gate from feminine courtyard [1]

Innym istotnym walorem, o który planuje się wzbogacić możliwości prezentacji wizualizacyjnej jest element animacji. Może to być klasyczne definiowanie ścieżki ruchu kamery, z jej ewentualnym obrotem (zrealizowano analogiczną testową sekwencję animacyjną). Animacja może też obejmować szczegółową analizę formy i funkcji zabudowy, w których zrozumieniu może znakomicie pomóc. Może też być wykorzystana w „ożywieniu” wirtualnej sceny, gdzie poruszające się postacie upodobnią obserwowany obiekt do rzeczywistego, tętniącego życiem antycznego kompleksu sakralnego. Warto też, przy okazji wykonywania animacji, dołączyć do prezentacji ścieżkę dźwiękową z np. komentarzem naukowym lub popularno-naukowym - odpowiednio do potrzeb. Wreszcie można przystosować model obiektu do pracy interaktywnej, gdzie widz może w czasie rzeczywistym swobodnie, zgodnie z własnym wyborem, przemieszczać się wewnątrz „wirtualnego „świata”. Ten nowoczesny typ dwukierunkowej komunikacji z aplikacją wykorzystywany jest z powodzeniem w grach komputerowych [2].

5. PODSUMOWANIE

Ocena zrealizowanego, pierwszego etapu prac pozwala wyprowadzić wniosek, że przy dużych możliwościach obliczeniowych dostępnego obecnie sprzętu komputerowego, (ewentualność pracy sieciowej zespołu jednostek komputerowych) możliwe będzie odtworzenie w przyszłości całej zabudowy jerozolimskiej zlokalizowanej w obrębie murów, z dużym – niespotykanym dotąd poziomem odwzorowania detali. Wydaje się, iż możliwe będzie również zastosowanie bardzo atrakcyjnej w odbiorze - wersji interaktywnej. Warto zauważyć, iż mimo znanej i stosowanej od dłuższego czasu techniki wizualizowania 3D, dopiero dynamiczny rozwój technologii informatycznej (zwiększenie pamięci operacyjnej i szybkości pracy procesorów) stworzył warunki odwzorowania bardzo rozbudowanych

struktur przestrzennych oraz modelowania biegu promieni świetlnych z uwzględnieniem złożonych procesów odbić wielokrotnych.

6. LITERATURA

- [1] Autorskie wizualizacje komputerowe, wykonane w ramach prac Koła Naukowego ELEKTROENERGETYK, działającego przy Katedrze Energoelektroniki i Elektroenergetyki Politechniki Rzeszowskiej.
- [2] A. Ross, M. Bousquet, "3ds max 5. Projekty i rozwiązania", Gliwice 2004.
- [3] Dokumentacja fotograficzna - dr hab. Urszula Szwarc, prof. KUL.
- [4] <http://www.sephirot.com/temple.html>. -- interaktywne, całe miasto
- [5] <http://www.nrel.gov/midc/solpos/>.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Jerusalem_Modell_BW_2.JPG.
- [7] <http://stwarzanie.wordpress.com/2011/04/16/wizualizacje-przybytku-i-swiatyni-w-jerozolimie/>.
- [8] <http://www.mmkrakow.pl/370196/2011/5/6/cracovia-d--tak-przez-wieki-zmienialo-sie-miasto-zdjecia-wideo?category=kultura>
- [9] http://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%9Aciana_P%C5%82aczu
- [10] J. A. Bell, "3ds max 6, Skuteczne rozwiązania", Gliwice 2004.
- [11] K. L. Murdock, "3ds Max 8 Bible", Hoboken NJ 2006.
- [12] Materiały historyczne udostępnione przez dr hab. Urszuli Szwarc, Profesor KUL.
- [13] Mielicki J., Zarys wiadomości o barwie. Fundacja rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź 1997.
- [14] Zagan W., Podstawy techniki świetlnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.

Praca została wykonana z wykorzystaniem aparatury zakupionej w wyniku realizacji Projektu: "Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej", współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Projektu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007-2013, Oś priorytetowa 1 – Konkurencyjna i innowacyjna gospodarka.

THE GRAPHIC MODEL OF ANTIQUE SACRAL COMPLEX IN JERUSALEM WITH USE OF THE VISUALIZATIONING COMPUTER APPLICATIONS

SUMMARY

The author in present paper introduced the current results of works enclosing the computer graphic model of the antique Jerusalem Temple. The virtual geometrical model of The Jerusalem Temple and the adjacent buildings were realized with the use of the present possibilities of the graphic computer applications. The prepared material was analyzed and adapted to the possibility of realization the animation sequences, as well as to exploit interactive technologies in the future. The mentioned techniques are excellent tools of introductions the antique, non-existing contemporarily monuments of cultural heritage of mankind.

Henryk WACHTA, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: hwachta@prz.edu.pl

WYKORZYSTANIE METODY KONTRASTU BARWOWEGO W ILUMINOWANIU STREFAWYM OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH NA PRZYKŁADZIE BAZYLIKI SANTA MARIA MAGGIORE W RZYMIE

STRESZCZENIE

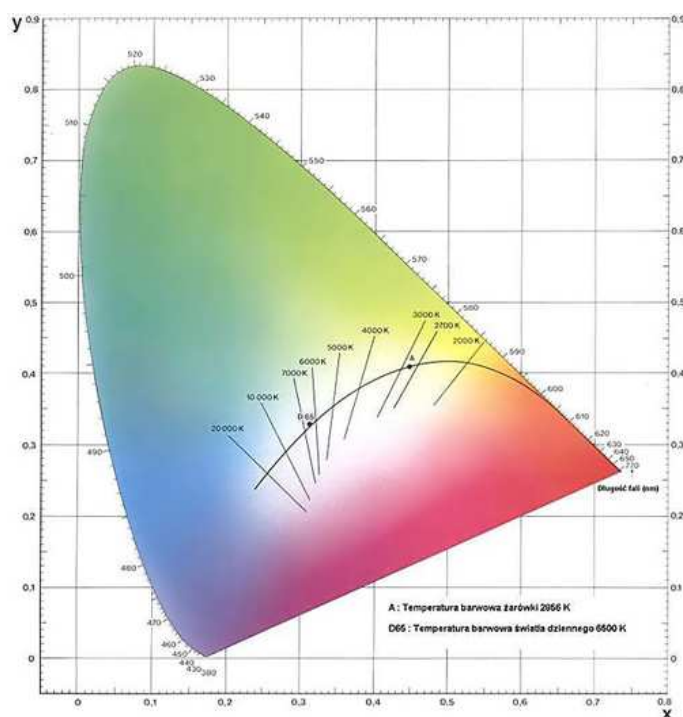
Tematyka referatu związana jest z dziedziną techniki świetlnej, obejmującą zagadnienia barwy w tworzeniu akcentów świetlnych. Zróżnicowanie barwowe pierwotnych promienników światła lub zastosowanie filtrów barwnych pozwala na skuteczne wzmocnienie kontrastu pomiędzy tłem a iluminowanym obiektem. Jest to zastępcza forma wobec powszechnie stosowanego w iluminacji kontrastu luminancji, uzyskiwanego przez specyfikowanie źródeł światła o różnych mocach. Na przykładzie propozycji iluminacji Bazyliki Santa Maria Maggiore w Rzymie, przeprowadzono badania możliwości barwnego akcentowania wybranych stref obiektu. Badania skoncentrowano na problematyce użycia źródeł światła bez filtrów barwnych (ryzyko dużych strat strumienia świetlnego przenikającego filtr barwny).

1. WPROWADZENIE

Klasyczne metody iluminacji opierają się na tworzeniu akcentów świetlnych poprzez wykorzystanie opraw oświetleniowych ze źródłami światła o zróżnicowanych mocach (strumieniu świetlnym). Zatem na tło o niższym poziomie luminancji – często jest to iluminacja konturowa, nakładane są mocniejsze plamy świetlne reflektorów wąskostrumieniowych, tworzące punkty ogniskowe [1], [7]. Ten klasyczny typ iluminowania bazuje na kontraście luminancji. Coraz częściej wykorzystywany jest drugi mechanizm identyfikacji obrazu, wykorzystujący kontrast barwy. Jego idea polega na oświetleniu tła oraz obiektu różną barwą światła [5].

Kluczową kwestią pozwalającą na skuteczne wykonanie tego zadania jest dostępność źródeł światła o możliwie różnych rozkładach widmowych promieniowania optycznego. Oczywiście możliwe i stosowane w praktyce jest wyposażanie reflektorów w filtry barwne, deformujące barwowo wyjściową wiązkę świetlną. Jednak w rozbudowanych instalacjach iluminacyjnych takie rozwiązanie podnosi koszty eksploatacyjne (dość duża pochłaniania strumienia świetlnego źródła światła przez filtr barwny [13].

Korzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie asortymentu źródeł światła składającego się z np.: lamp sodowych (temperatura barwowa ok. 2100 K – barwa ciepła), lamp metalohalogenowych (temp. barwowa ok. 4200 K – barwa neutralna) czy lamp rtęciowych (temp barwowa ok. 4800 K) [6]. Rozmieszczenie tych barw na wykresie chromatyczności można zlokalizować na rys.1.



Rys. 1. Wykres chromatyczności z naniesionym zakresem barw źródeł światła [3]

Fig. 1. The graph of chromaticity with plotted the hue range of the lighting sources [3]

Zatem różnice barw wymienionych niektórych źródeł światła są na tyle duże, iż mogą tworzyć czytelny kontrast barw iluminacji [8],[9].

2. WYBÓR OPIEKTU RZECZYWISTEGO DO DALSZYCH PRAC SZCZEGÓŁOWYCH

Iluminacje oparte na kontraście barw najkorzystniej jest planować w odniesieniu do obiektów posiadających niejednorodną barwowo elewację. Można wówczas przyporządkować każdemu z uczestniczących w analizie barwnej materiałów źródło światła podkreślające jego barwę. Przykładowo ceglany materiał elewacyjny najkorzystniej będzie iluminować źródłami sodowymi o barwie cieplej. Efekt optyczny takiego działania jest bez wątpienia satysfakcjonujący, bez ryzyka przekłamania barwy elewacji oświetleniem iluminacyjnym. Inne występujące w strukturze materiałowej elewacji pokrycie – np. piaskowiec należałoby iluminować światłem zimniejszym np 4200-4600 K. Obiektem rzeczywistym, spełniającym powyższe postulaty, który wybrano do badań kontrastu barwowego, jest Bazylika Santa Maria Maggiore w Rzymie (rys.2).



Rys. 2. Bazylika Santa Maria Maggiore w Rzymie – stan obecny [2]

Fig. 2. The Basilica di Santa Maria Maggiore in Rome – the present state [2]

Centralną strefę frontonu wypełnia loggia, która w swej zewnętrznej części posiada białą kolorystykę – wyraźnie odcinającą się od pozostałego fragmentu budowli. Dodatkowo loggia wewnątrz posiada ciemniejszą barwę, zawdzięczając to licznym malowidłom ściennym i zdobieniom. Przystępując do projektowania iluminacji z wykorzystaniem kontrastu barwy, należałoby tę kompozycję barw materiałów elewacyjnych zachować.

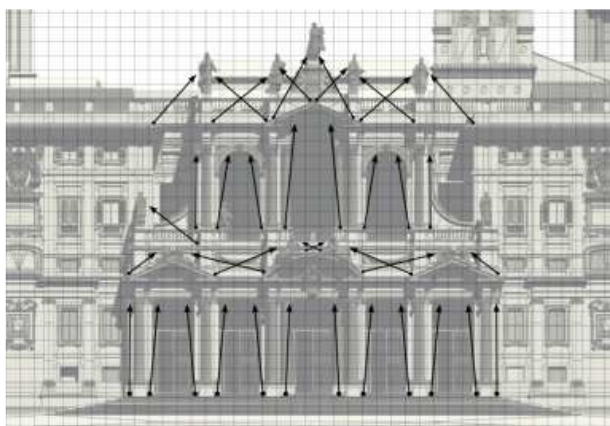
3. KONCEPCJA REALIZACJI KONTRASTU BARWY

Dobór barwy źródeł światła oraz ich najkorzystniejsze miejsca mocowania przeprowadzono w środowisku modelu komputerowego loggii Bazyliki (rys.3.) [4].



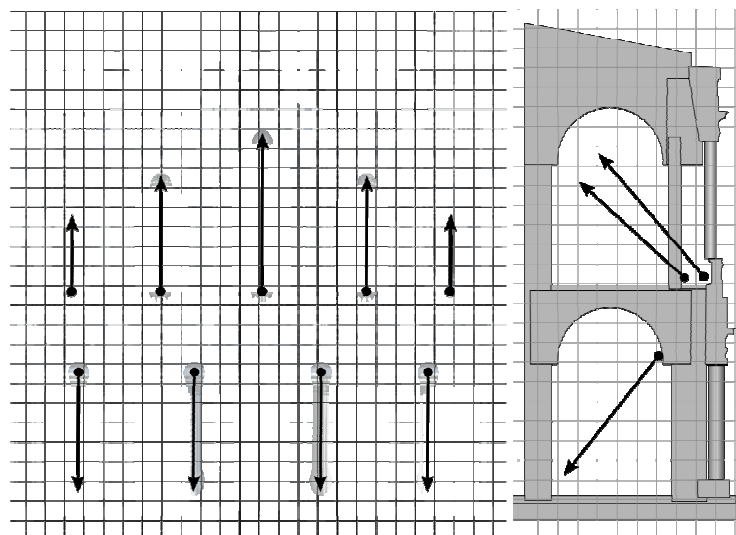
Rys. 3. Komputerowe odwzorowywanie geometrii loggii Bazyliki [10]
 Fig. 3. The computer model of the geometry of loggia of Basilica [10]

Dla zewnętrznych powierzchni loggii (widok pierwszego planu) najkorzystniej było zaproponować instalowanie grupy reflektorów ze źródłami metalohalogenkowymi o barwie neutralnej. Ich lokalizacja i nacelowanie (oznaczone odpowiednio punktem i grottem) umożliwiły ponadto estetyczną ekspozycję bogatych zdobień frontonu (rys.4).



Rys. 4. Przyjęta lokalizacja reflektorów iluminujących pierwszy plan obrazu obiektu [10]
 Fig. 4. The proposal of location of reflectors illuminating the first plan of the building [10]

Zamierzony kontrast barwy możliwy był do osiągnięcia przez rozświetlenie wnętrza loggi inną – cieplejszą barwą. Reflektory, dla uzyskania możliwie dużych równomierności oświetlenia, zostały wyposażone w układy optyczne, formujące szerokie rozsyły strumienia świetlnego oraz przemieszczone możliwie najdalej od wewnętrznej ściany loggii. (rys. 5).



Rys. 5. Proponowana lokalizacja reflektorów iluminujących drugi plan obrazu obiektu [10]
 Fig. 5. The proposal of location of reflectors illuminating the second plan of the building [10]

Dodatkowo, duży poziom równomierności oświetlenia przestrzeni wewnątrz loggii zapewnią odbicia wielokrotne promieni świetlnych reflektorów, kierowanych na pierwszej kondygnacji ku wejściom do Bazyliki, natomiast na drugiej kondygnacji ku sklepieniu. W odróżnieniu od reflektorów pierwszego planu iluminowanie akcentowe wnętrza loggii nie przyniosłoby korzystnego efektu estetycznego.

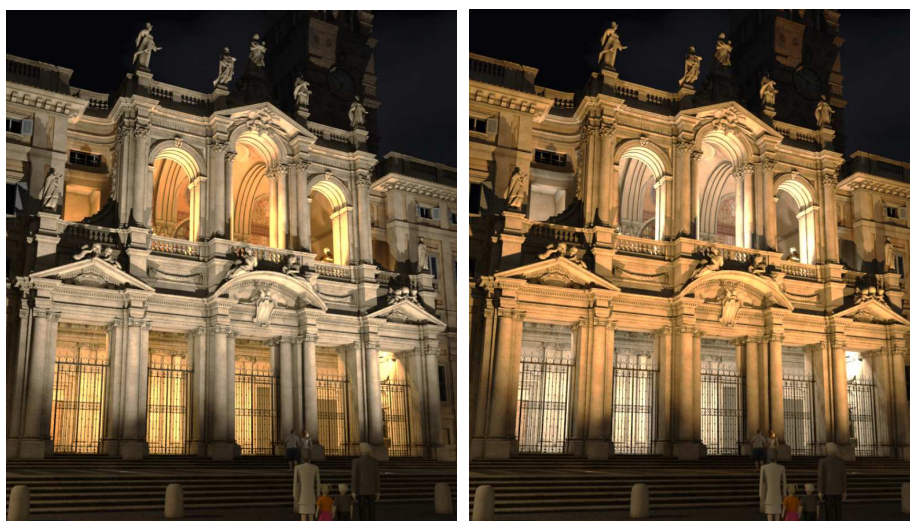
4. ETAP EKSPERYMENTU WIZUALIZACYJNEGO

Powyższe zamierzenia koncepcyjne zrealizowano korzystając z przygotowanego modelu komputerowego loggii. Zaproponowano dwa warianty iluminacji wnętrza loggii z przyjętymi skrajnymi temperaturami barwowymi zastosowanych źródeł światła (rys.6). Krytyczna ocena uzyskanych wizualizacji prowadzi zdaniem autora do wniosku, iż zdecydowanie korzystniejszym rozwiązaniem jest iluminowanie wewnętrznych ścian loggii światłem ciepłym, korespondującym z kolorystyką bogatych zdobień i malowideł.

W następnym kroku dla uzyskania kontrastu barwy doświetlono zewnętrzne powierzchnie loggii, przyjmując zasadę doboru do ciepłej barwy wnętrza neutralną barwę pierwszego planu iluminacji loggii i odwrotnie (rys.7) Również w tym przypadku przypisanie barwy neutralnej źródła światła do jasnej barwy pierwszego planu loggii przynosi najkorzystniejszy efekt optyczny. Wnętrza loggii należało dodatkowo rozpatrywać pod kątem rozróżnialności barw naniesionych na ściany malowideł. Zatem specyfikowane do projektu źródła metalohalogenkowe powinny cechować się również wysokim wskaźnikiem oddawania barw Ra [11], [12].



Rys. 6. Warianty iluminowania wnętrza loggii barwą ciepłą oraz barwą neutralną [10]
 Fig. 6. The variants of illuminating the interior of loggia with warm hue and neutral hue [10]



Rys.7. Iluminacja pierwszego planu fasady światłem neutralnym oraz ciepłym [10]
 Fig. 7. The proposal of surface illuminating of the first plan of facade with warm light and neutral light [10]

5. KOMPLEKSOWA ILUMINACJA BAZYLIKI SANTA MARIA MAGGIORE Z ELEMENTAMI KONTRASTU BARWY

Tworząc kompleksową iluminację Bazyliki oraz uwzględniając dodatkowe kryteria prawidłowego projektowania oświetlenia dekoracyjnego (poziomu luminancji tła, głów-

nych kierunków obserwacji itd.), wykorzystano mechanizm kontrastu barwy w odniesieniu do innych stref obiektu: cokołu wieży zegarowej i okien wieży, hełmu wieży i cokołu wieży zegarowej oraz bogatych zdobień boków fasady. Ostateczny rezultat pracy został przedstawiony na renderingu komputerowym (rys. 8).



Rys. 8. Końcowa propozycja iluminacji Bazyliki Santa Maria Maggiore z zastosowaniem kontrastu barwy [10]

Fig. 8. The final proposal of the hue contrast method of illuminating the Basilica [10]

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone próby symulacyjne potwierdzają dużą użyteczność mechanizmu kontrastu barwy w pracach projektowych iluminacji. Na płaszczyźnie oceny estetycznej bez wątplenia atutem tej metody jest mały stopień przekształcania barw materiałów elewacyjnych. Na poziomie ekonomicznym, w odróżnieniu do filtrów barwnych, można uzyskiwać kontrast pomiędzy tłem a akcentem plamy świetlnej bez zwiększania strumienia świetlnego źródła światła. Dzięki temu wyeliminuje się niepożądaną konieczność zwiększenia mocy zainstalowanych źródeł światła. Dynamiczny rozwój technologii źródeł światła będzie z pewnością sprzyjać poszerzeniu dostępnego zakresu barwowego promienników iluminacyjnych. Należy oczekiwać zatem zrównania użyteczności kontrastu luminancji z kontrastem barwy w zastosowaniach iluminacyjnych.

7. LITERATURA

- [1] CIE Technical Report No 94 – Guide for floodlighting.
- [2] http://pl.wikipedia.org/wiki/Bazylika_Matki_Bozej_Wiekszej.

- [3] http://www.lighting.philips.pl/connect/pla/pts_p003.wpd.
- [4] Murdock Kelly L.: "3ds Max 201 0 Biblia Wiedza obecna", Helion, Gliwice, 2010.
- [5] Neumann D.: Architecture of the night. The illuminated building. Prestel. Berlin 2001.
- [6] PN-EN 12464-1:2003 (U). Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- [7] PN-90/E-01005 Technika Świetlna. Terminologia.
- [8] Rea M.: Vision and Perception, Lighting Handbook, Reference & Application, IES of North America, IESNA, New York 1993.
- [9] R.H. Simon and A.R. Bean: Lighting Engineering. Applied calculation. MPG Books Ltd. Bodmin, Cornwall 2001.
- [10] Wizualizacje komputerowe, wykonane w ramach prac Koła Naukowego ELEKTRO-ENERGETYK, działającego przy Katedrze Energoelektroniki i Elektroenergetyki Politechniki Rzeszowskiej.
- [11] Żagan W: podstawy techniki świetlnej. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa 2005.
- [12] Żagan W.: Iluminacja obiektów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.
- [13] Mielicki J.: Zarys wiadomości o barwie. Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź 1997.

Praca została zrealizowana z wykorzystaniem aparatury zakupionej w wyniku realizacji Projektu: "Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej", współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Projektu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007-2013, Oś priorytetowa 1 – Konkurencyjna i innowacyjna gospodarka.

THE BASILICA DI SANTA MARIA MAGGIORE IN ROME AS THE EXAMPLE OF THE HUE CONTRAST METHOD USED TO ZONAL ILLUMINATING OF ANTIQUE BUILDINGS

SUMMARY

The subject of the paper refers to the lighting technique, enclosing the issue of the hue in creating the lighting elements. The contrast between the background and the illuminated building is effectually deepen by dint of using the lighting sources with the different hue or adapting the hue filters. This method is the superseded method to the universally applied method of contrast of luminance. The contrast of luminance in this method is the effect of specification the lighting sources with different power. The proposition of illumination The Basilica di Santa Maria Maggiore in Rome is an example of researching the possibility of the hue accenting the specified areas of the buildings. The investigation was concentrated on the issue of using the lighting sources without the hue filters (the risk of large losses of stream of light infiltrating the hue filter).

Henryk WACHTA, dr inż.
Krzysztof BARAN, mgr inż.
Marcin LEŚKO, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
e-mail: hwachta@prz.edu.pl, kbaran@prz.edu.pl, mlesko@prz.edu.pl

UWARUNKOWANIA TERMICZNE INSTALOWANIA REFLEKTORÓW DOZIEMNYCH W BUDOWNICTWIE

STRESZCZENIE

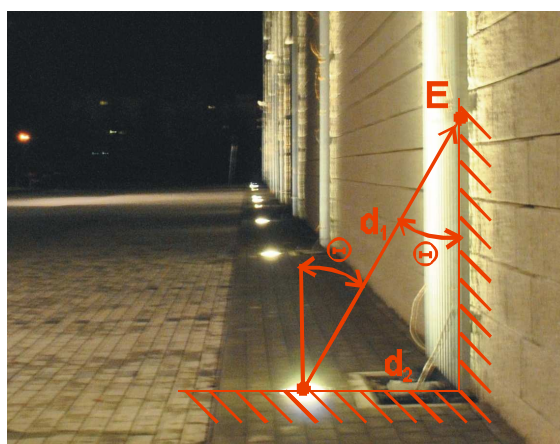
W artykule przedstawiono analizę uwarunkowań termicznych, związanych z instalowaniem reflektorów doziemnych, stosowanych w iluminacji obiektów architektonicznych. Celem analizy było sprawdzenie, jak termiczne oddziaływanie reflektorów instalowanych w niewielkiej odległości od elewacji budynku, związane z promieniowaniem ciepłym emitowanym przez źródła światła wykorzystywane w tych oprawach, wpływa na jej stan. W tym celu przeprowadzono badania termowizyjne polegające na pomiarze rozkładu temperatury wokół pracującego reflektora, ze szczególnym uwzględnieniem temperatury elewacji.

1. WPROWADZENIE

Istotą iluminacji są walory estetyczne, które należy traktować jako naczelną kryterium doboru sprzętu iluminacyjnego oraz jego lokalizacji. Uwarunkowania lokalizacyjne należy rozpatrywać pod kątem technicznych możliwości zainstalowania wybranych opraw oraz warunków fotometrycznych ograniczających oślnienie. Łącząc te dwa aspekty można przyjąć, że iluminacja elewacji budowli powinna tworzyć niewypaczony obraz obiektu z dogodnymi warunkami funkcjonowania w jego otoczeniu.

Zasadniczo ten cel realizuje się przez zastosowanie metody zalewowej iluminacji, z wykorzystaniem reflektorów rozpraszających, montowanych na słupach zlokalizowanych w znacznych odległościach od obiektu. [10] Pozwala to "ogarnąć" wiązką świetlną całą elewację oraz, wykorzystując osłony antyolśnieniowe, ograniczyć oślniewające działanie optycznie aktywnych stref reflektorów. W takim przypadku lokalizacji strumień świetlny kierowany jest w górną półprzestrzeń, co eliminuje zagrożenie powstania oślnienia odbiciowego. Jednakże w tego typu rozwiązaniach należy liczyć się z koniecznością specyfi-

kowania źródeł światła o większej mocy (co rzutuje na ogólne koszty eksploatacji instalacji) oraz niedoświetloną strefę przygruntową elewacji. Aby temu zaradzić wprowadzono w ofercie sprzętowej rozwiązania konstrukcji sprzętu iluminacyjnego instalowanego w podłożu - oprawy doziemne. Pozwala to na lokalizowanie opraw w bezpośrednim sąsiedztwie elewacji i lepsze doświetlenie jej dolnych partii (rys. 1) [7].



Rys. 1. Widok reflektora doziemnego oraz zależność natężenia oświetlenia od odległości od elewacji i kąta padania. E - natężenie oświetlenia, Θ - kąt padania, d_1 - droga strumienia świetlnego, d_2 - odległość reflektora od elewacji.

Fig. 1. A view of ground mounted luminary with a dependence of illuminance from distance and angle. E - illuminance, Θ - angle, d_1 - luminous flux distance, d_2 - elevation distance.

W związku z tym należy spodziewać się mniejszych mocy źródeł światła (prawo odwrotnych kwadratów) (1.1) i mniejszych strat świetlnych związanych z imisją świetlną [6]. Oczywiście należy zauważyć, że zagrożenie olśnieniowe istnieje, jednak na drodze od reflektora do punktu oświetleniowego nie występuje (w klasycznym rozumieniu komunikacji pieszej) ewentualność pojawienia się obserwatora.

$$E = \frac{I_{\theta}}{d_1^2} \cos \theta \quad (1.1)$$

Na tle powyższych uwarunkowań lokalizacyjnych reflektorów doziemnych warto zwrócić uwagę na możliwość oddziaływania cieplnego reflektorów doziemnych na środowisko. Wynika to ze znacznego udziału promieniowania cieplnego w całej emisji promieniowania źródła światła oraz jego relatywnie małych odległości od elewacji.

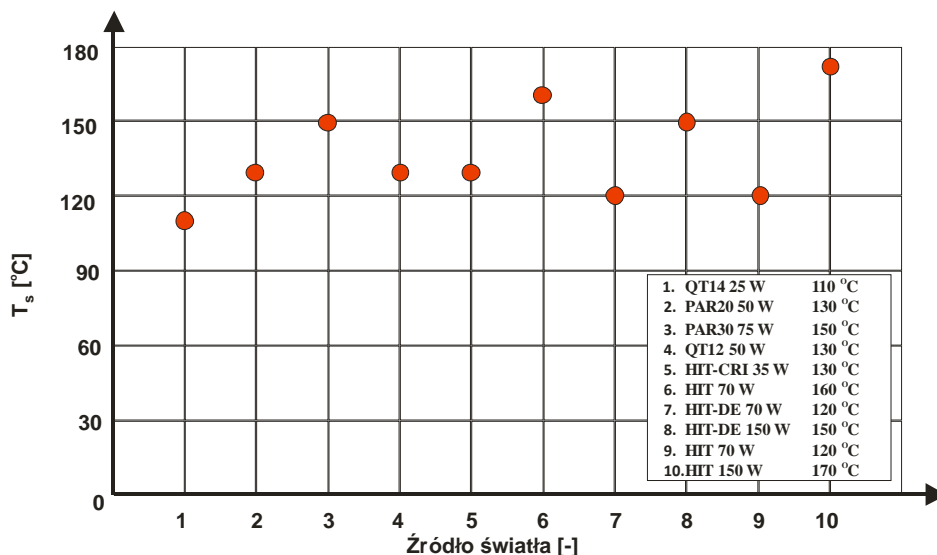
2. UWARUNKOWANIA ŚRODOWISKOWE ZWIĄZANE Z MIEJSCEM MOCOWANIA OŚWIETLENIA ILUMINACYJNEGO

Reflektory doziemne znajdują coraz szersze zastosowanie w iluminacji obiektów architektonicznych głównie dzięki walorom estetycznym, jakie można uzyskać przez ich instalowanie, w taki sposób, że idealnie komponują się z otoczeniem, zarówno podczas

pracy instalacji iluminacyjnej, jak i wtedy, gdy instalacja jest wyłączona. Dodatkowym atutem współczesnych opraw doziemnych są ich stosunkowo małe wymiary zewnętrzne (poziom zagłębienia w gruncie), korzystnie wpływające na łatwość instalacji w terenie z np. gęstą podziemną siecią mediów. Niestety w niektórych przypadkach lokalizacja opraw doziemnych może okazać się niekorzystna dla obiektów znajdujących się w sąsiedztwie reflektora. Należy zwrócić uwagę przede wszystkim na oddziaływanie termiczne oprawy.

Zwykle dla uzyskania jak najlepszych efektów iluminacji, głównie w celu zapewnienia odpowiedniej równomierności oświetlenia, reflektory doziemne instaluje się w bliskim sąsiedztwie elewacji. Ma to ścisły związek z uwarunkowaniami fotometrycznymi stosowanych opraw. Z uwagi na minimalizację strat świetlnych oraz ograniczenie ryzyka powstawania oślepienia, wykorzystuje się najczęściej reflektory wąskostrumieniowe, bądź też asymetryczne, aby skupić większość strumienia świetlnego na elewacji, w postaci akcentów świetlnych.

Światło emitowane przez różnorodne źródła zawiera, pomijając promieniowanie ultrafioletowe, zasadniczo dwie główne składowe: promieniowanie widzialne oraz promieniowanie ciepłne. Najczęściej stosowanymi źródłami światła w oświetleniu iluminacyjnym są źródła wyładowcze (głównie metalohalogenkowe), które charakteryzują się tym, że udział składowej ciepłej w promieniowaniu przez nie emitowanym jest relatywnie duży, dla przykładu w lampach metalohalogenkowych ok. 73 % całkowitej energii elektrycznej pobieranej przez te lampy jest zamieniane na ciepło[9].



Rys. 2. Temperatura szyby oprawy doziemnej w zależności od zastosowanego źródła światła.

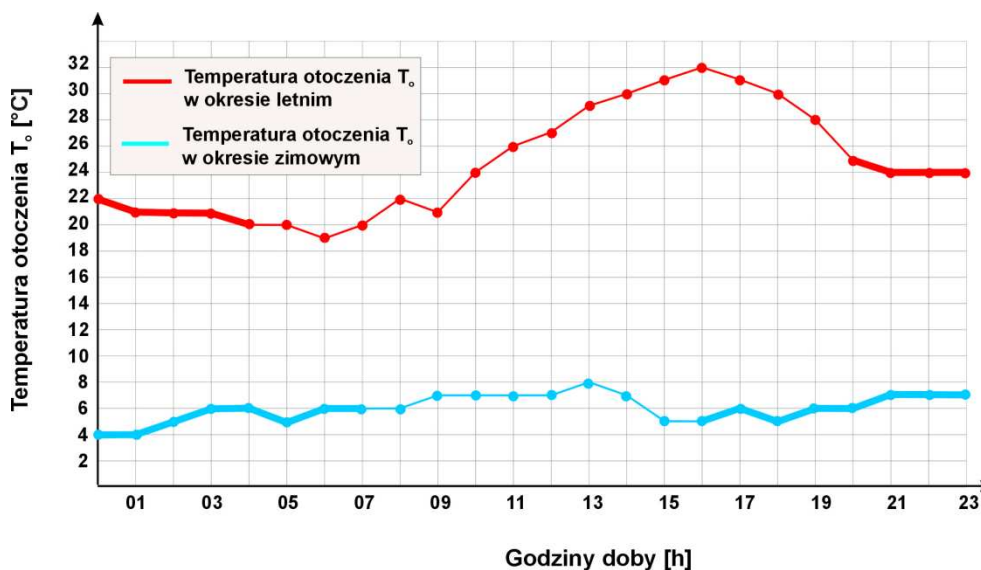
Fig. 2. Glass temperature of the ground mounted luminary depending on applied light source.

Wobec tego powstaje rzeczywisty problem wpływu cieplnej składowej promieniowania emitowanego przez oprawy iluminacyjne, zlokalizowane w nieznaczonej odległości od elewacji, na materiały, z których elewacja została wykonana (wierzchnia warstwa elewacji w postaci zewnętrznej powłoki - farby). Zastosowana technologia przetwarzania energii elektrycznej na promieniowanie wymusza udział składowej cieplnej w widmie tego promieniowania. Drugim elementem wpływającym na ciepłe oddziaływanie źródła światła na otoczenie jest jego moc (ilość wypromieniowanego ciepła wzrasta proporcjonalnie do mocy źródła światła) (rys.2) [2]. Stąd efektem ubocznym przy skupianiu strumienia świetlnego jest równoczesne skupianie emisji ciepła w kierunku elewacji, co, z uwagi na długotrwałą pracę instalacji iluminacyjnej, poddaje zewnętrzną warstwę elewacyjną długotrwałej ekspozycji na ciepło. Może ona w dłuższej perspektywie wywołać działanie niszczące, mające wpływ na stan elewacji.

Innym stosowanym wariantem sprzętu iluminacyjnego, związanym ze strefowym oświetlaniem kondygnacji, jest wariant polegający na montażu reflektorów na gzymsach lub we wnękach okiennych, itp. Jednakże w tego typu rozwiązaniach sprzętowych bazuje się na zastosowaniu źródeł światła w postaci świetlówek liniowych np. TL5 lub coraz częściej systemów LED-owych [5]. W obu przypadkach, z uwagi na zarówno małą moc źródeł światła oraz niewielką termiczną składową promieniowania, można spodziewać się słabego oddziaływania termicznego na stan elewacji.

3. ODDZIAŁYWANIE TERMICZNE ŚRODOWISKA NATURALNEGO NA STAN ELEWACJI.

Elewacje budynków narażone są na działania wielu niekorzystnych czynników atmosferycznych. Strefę klimatyczną Polski charakteryzują znaczne wahania temperatury (dobowe, roczne - w zależności od pory roku), a także intensywne oddziaływanie promieniowania UV w sezonie letnim i mrozu w okresie zimowym. Działania powyższych czynników mogą przyczynić się do utraty koloru, tworzenia pęknięć, odspojen i pęcherzy, może doprowadzić również do kredowania powłoki malarskiej [11]. Producenci materiałów elewacyjnych, określając cechy eksploatacyjne swych produktów, przyjmują temperaturę środowiskową T_o na poziomie 20°C - 25°C . Należy rozważyć zachowanie tego poziomu temperaturowego dla rzeczywistych warunków środowiskowych. Uwzględniając oddziaływanie bezpośredniego promieniowania słonecznego na powłoki elewacyjne przyjmuje się, dla najniekorzystniejszej ekspozycji pomalowanej powierzchni (prostopadle promieniowanie słoneczne), temperaturę maksymalną T_o 70°C [12]. W celu zbadania kształtowania się rozkładu temperatur dobowych przeanalizowano średnie temperatury dobowe z ostatnich dwóch lat w Warszawie.



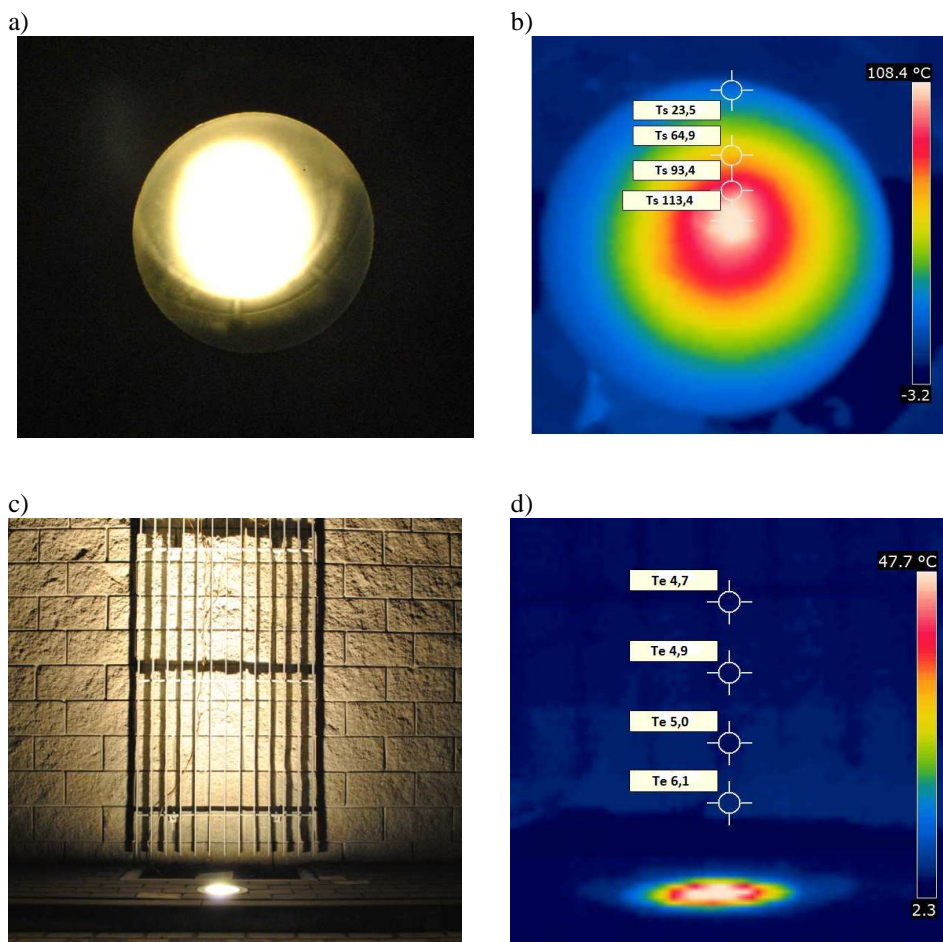
Rys. 3. Temperatura otoczenia w najcieplejszym dniu w okresie letnim i zimowym (Warszawa, 27.08.2011 oraz 26.12.2011) [13]

Fig. 3. Ambient temperature in the warmest day in the summer and winter time (Warsaw, 27.08.2011 and 26.12.2011)

Na rys. 3. przedstawiony został dobowy przebieg temperatury otoczenia T_o (bez rozgraniczenia na warunki słoneczne i zachmurzenie) dla najcieplejszego dnia z rozpatrywanego przedziału czasowego. Odpowiednio kolorem czerwonym i niebieskim oznaczono przebiegi najcieplejszego dnia lata i zimy. Pogrubioną linią na wykresie zaznaczone zostały średnie czasy pracy instalacji iluminacyjnych (z uwzględnieniem średniej godziny załączenia i wyłączenia instalacji). Z powyższego wynika, iż ciepłe oddziaływanie oświetlenia naturalnego nieznacznie przekracza temperaturę 20°C . Natomiast w porze oddziaływania oświetlenia iluminacyjnego temperatura otoczenia nie przekracza 25°C . Należy zatem przyjąć brak oddziaływania temperatury środowiskowej na cechy pokryć elewacyjnych.

4. ROZKŁAD TEMPERATURY REFLEKTORA ORAZ ELEWACJI NA PRZYKŁADZIE ILUMINACJI WYBRANEGO OBIEKTU

W celu zbadania wpływu instalowania reflektorów doziemnych na temperaturę na powierzchni elewacji T_e , do badań wybrano jeden, spośród wielu istniejących obiektów iluminacyjnych w Rzeszowie. Obiekt ten oświetlany jest reflektorami doziemnymi z metalohalogenkowymi źródłami światła o mocy 75W. Odległość zainstalowanych reflektorów doziemnych od powierzchni ściany elewacyjnej wynosi 55 cm. Pomiary wykonano po kilku godzinach pracy reflektorów, z wykorzystaniem kamery termowizyjnej, przy ustalonej już maksymalnej temperaturze T_s na ich szybie. Temperatura otoczenia T_o w dniu pomiaru wynosiła $4,5^\circ\text{C}$.



Rys. 4. Rzeczywisty obraz oraz rozkład temperatury reflektora i ściany elewacyjnej w badanym obiekcie iluminacyjnym

Fig. 4. Real picture and temperature distribution of lamp and wall elevation in researched illumination object

Na rys. 4. przedstawiono rzeczywisty obraz badanego reflektora doziemnego (ppkt. a), oświetlanej ściany elewacyjnej (ppkt. c) a także poziomy oraz pionowy rozkład temperatury na badanym obiekcie. Poziomy rozkład temperatury na powierzchni reflektora pokazano w ppkt. b) natomiast pionowy rozkład temperatury na powierzchni elewacji został przedstawiony w ppkt. d).

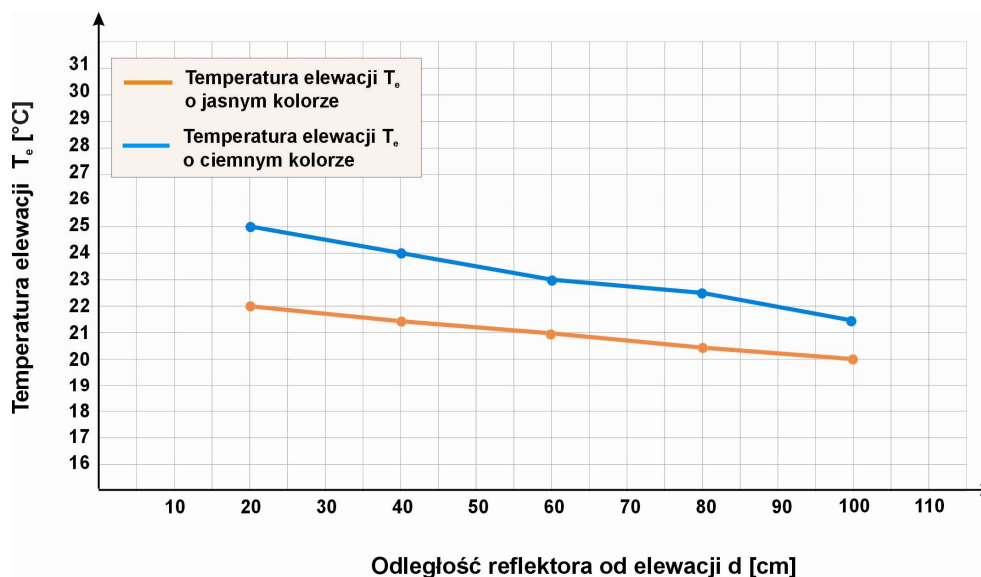
Na podstawie wykonanych pomiarów można wnioskować, że zainstalowane reflektory doziemne nieznacznie wpływały na temperaturę T_e , panującą na powierzchni

elewacji. Temperatura ta oscylowała wokół temperatury otoczenia T_o i wynosiła około 5°C . Największa wartość temperatury na powierzchni elewacji T_e , jednakże nieznacznie wyższa od temperatury otoczenia T_o , została zmierzona w najjaśniejszym punkcie plamy świetlnej (30cm nad powierzchnią podłoża) i wynosiła 6°C . Należy jednak zwrócić uwagę na wysoką temperaturę T_s panującą na szybie reflektora. Temperatura ta w centralnym punkcie szyby wynosiła $113,4^\circ\text{C}$. Zwykle producenci reflektorów doziemnych nie zamieszczają informacji na obudowie reflektorów doziemnych o tak wysokiej temperaturze T_s , mogącej występować na szybie reflektora. Informacja ta przeważnie zamieszczona jest tylko w karcie technicznej produktu. Reflektory te, zainstalowane głównie w ogólnie dostępnych miejscach (oświetlenie kościołów, obiektów publicznych, nowoczesnej architektury) mogą być przyczyną nieświadomych poparzeń, gdyż właściciele iluminowanych obiektów, z reguły również nie zamieszczają informacji o zagrożeniu związanym z przypadkowym dotknięciem reflektora.

5. WPLYW ODLEGŁOŚCI INSTALOWANIA REFLEKTORÓW DOZIEMNYCH NA ROZKŁAD TEMPERATURY NA POWIERZCHNI ELEWACYJNEJ

Niektórzy producenci reflektorów doziemnych, zamieszczają informację, zalecającą instalowanie reflektorów doziemnych w odległości 0,5m [2] od ściany obiektu iluminowanego. Odległość ta, związana jest głównie z jak najlepszym wyeksponowaniem oświetlanego obiektu. Czasami jednak mogą wystąpić przeszkody np. w postaci drzew, uniemożliwiające zainstalowanie reflektora w zakładanej odległości. Często wówczas, reflektor jest instalowany bliżej, niż sugerowana odległość przez producenta. Przy tak blisko umiejscowionym reflektorze, nasuwa się pytanie, czy temperatura T_s na szybie reflektora, mogąca dochodzić do 170°C , zbyt gwałtownie nie przenosi się na powierzchnię ściany elewacyjnej.

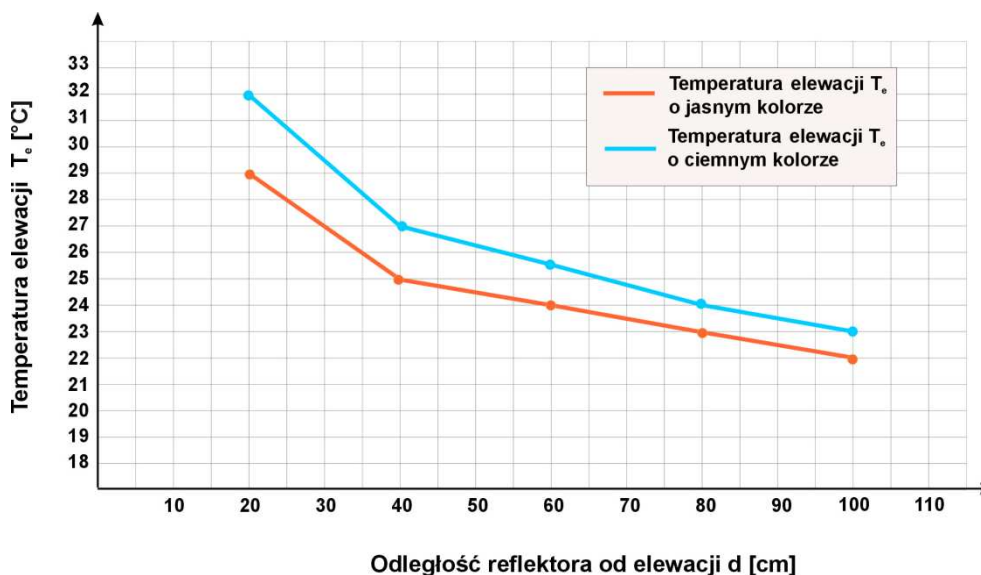
W celu określenia wpływu odległości zainstalowania reflektorów doziemnych od ściany elewacyjnej na rozkład temperaturowy na jej powierzchni, wybrano przykładowy obiekt, a następnie oświetlono go, zmieniając położenie reflektorów doziemnych. Ponieważ kolor elewacji również może mieć wpływ na temperaturę na jej powierzchni (ciemne kolory posiadają większy współczynnik pochłaniania ciepła), pomiary wykonano najpierw na tynku o jasnym kolorze (piaskowy), a następnie powtórzono na ścianie elewacyjnej o ciemnym kolorze (ciemnoniebieski). Do badań wykorzystano dwa reflektory z metalohalogenkowymi źródłami światła, o mocach odpowiednio 70 i 150W. Temperatura otoczenia T_o podczas pomiarów wynosiła 17°C .



Rys. 5. Temperatura na powierzchni elewacji w funkcji odległości reflektora od oświetlanej ściany - źródło światła o mocy 70W

Fig. 5. Elevation surface temperature in function of distance from illuminated wall - 70W power light source

Na rys. 5. przedstawiony został przebieg temperatury T_e na powierzchni elewacji dla badanego reflektora o mocy 70W. Kolorem niebieskim zaznaczono temperaturę na ścianie o ciemnym kolorze elewacji, natomiast kolorem czerwonym temperaturę na elewacji o jasnym kolorze. Początkowa odległość d zainstalowania reflektora wynosiła 100cm, a następnie była zmniejszana do wartości równej 20cm. . Temperatura T_s na szybie podczas pracy reflektora, osiągnęła wartość równą 100°C . Na podstawie wykresu można wnioskować, iż wpływ zainstalowania reflektora, nawet w bardzo bliskiej odległości od ściany oświetlanego obiektu, nieznacznie wpłynął na temperaturę T_e na powierzchni elewacji, zarówno tej o jasnym, jak i ciemnym kolorze. Temperatura ta, przy reflektorze zainstalowanym 100cm od powierzchni ściany, wynosiła nieznacznie więcej niż temperatura otoczenia T_o . W miarę zbliżania reflektora do ściany oświetlanego budynku, temperatura elewacji T_e nieznacznie rosła i w najbardziej krytycznym położeniu reflektora (20 cm od ściany budynku) wyniosła odpowiednio 22°C - dla jasnej i 25°C - dla ciemnej elewacji.



Rys. 6. Temperatura na powierzchni elewacji w funkcji odległości reflektora od oświetlanej ściany - źródło światła o mocy 70W

Fig.6. Elevation surface temperature in function of distance from illuminated wall - 150W power light source

Na rys. 6. pokazano analogiczny do poprzedniego wykresu, przebieg temperatury na elewacji, z tą różnicą, że badany obiekt został oświetlony reflektorem o mocy 150W. Temperatura T_s na szybie reflektora podczas jego pracy wynosiła 160°C . W porównaniu z reflektorem o mocy 70W, temperatura elewacji T_e była wyższa o kilka $^{\circ}\text{C}$. W najbardziej krytycznym miejscu zainstalowania reflektora (20cm od elewacji) wyniosła odpowiednio 29°C - dla jasnej i 32°C - dla ciemnej elewacji.

Reasumując, na podstawie powyższych wykresów można wnioskować, iż zainstalowanie reflektorów doziemnych o dużej mocy (150W), nawet w bliskim położeniu (20cm) od ścian obiektów oświetlanych, nie wykazuje niekorzystnego wpływu na stan materiałów elewacyjnych. Wzrost temperatury T_e na powłokach elewacyjnych, związany z zainstalowaniem reflektorów doziemnych, nie jest na tyle znaczący, że powinien powodować powstawanie niekorzystnych efektów we właściwościach eksploatacyjnych materiałów elewacyjnych.

6. PODSUMOWANIE

Celem przeprowadzonej analizy rozkładu temperatury wokół iluminacyjnych opraw doziemnych było sprawdzenie, czy elewacja budynku, w sąsiedztwie której zainstalowano wymienione reflektory, jest narażona na niszczące oddziaływanie termiczne. Z wykonanych pomiarów termowizyjnych wynika, że zgodnie z postawioną tezą, instalowanie opraw doziemnych w pobliżu elewacji wpływa na temperaturę na jej powierzchni. Wzrost temperatury o kilka lub kilkanaście stopni Celsjusza, w zależności od mocy

oprawy, nie powinien mieć istotnego wpływu na pogorszenie właściwości eksploatacyjnych materiałów elewacyjnych oraz przyczyniać się do ich przyspieszonej degradacji.

7. LITERATURA

- [1] Instrukcja obsługi kamery termowizyjnej FLIR i5,
- [2] Katalog opraw zewnętrznych System Uran 2011-2012 ES-SYSTEM,
- [3] Katalog zewnętrznych opraw oświetleniowych 2010 - 2012 PHILIPS,
- [4] Katalog źródeł światła 2012 OSRAM,
- [5] Katalog źródeł światła i osprzętu 2011 PHILIPS,
- [6] PN-90/E-01005, Technika świetlna. Terminologia, Wydawnictwa Normalizacyjne Warszawa 1991,
- [7] Simons R. H., Bean A. R.; Lighting Engineering. Applied Calculations, Architectural Press 2001,
- [8] The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application, The Lighting Authority 2000,
- [9] Wiśniewski A.; Elektryczne źródła światła, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010,
- [10] www.thornlighting.pl
- [11] www.tikkurila.pl - " Poradnik malowania elewacji ".
- [12] www.dekoral.pl - " EKO - Fasada - karta charakterystyki".
- [13] www.meteoprog.pl

THERMAL CONDITIONS RELATED WITH INSTALLATION OF GROUND MOUNTED LUMINAIRES IN ARCHITECTURE

SUMMARY

In article there was presented analysis of thermal conditions related with installation of ground mounted luminaires used in illumination of architectural objects. The objective of the analysis was verification of the thesis, that thermal effect of lamps installed near to elevation of building, which is associated with heat emission of light sources, has an impact to elevation condition. There was made a research of temperature distribution around the reflector and elevation using thermo vision.

Małgorzata Z. WILCZKIEWICZ, dr inż. arch.

Uniwersytet Rolniczy
Katedra Gospodarki Przestrzennej i Architektury Krajobrazu
ul. Balicka 253C, 30-149 Kraków
e-mail: m.wilczkiewicz@ur.krakow.pl

BUDOWANIE KRAJOBRAZU NOWYM KIERUNKIEM W ARCHITEKTURZE NOWEGO JORKU

STRESZCZENIE

Architektura nie istnieje w oderwaniu od krajobrazu. Zawsze jednak istniał pewien dystans pomiędzy domem a ogrodem- była to granica, która chroniła budynek przed niszczącą siłą roślinności. Te dwa, tak odległe od siebie środowiska - naturalne i sztuczne- zostały zmuszone do bardzo bliskiej kooperacji. Stało się tak za sprawą projektantów budujących krajobraz. Autorka omawia nowy kierunek na przykładach obiektów zrealizowanych ostatnio w Nowym Jorku.

1. WPROWADZENIE

Koniec wieku XX przyniósł wiele zagrożeń dla świata i ludzkości co spowodowało potrzebę współdziałania wszystkich kontynentów na wielu frontach. Idea Rozwoju Zrównoważonego, która pojawiła się na zjeździe ONZ-u w roku 1987 została uznana za ideę ogólnoświatową- uznano za konieczne przeciwstawienie się procesowi degradacji planety Ziemi. Przyjęto do realizacji program zapewniający spełnianie potrzeb teraźniejszości bez zawłaszczania możliwości przyszłych pokoleń dla własnego rozwoju.

2. SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Rozpoczęto realizację szeregu programów naukowych, technicznych i wdrożeniowych mających na celu oszczędzanie energii konwencjonalnej i rozwój energetyki grzewczej opartej o alternatywne źródła energii. W ramach ochrony środowiska pojawiły się programy ochrony wody i powietrza przed agresywnym działaniem przemysłu. Na fali *sustainable development* pojawił się termin *sustainable architecture*.

W miastach zazieleniły się dachy, które miały przywrócić równowagę termiczną w betonowych miejskich pustyniach. Zielone dachy obniżając temperaturę budynku przyczyniały się do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej pochłanianej przez klimatyzatory. Woda

pochodząca z opadów atmosferycznych zatrzymywana przez warstwy zielonego dachu paruje bezpośrednio do atmosfery omijając przeciążone miejskie systemy kanalizacyjne. Pyły znajdujące się w zanieczyszczonym miejskim powietrzu gromadzą się na zielonym dachu a zatem oczyszcza się powietrze którym oddychamy. Do zalet należy dodać także naturalny, zielony wygląd budynku. W ciągu ostatnich dwudziestu lat uporano się z problemami technicznymi pojawiającymi się na styku budynek- roślina. Pojawiły się firmy wyspecjalizowane w wykonawstwie a także nauczono się dobierać rośliny o szczególnej odporności na okresowe braki wody. (Fot.1)

Hasła recyklingu rozpowszechnione w Europie obiegły świat. Zaczęto bacznie przyglądać się terenom miejskim nie funkcjonującym w sposób prawidłowy. Zauważono, że na skutek niefortunnnych decyzji planistycznych i projektowych wiele budynków pojawiło się w krajobrazie w sposób nie do końca przemyślany lub też w wyniku zmian ekonomicznych przestały funkcjonować zgodnie z pierwotnym przeznaczeniem. Porzucone i opuszczone stawały się problemem dla miejscowych władz pragnących przywrócić ład przestrzenny.

3. REWITALIZACJA MIEJSKICH TERENÓW POPRZEMYSŁOWYCH.

Wiek XXI wprowadził w życie nowe technologie i rozwiązania techniczne, co sprawiło że obiekty a nawet całe obszary technologiczne które służyły miastu w XX wieku przestały być użytkowane. Mowa tutaj o kolejach nadziemnych, dokach portowych i starych fabrykach zlokalizowanych na terenie Manhattanu (Nowy Jork) Ze względu na wysoki koszt rozebranie i utylizacja stalowych konstrukcji i betonowych fundamentów przekraczało możliwości miejskiego budżetu, a zatem szukano innego rozwiązania.

3.1. Promenade Plantee (Paryż)

Idea zagospodarowania estakad pozostałych po nieużywanych trakcjach kolei nadziemnej przywędrowała do Stanów Zjednoczonych z Francji. Tutaj w 1993 roku został oddany do użytku park usytuowany na końcowej stacji linii kolei nadziemnej łączącej dzielnicę Vincennes z Paryżem. Fragment estakady kolejki został włączony do systemu miejskich kolei podziemnych a pozostała część trakcji kolejowej porastała samowysiewającymi się chwastami, odpornymi na działanie wysokiej temperatury i okresowe braki wody. Widok ten zainspirował architektów i wkrótce na deskach Philippe Mathieux i Jacques'a Vergely powstał projekt zagospodarowania nieużywanej estakady. W roku 1993 park nazwany La Promenade Plantee otworzył swoje podwoje dla zwiedzających. Tak więc nowa funkcja pozwoliła miastu odzyskać teren i zwrócić go mieszkańcom w formie zieleni miejskiej.

3.2. High Line Park (Nowy Jork)

Promenade Plantee zapewne sprawiła że mieszkańcy Meatpack District w Nowym Jorku zamierzali w podobny sposób zagospodarować znajdujące się w ich sąsiedztwie torowisko. W roku 2003 odbył się międzynarodowy konkurs architektoniczny na zagospodarowanie stalowej estakady *High Line*. Zwyciężył zespół architektów Diller Scofidio+Renfro oraz firma zajmująca się architekturą krajobrazu- Jamez Corner Field Operations. Przy realizacji współpracował także holenderski ogrodnik Pier Oudolf. Powstał współczesny wiszący park- ogród, będący efektem współpracy architektów, konserwatorów (metalowa konstrukcja wymagała zabezpieczenia) oraz ogrodników. Pierwszy fragment High

Line Park został oddany do użytku publiczności w 2009. Zielona enklawa, unosząca się nad powierzchnią Manhattanu jest dostępna z poziomu ulicy poprzez klatki schodowe i windy. Nawierzchnia terenu oraz sposób zagospodarowania przestrzeni nawiązuje bardzo wyraźnie do pierwotnej funkcji miejsca, ścieżki przypominają podkłady kolejowe a ławki przesuwają się wzdłuż szyn kolejowych celowo wprowadzonych jako element dekoracji przestrzennej. Całości niezwyklej lokalizacji tego parku dopełnia roztaczający się z estakady widok na Hudson River. Nowo otwarty park udostępnia swoje przestrzenie także osobom niepełnosprawnym, ponieważ dwie windy znajdujące się na estakadzie oraz ubikacje są przystosowane do obsługi osób poruszających się na wózkach. (Fot.2)

4. BUDOWANIE KRAJOBRAZU

4.1. Teardrop Park, Manhattan, NY

Pragnąc udostępnić mieszkańcom manhattańskich apartamentowców kontakt z przyrodą wybudowano fragment krajobrazu w przestrzeni międzyblokowej. Miejsce, gdzie znajduje się obecnie park było pierwotnie zupełnie płaskie. Konfiguracja terenu została tutaj utworzona w sposób sztuczny.

Teardrop Park jest to niewielki obszar znajdujący się pośrodku zabudowy mieszkaniowej Dolnego Manhattanu (New York City) zwanej Battery Park City. Został otwarty dla publiczności w 2004 roku. Kompozycyjnie Park jest podzielony na dwie części, w środku których znajduje się wysoka kamienna ściana, naśladująca naturalną skałę. Materiał do jej zbudowania (nieregularne, granitowe bloki) zostały sprowadzone z gór Catskill znajdujących się w stanie Nowy Jork. W środku ściany znajdują się otwory, z których wypływa woda na zewnątrz. Ideą Michaela Van Valkenburga¹, projektanta parku było utworzenie w zimie sopli lodowych, naśladujących oryginalne sople (ściana lodowa). Dwa obszary Parku łączy krótki tunel, który powstał jako hołd dla Fredericka Law Olmsteda, na wzór sztucznych tuneli wybudowanych w Central Parku. W Teardrop Park urządzenia do zabaw dla dzieci są integralnie związane z utworzonym w sposób sztuczny krajobrazem. Park był projektowany we współpracy z organizacją *Natural Learning Initiative*². Ziemia w Parku została przygotowana w ten sposób, aby mogła utrzymywać roślinność na terenie Parku bez ingerencji sztucznych nawozów. Teardrop Park stał się ulubionym miejscem

¹ Architekt krajobrazu Michael Van Valkenburg otrzymał w 2011 roku nagrodę Honorową ASLA za osiągnięcia w dziedzinie Architektury Krajobrazu dokonane w ciągu ostatnich 10 lat.

² Susan Hines, *Abstract Realism*, Landscape Architecture, February 2007. *Natural Learning Initiative* jest to organizacja skupiająca pedagogów i psychologów opracowujących systemy nauczania w kontakcie z naturą. Wg. Założycieli organizacji, cywilizacja poprzez gwałtowny rozwój oderwała dzieci i młodzież od natury które wstają w środowisku sztucznym (klimatyzowane pomieszczenia, podróże samochodem, sale gimnastyczne zamiast spacerów w terenie) *Natural Learning Initiative* próbuje to zmienić . <http://www.naturallearning.org>

mieszkańców okolicznych budynków a rozgłos jaki uzyskał Michael Van Valkenburg w środowisku architektów krajobrazu przyczynił się do otrzymania przez niego wielu nagród przyznawanych corocznie przez ASLA. Wydaje się, że przyczynił się także do otrzymania zlecenia na projekt i realizację Brooklyn Bridge Park, parku otwartego w roku 2010. Nowojorczyki zachwyceni Teardrop Park pokochali styl Valkenburga i zapragnęli kolejnych „zacisznych miejsc wśród skał i łąk” tuż zaraz obok swoich budynków apartamentowych. Wydaje się że jest on postacią najbardziej reprezentatywną wśród amerykańskich architektów krajobrazu młodego pokolenia działających w myśl idei *sustainable architecture*. (Fot. 3)

4.2. Restauracja przy Lincoln Center, NY, NY.

Omówione powyżej przykłady pokazują jak można stworzyć sztuczny krajobraz wykorzystując jako element nośny konstrukcje obiektów których funkcja uległa zmianie wraz z upływem czasu. Obecnie na fali *Green Sustainable Architecture* postanowiono zamienić betonowe, miejskie pustynie wielkich miast w oazy zieleni. Przykłady rewitalizacji terenów przemysłowych są dowodem, że jest to możliwe. A zatem wykorzystuje się każdy nowy pomysł pozwalający na wprowadzenie zieleni w mury miast. Przyszła więc moda na budowanie budynków, będących elementem krajobrazu w mieście. Architekci nie zadawają się już projektowaniem zielonego dachu, którego celem jest reemisja spalin i obniżenie temperatury powietrza. Powstają budynki które są sztucznym krajobrazem. Zielony dach jest nie tylko zieloną plamą w szarej strukturze miasta. Jest naturalną zielenią, trawnikiem na który można wejść bosą nogą lub odpocząć na trawie. Oddany w 2011 roku do użytku budynek kawiarni przy Lincoln Center jest właśnie tego typu architekturą. (Fot.4)

Wydaje się że idea Frank Lloyd Wrighta całkowitego zespolenia architektury z krajobrazem wchodzi w życie właśnie teraz. Wzory amerykańskie przenikają do Europy. Kierunki stają się ogólnoswiatowe, nie ma podziału na stary i nowy kontynent. Jest tylko dobre albo złe rozwiązanie. Projektanci przemieszczają się z kraju do kraju, projektując w różnych miejscach świata architekturę, która jest wizytówką ich stylu.

Zespół teatrów Lincoln Center wybudowany pół wieku temu pełni rolę centrum kulturalnego dla tej części Manhattanu zwanej Upper West Side. W miejscu gdzie znajdował się modernistyczny plac zamknięty ulicą wybudowano pawilon-restaurację³, budynek który przyciąga uwagę turystów i aktorów. Jego dach w kształcie siodłowym sięgający do ziemi (hyperboidalno-paraboidalny) jest ogólnie dostępną publiczną łąką na której można spacerować bosą, ba nawet położyć się w upalny, letni dzień. (Fot. 5) Niezwykły budynek powstał w kooperacji dwóch firm: Diller Scofidio+ Renfro⁴ (DSR) i FXFOWLE jako jeden z elementów renowacji modernistycznego kompleksu the Juilliard School i Alice Tully Hall. Ideą projektantów było przełamanie szarej monotonii modernistycznej, betonowej

³ Linda c.Lentz, *Lincoln Restaurant Pavilion & Lawn*, Architectural Record 06/2011 s.47-53

⁴ Diller Scofidio + Renfro firma ta zajmująca się architekturą krajobrazu jest autorem omawianego już w tekście High Line Park.

przeźreni miejskiej poprzez wprowadzenie trójkąta naturalnej, prawdziwej zieleni. Za-projektowany budynek ma także pełnić rolę bariery osłaniającej Lincoln Center przed hała-sem dochodzącym z ruchliwej ulicy sąsiadującej z placem.

Sama konstrukcja zielonego dachu, o grubości od 30-45 centymetrów zawiera w sobie szereg warstw izolacji wodoszczelnych jak również system drenażowy zapewniający odpływ wody z nietypowej łąki. Zastosowano również specjalne zabezpieczenia za-bezpieczające przed zsuwaniem się darni na skutek ulewnego deszczu. Zasiana tam trawa pochodzi z odpowiednio dobranych gatunków (*Kentucky Bluegrass* i *Tall Fescue Grass*) pomieszanych w proporcjach zarekomendowanych przez eksperta z Cornell Department of Horticulture dr. Franka Rossi. Restauracja Lincoln Center nie jest jedynym przykładem „budowania krajobrazu” Na całym świecie powstają budynki przypominające sztuczne wzgórza pokryte zieloną murawą. Do tych najbardziej znanych możemy zaliczyć Muzeum Holokaustu w Los Angeles⁵ autorstwa Belzberg Architects. „Krajobrazowe” budynki powstają także w Europie. City of Culture of Galicia –archiwum i biblioteka Galicji⁶, kom-pleks znajdujący się ciągle w budowie w mieście Santiago de Compostella (Hiszpania) Budynki w kształcie sztucznych gór mieszczą bardzo różne funkcje a skomplikowany sys-tem zielonego dachu jest dodatkową atrakcją plastyczną. Zielony dach jest wykorzysty-wany jako przestrzeń rekreacyjna. Na zamieszczonym poniżej zdjęciu widzimy turystów wypoczywających na sztucznej łące dachu „tarasu” nowo wybudowanej restauracji przy Lincoln Center.

5. PODSUMOWANIE

Miejsce styku dwóch podstawowych środowisk- naturalnego i sztucznego- jest w wizji przestrzeni architektonicznej i ogrodowej linią demarkacyjną pomiędzy dwiema dziedzinami kształtowania przestrzennego- architekturą i architekturą krajobrazu. Przez stulecia te dwa środowiska pozostawały w ścisłej separacji a niekontrolowane próby przekraczania tej granicy kończyły się destrukcją budynku spowodowaną poprzez inwazję roślin.

Wydaje się że te dwa systemy –naturalny i sztuczny – wreszcie zaczęły ze sobą kooperować. Po latach prób i doświadczeń architektki odnaleźli sposób aby rozwiązać pro-blemy techniczne związane z połączeniem dwóch środowisk, naturalnego i sztucznego w sposób nie powodujący wzajemnej destrukcji. Możemy jedynie śledzić rozwój tego nowatorskiego kierunku zastanawiając się czy wejdzie on na trwałe do historii światowego budownictwa czy też pozostanie efemerydą , modą jednego sezonu.

6. LITERATURA

- [1] Sarah Amelar *Brooklyn Bridge Park-Designers transform a defunkt shipping complex and reconnect a city with its waterfront* Architectural Record January 2011 s.82-89
- [2] Waclaw Celadyn, *Architektura a systemy roślinne- stadium relacji między elementami architektonicznymi a roślinnymi*, Politechnika Krakowska 1992

- [3] Linda c.Lentz, *Lincoln Restaurant Pavilion & Lawn*, *Architectural Record*06/2011, s.47-53
- [4] Susan Hines, *Abstract Realism*, *Landscape Architecture*, February 2007.
- [5] [http:// www.thehighline.org/](http://www.thehighline.org/)
- [6] <http://www.promenade-plantee.org>
- [7] <http://www.brooklynbridgepark.org>
- [8] <http://www.Theteardroppark.org>

THE ARTIFICIAL LANDSCAPE AS A NEW TREND IN XXI CENTURY ARCHITECTURE.

SUMMARY

Green space as a method of revitalization of post-industrial urban places is well known. Two of the New York's latest parks were created in very exceptional places, using as a structure base existing elevated train tracks. Artificial landscape was build atop of the tracks. On the beginning of the XXI Century the architects create the new Hybrid-buildings combined with plants, according to the rules of the sustainable architecture.

SPIS RYSUNKÓW



Rys. 1. Badanie wytrzymałości roślin pod kątem dachowych nasadzeń, Staten Island, NY.

Fot. autor

Fig. 1. Testing station for plant suitability & use regarding future green roofs, Staten Island, NY.



Rys. 2. Wejście do High Line Park (12th.Street West) NYC, NY. Fot.autor
Fig. 2. The 12th.Street Entrance to the High Line Park, NYC, NY.



Rys. 3. Sztuczna ściana przedzielająca The Teardrop Park, NYC, NY. Fot.autor
Fig. 3. The artificial wall divided the space of The Teardrop Park, NYC, NY.



Rys. 4. Restauracja przy Lincoln Center, NYC, NY. Fot. autor
Fig. 4. Restaurant near Lincoln Center, NYC, NY.



Rys. 5. Turyści wypoczywający na dachu-tarasie restauracji przy Lincoln Center, NYC, NY.
Fot. autor
Fig. 5. Tourists resting on the roof of the restaurant at the Lincoln Center, NYC, NY.

Beata WILK-SŁOMKA, dr inż.

Politechnika Śląska
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice
e-mail: Beata.Wilk-Slomka@polsl.pl

WPLYW ZASTOSOWANIA PASYWNYCH SYSTEMÓW POZYSKIWANIA ENERGII SŁONECZNEJ NA CHARAKTERYSTYKĘ ENERGETYCZNĄ BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono analizę wpływu zastosowania pasywnych systemów pozyskiwania energii słonecznej na charakterystykę energetyczną budynku jednorodzinne. Wykorzystanie systemu zysków bezpośrednich to najprostsza forma pasywnego pozyskiwania energii promieniowania słonecznego. W analizach rozpatrywano wpływ zmiany rozwiązań strukturalno-materiałowych przegród nieprzezroczystych (wybrane przegrody zewnętrzne i wewnętrzne) oraz współczynnika przenikania ciepła przegród przezroczystych (okien) na zyski ciepła od promieniowania słonecznego, wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną i końcową oraz zapotrzebowanie na energię dla celów grzewczych i wentylacji dla budynku jednorodzinne.

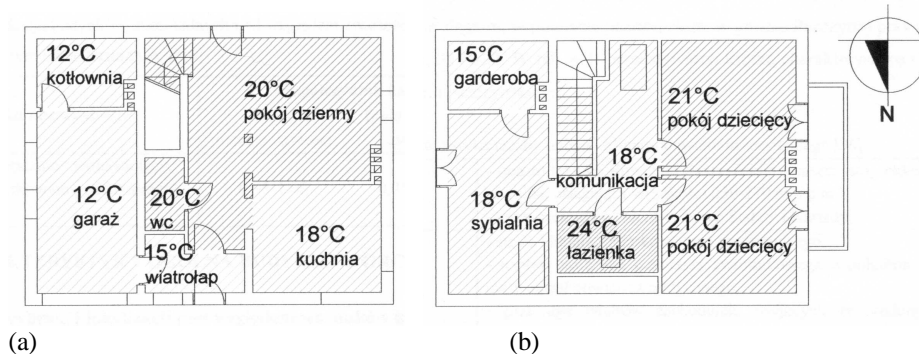
1. WPROWADZENIE

Systemem zysków pasywnych (biernych) określa się takie sposoby wychwytywania, akumulacji i rozdziału zysków ciepła, w których procesy heliologiczne przebiegają bez stosowania mechanicznych urządzeń napędowych. Transport ciepła odbywa się na drodze konwekcji naturalnej, przewodzenia i promieniowania. Istota działania pasywnych systemów wykorzystania energii promieniowania słonecznego polega na przepuszczaniu do wnętrza obiektu promieniowania krótkofalowego przez przezroczyste przegrody, które na napotkanych elementach struktury budynku ulegają konwersji w energię cieplną. Elementy pochłaniające nagrzewając się emitują długofalowe promieniowanie cieplne, które nie jest wypromieniowywane na zewnątrz. O efektywnym funkcjonowaniu pasywnego systemu

pozyskiwania energii słonecznej decyduje ściśle określony (zaprojektowany) układ strukturalno-materiałowy. Jednym z najprostszyc pasywnych systemów pozyskiwania energii słonecznej jest system zysków bezpośrednich. Pochłanianie, akumulowanie i emitowanie ciepła następuje w obrębie pomieszczenia. Pozyskane ciepło przez przegrody przezroczyste (elementy obudowy zewnętrznej) w pewnej części ogrzewa powietrze w pomieszczeniu, a jego chwilowa nadwyżka jest akumulowana w masywnych przegrodach budowlanych (ściany wewnętrzne, stropy, posadzki). Ogrzewane pomieszczenie w całości stanowi kolektor, a otaczające je przegrody – zasobnik i emiter (grzejnik) energii cieplnej pozyskanej z promieniowania słonecznego [2], [3].

2. PRZEDMIOT ANALIZ

Przedmiotem pracy jest budynek mieszkalny jednorodzinny, niepodpiwniczony, parterowy z poddaszem użytkowym, zlokalizowany w Katowicach, przeznaczony dla czterech osób. Budynek zaprojektowany został na rzucie prostokąta o wymiarach 11,3x8,6 m; wykonany w technologii tradycyjnej murowanej; przykryty dwuspadowym dachem o kącie nachylenia 45°; dach przekryty dachówką ceramiczną. Współczynnik kształtu budynku wynosi $A/V_e=0,82 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ – bryła średnio zwarta zgodnie z klasyfikacją przedstawioną w pracy [4]. Układ funkcjonalny charakteryzuje się wyraźnie wydzieloną strefą dzienną i nocną. Układ pomieszczeń został dokonany przy zastosowaniu strefowania pomieszczeń – pomieszczenia najcieplejsze zostały usytuowane w centrum, a wokół nich rozplanowano chłodniejsze. Na rys. 1 przedstawiono rzut parteru i piętra przedmiotowego budynku [1].



Rys. 1. Rzut budynku: (a) parter, (b) poddasze [1]
 Fig. 1. Projection of the building: (a) ground floor, (b) attic [1]

Zestawienie powierzchni [1]:

- powierzchnia całkowita: 193,36 m²
- powierzchnia użytkowa ogrzewana: 124,40 m²
- kubatura brutto: 608, 20 m³
- kubatura ogrzewana brutto: 491,20 m³.

Obliczenia zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną przeprowadzono zgodnie z procedurą zawartą w [6], dodatkowo przyjęto następujące dane:

- c.o.: kocioł 2-funkcyjny gazowy 70%, biomasa 30%; c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny gazowy;
- wentylacja: grawitacyjna.

Współczynniki przenikania ciepła dla poszczególnych przegród wynoszą spełniając wymagania izolacyjności termicznej zawarte w [5] – por. tab. 1. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną i końcową wynosi odpowiednio: EP = 231,42 [kWh/m²a], EK = 292,81 [kWh/m²a].

3. METODOLOGIA ANALIZ

Pierwszym krokiem analiz była zmiana rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych (zwiększenie grubości materiału izolacyjnego) oraz wybranych przegród wewnętrznych (zmiana pojemności cieplnej). Współczynniki przenikania ciepła charakteryzują się niższymi wartościami niż podane w [5] – por. tab. 1, grupa G1 (W1÷W5). W drugim kroku zmniejszono wartość współczynnika przenikania ciepła przegród tak, aby został spełniony warunek: $U \leq 0,15$ [W/m²K] – por. tab. 1, grupa G2, (W6÷W10). Jednocześnie, w obu grupach zmieniono parametry przegród przezroczystych (okien) – współczynnik przenikania ciepła, rodzaj szklenia, ilość szyb i współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego – por. tab. 2. We wszystkich obliczeniach przyjęto jednakowe rozwiązania instalacyjne, jak dla wariantu wyjściowego W0.

Tabela 1. Współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych

Table 1. Heat transfer coefficients of building partitions

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m ² K]		
	wariant wyjściowy (W0)	grupa G1 (W1÷W5)	grupa G2 (W6÷W10)
Podłoga na gruncie	0,32	0,25	0,15
Ściany zewnętrzne	0,26	0,21	0,15
Strop nad garażem	0,24	0,21	0,14
Strop nad poddaszem	0,23	0,20	0,14
Dach	0,23	0,21	0,15
Ściana wewnętrzna oddzielająca garaż od parteru	0,44	0,32	0,21

Tabela 2. Charakterystyka przegród przezroczystych (okna jednoskrzydłowe)
 Table 2. Window's parameters of individual variants

parametr wariant	współczynnik przenikania ciepła okna U_{okna} [W/m ² K]	rodzaj szklenia	ilość szyb	profil okna	współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego g [-]
W0	1,60	zwykłe	dwie	3-komorowy PCV uszczelnienie zewnętrzne	0,75
W1, W6	1,20	zwykłe	dwie	3-komorowy PCV uszczelnienie zewnętrzne	0,75
W2, W7	1,10	jedna powłoka selektywna	dwie	5-komorowy PCV	0,67
W3, W8	0,95	dwie powłoki selektywne	trzy	5-komorowy PCV wkładka termiczna	0,50
W4, W9	0,86	dwie powłoki selektywne	trzy	5-komorowy PCV wkładka termiczna	0,50
W5, W10	0,95	zwykłe	trzy	5-komorowy PCV wkładka termiczna	0,70

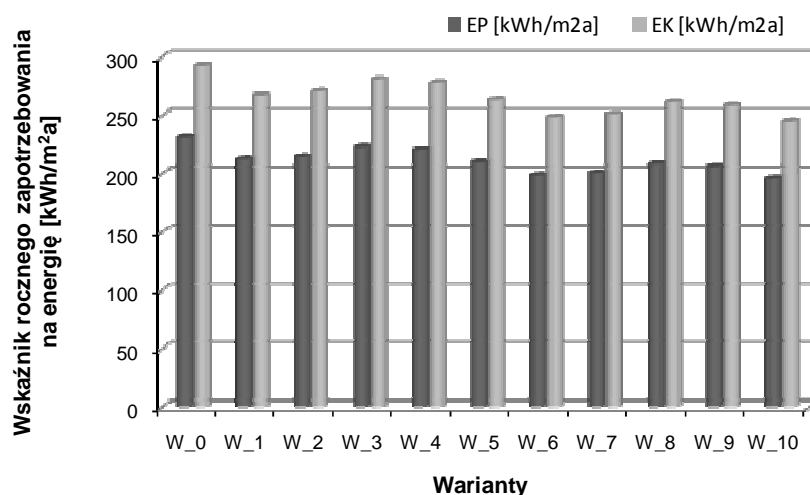
Rozpatrywano okna o wymiarach: 0,9 x 0,9; 0,9 x 1,5; 0,6 x 1,5; 1,5 m x 1,5 m. Współczynniki przenikania ciepła okien zostały obliczone przy pomocy programu GAP-i [7]. Przy opracowaniu charakterystyki przegród przezroczystych korzystano dodatkowo z ogólnodostępnych kart technicznych różnych producentów okien oraz [4], [5].

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Dla poszczególnych wariantów (W1÷W10) przeprowadzono analizę zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, końcową, energię do ogrzewania i wentylacji, a także zysków ciepła od nasłonecznienia w miesiącach sezonu grzewczego. Na rys. 2÷5 przedstawiono wybrane wyniki obliczeń.

Najmniejsze zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną wśród rozwiązań grupy G1 (W1÷W5) otrzymano dla wariantu W5 – wskaźnik EP = 209,62 [kWh/m²a]. Przyjęcie w obliczeniach wartości współczynnika przenikania ciepła przegród zgodnie z danymi zawartymi w tab. 1 i 2, spowodowało zmniejszenie wartości wskaźnika EP o 10% w porównaniu do wariantu W0. Wariant W5 charakteryzuje się także najniższą wartością wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową EK = 263,59 [kWh/m²a], co dało także zmniejszenie wskaźnika EK o 10% w stosunku do wariantu wyjściowego.

W grupie G2 najmniejsze zapotrzebowanie na energię pierwotną i końcową uzyskano dla wariantu W10. W tym przypadku uzyskano zmniejszenie wartości wskaźników EP i EK o kolejne 6%, co w efekcie końcowym, w porównaniu do wariantu W0 dało zmniejszenie zapotrzebowania na energię o 16%. Wartości wskaźników EP i EK dla poszczególnych wariantów przedstawiono na rys. 2.

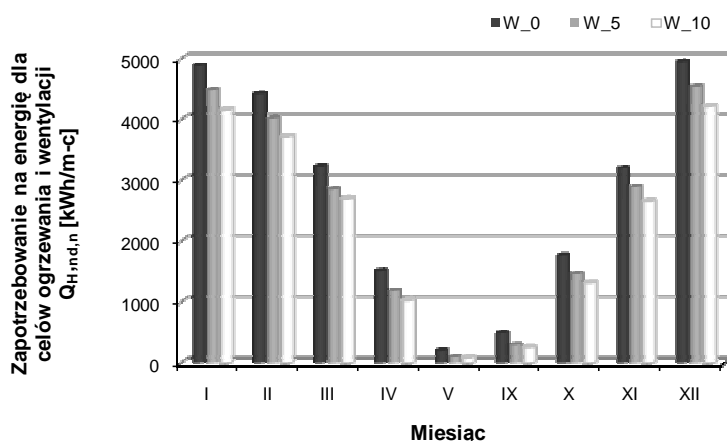


Rys. 2. Wskaźniki zapotrzebowania na energię pierwotną (EP) i końcową (EK)
Fig. 2. Demand of primary (EP) and final (EK) energy

Analizując wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię dla celów grzewczych i wentylacji ($Q_{H,Nd,n}$), najniższe wartości zapotrzebowania uzyskano dla wariantu W5 w grupie G1 oraz W10 w grupie G2. Po zastosowaniu modyfikacji (por. tab.1, 2) wartość wskaźnika $Q_{H,Nd,n}$ w ujęciu rocznym, zmniejszyła się odpowiednio dla grup G1 i G2 o 12% oraz 19%, wartości uzyskanego dla wariantu W0. Rozpatrując wartości wskaźnika $Q_{H,Nd,n}$ w miesiącach grzewczych dla wariantu W5 uzyskano zmniejszenie o 8÷50% w porównaniu z wariantem W0. Natomiast dla wariantu W10 wartość $Q_{H,Nd,n}$ zmniejszyła się o 14 ÷ 57% w stosunku do wariantu wyjściowego – por. rys. 3. Redukcja zapotrzebowania zależy od miesiąca sezonu grzewczego – największa w miesiącu maj, czerwiec. W miesiącach zimowych (grudzień-luty) spadek zapotrzebowania waha się w granicach 8 ÷ 15%.

Wartości zysków ciepła od Słońca w okresie miesięcznym i rocznym są stałe odpowiednio dla wariantów, w których zastosowano okna o tych samych parametrach – por. rys. 5, tab. 2. Najmniejsze zyski ciepła uzyskano dla wariantów W3, W4, W8 i W9. W tych wariantach zastosowano okna o najniższym współczynniku przepuszczalności promieniowania słonecznego: $g = 0,5$. Ponadto okna te charakteryzowały następujące parametry: trzy szyby, dwie powłoki selektywne, profil okna wykonany jako 5-komorowy PCV z wkładką termiczną. Zatem pokrycie szyb powłokami selektywnymi oraz niska wartość współczynnika przepuszczalności wpłynęło na najniższą wartość zysków ciepła wśród rozpatrywanych wariantów (W1÷W10).

Największymi zyskami ciepła od promieniowania słonecznego w ujęciu miesięcznym, jak i rocznym charakteryzują się warianty W1, W6. W tych wariantach przyjęto okna o najwyższym współczynniku przepuszczalności promieniowania słonecznego: $g = 0,75$, z szybami zwykłymi, bez dodatkowych powłok selektywnych, i profilu wykonanym jako 3 komorowy.



Rys. 3. Zapotrzebowanie na energię dla systemu grzewczego i wentylacji w miesiącach grzewczych

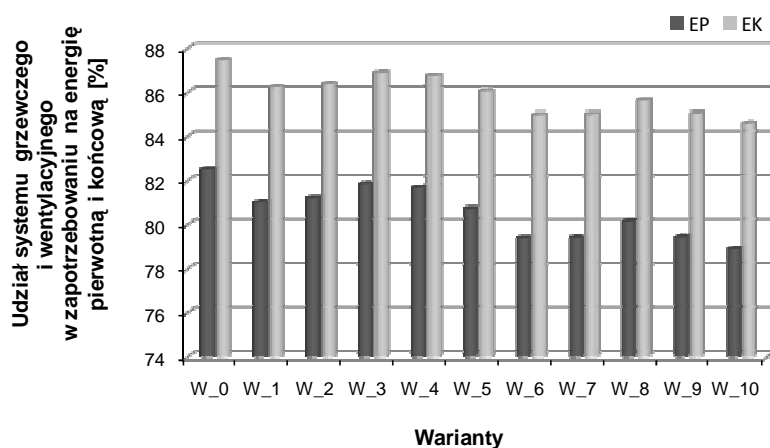
Fig. 3. Energy demand for heating and ventilation system in the heating season

Kierując się przy wyborze najlepszego wariantu kryterium najniższej wartości wskaźnika EP najkorzystniejszym wariantem jest zatem rozwiązanie W10. Biorąc dodatkowo pod uwagę koszty eksploatacyjne czyli zapotrzebowanie na energię końcową – charakteryzuje się on także najniższą wartością wskaźnika EK.

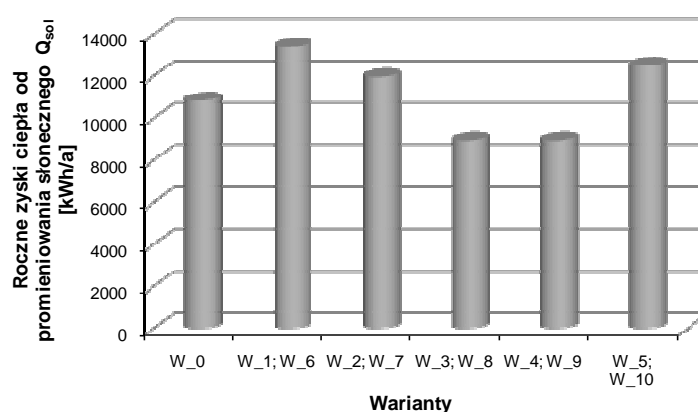
Grubość materiału izolacyjnego ściany zewnętrznej zwiększyła się z $d_1 = 0,12$ m dla rozwiązania wyjściowego W0 do $d_2 = 0,18$ m dla wariantu W10 (wzrost o 50%). Wartość współczynnika przenikania ciepła okien dla wariantu W10 wykazuje spadek o 59% w stosunku do wariantu W0.

Zapotrzebowanie na energię dla celów grzewczych i wentylacji dla najbardziej korzystnego wariantu W10 stanowi 79% całkowitego zapotrzebowania na energię pierwotną

oraz 84% zapotrzebowania na energię końcową – por. rys. 4. Energooszczędne okna zapewniły mniejsze zapotrzebowanie na energię w miesiącach zimowych, pomimo mniejszej liczby dni słonecznych niż w porze letniej, co jest ich dodatkową zaletą.



Rys. 4. Procentowy udział zapotrzebowania na energię dla systemu grzewczego i wentylacji całkowitemu zapotrzebowaniu na energię pierwotną i końcową
 Fig. 4. The percentage of energy demand for heating and ventilation system in the total primary and final energy



Rys. 5. Roczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego
 Fig. 5. Yearly solar heat gains

5. PODSUMOWANIE

Poszukiwanie oszczędności energetycznych wiąże się z jednej strony z ograniczeniem strat ciepła, a z drugiej efektywnym pozyskaniem i wykorzystaniem energii ze środowiska naturalnego. Wazną rolę w tym procesie powinny odgrywać pasywne systemy pozy-

skiwania energii słonecznej. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu zysków bezpośrednich. Realizacja tego rodzaju systemu następuje poprzez dobór okien o odpowiedniej powierzchni uwzględniającej orientację budynku względem stron świata, współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego oraz współczynnika przenikania ciepła, a także wykorzystanie pojemności cieplnej przegród (zdolności do akumulacji ciepła). Udział zysków słonecznych w bilansie cieplnym budynku zależy od rodzaju, właściwości i wielkości komponentów pełniących w budynku funkcję pasywnego kolektora energii. Stosowanie okien z powłokami selektywnymi pozwala na zmniejszenie strat ciepła, ale jednocześnie przyczynia się do zmniejszenia zysków ciepła od energii słonecznej. Właściwie zaprojektowane rozwiązania strukturalno-materiałowe przegród pozwolą na realizację procesów pochłaniania i akumulowania ciepła, a co za tym idzie zapewnią także warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniach.

6. LITERATURA

- [1] Adamowicz W.: Analiza celowości i zakresu zastosowania pasywnych systemów pozyskiwania energii słonecznej w budynku jednorodzinym. Rozprawa magisterska, Gliwice 2010
- [2] Chwieduk D., Laskowski L., Wnuk R.: Budynki i ich elementy do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu. Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa 1990.
- [3] Idczak M., Firląg S.: Okna w budynkach pasywnych-funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny. Świat szkła, nr 7, 8/2006
- [4] Laskowski L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008
- [5] Rozporządzenie MI, DzU Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami
- [6] Rozporządzenie MI, DzU Nr 201, poz. 1240 z późniejszymi zmianami
- [7] program komputerowy GAP-i, wersja edukacyjna

INFLUENCE OF USING PASSIVE SOLAR ENERGY SYSTEMS ON THE ENERGY PERFORMANCE OF SINGLE-FAMILY BUILDING

SUMMARY

In the article an analysis of using passive solar systems at the single-family building was described. Using the direct heat gain system by the windows usage is the easiest form of passive solar system. We can also use the heat storage capacity of building partitions (walls, ceilings and floors). The solar heat gain depends on: the surface of windows, the coefficient of windows and glass heat transfer, the type of glazing, the kind of window's profile and the permeability of the solar radiation coefficient. An important problem, which we must consider during deliberations of using passive solar systems is the overheating rooms.

Anna Marta WŁODARCZYK, dr inż. architekt i urbanista

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie
Instytut Architektury
ul. Obrońców Tobruku 5; 48-300 Nysa
e-mail: annamartawlodarczyk@gmail.com

ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE W KRAJOBRAZIE POLSKI

STRESZCZENIE

Temat pozyskiwania „zielonej” energii, przede wszystkim dzięki elementom fotowoltaicznym nie jest w Polsce tak popularny, jak w Niemczech, gdzie coraz częściej stosuje się nową technikę do korzystania z odnawialnych źródeł energii.

Natomiast w Polsce także obserwuje się od niedawna proces montowania różnorodnego rodzaju wyposażenia ulicy, które współpracuje z techniką fotowoltaiczną lecz w mniejszym zakresie.

Artykuł ma na celu scharakteryzowanie tychże energooszczędnych składników miejsc publicznych, jako nowego sposobu kształtowania krajobrazu Polski. Wyniki opracowania mają przedstawić znaczenie, jakie odgrywają energie odnawialne w tworzeniu wizerunku miast i pejzaży polskich oraz odnoszą się do systematyki elementów fotowoltaicznych w infrastrukturze drogowej.

1. WPROWADZENIE

Energia odnawialna na świecie cieszy się coraz większą popularnością – zwłaszcza w krajach europejskich. Ma to duże znaczenie przy tworzeniu nowego wizerunku naszych miast, jako że elementy fotowoltaiczne są coraz częściej, choć ciągle jeszcze w małym zakresie, zauważalne na ulicach miast i przy drogach szybkiego ruchu w Polsce.

Energia pochodząca ze źródeł odnawialnych, takich jak między innymi słońce, stanowi, zdaniem wielu naukowców, odpowiedź na obecne i przyszłe zapotrzebowanie na prąd, co zauważalne jest także w wyglądzie naszych miast i panoram pozamiejskich.

2. WARUNKI ENERGETYCZNE W POLSCE A „ZIELONA” ENERGIA

Energia odnawialna w Polsce powinna być ważnym składnikiem polskiej polityki energetycznej. Stanowi jednak dotychczas wyzwanie i problem dla kraju. Pomimo, iż

perspektywy się polepszyły, Polska znajduje się wyraźnie w końcowym przedziale w porównaniu z innymi krajami Unii Europejskiej, jeśli chodzi o korzystanie z energii odnawialnej. Polska polityka środowiskowa postawiła sobie za cel podwyższenie do roku 2010 udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym z dotychczasowych 5,0% do 7,5% a do roku 2020 do 15 %. Dziesięć lat później sytuacja ma niewiele się zmienić: do roku 2030 procentowy udział OZE w gospodarce energetycznej Polski ma wzrosnąć zaledwie o jeden procent w porównaniu z latami ubiegłymi. Szacowany potencjał użytkowy tych źródeł wynosi obecnie około 4,5% [1].

W roku 2008 około 58,80% energii w Polsce pochodziło z węgla kamiennego i brunatnego, który jest w tej części Europy bardzo popularny. Dużą popularnością cieszy się ponadto olej i gaz. Łatwo natomiast zauważyć, że energia odnawialna to zaledwie wspomniane niecałe pięć procent udziału.

Jednak pomimo przeważającego udziału węgla w strukturze energetycznej kraju mówi się w Polsce o konieczności jego wycofania, co stoi w sprzeczności z polityką energetyczną w Niemczech, głównie w rejonie Brandenburgii, gdzie węgiel przeżywa od kilku lat swój renesans. Podobnie sprzeczność z naszymi zachodnimi sąsiadami pojawia się w planach budowy w Polsce elektrowni atomowych.

Po katastrofie elektrowni atomowej w Japonii w roku 2011 Niemcy, wobec licznych protestów ludności, wycofały się bowiem z programu atomowego, co w najbliższej przyszłości ma wyrazić się w zamykaniu elektrowni atomowych najpóźniej do roku 2023.

Wobec takiego obrazu energetycznego, energie odnawialne wyrażające się na przykład czerpaniem ze źródeł promieni słonecznych w postaci elementów fotowoltaicznych są przyjazne człowiekowi i przyrodzie. Ich awaria nie grozi katastrofą, a podejmując aspekt architektoniczny wyrażać one mogą nowoczesny charakter zabudowy miast i ich ulic.

3. ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE W KRAJOBRAZIE POLSKI

Dla włączenia energii odnawialnych w strukturę energetyczną miasta przedstawiać można wiele wariantów nie tylko krajobrazowych ale także architektonicznych. Rozwiązania obejmują zarówno budynki pojedyncze samowystarczalne energetycznie, jak również zabudowę zintegrowaną w postaci sieci budynków. Dążenie do samowystarczalności energetycznej obiektów jest ważne, jako że optymalnym rozwiązaniem jest obsługiwanie zabudowy energią w sposób zdecentralizowany. W przypadku aktywnego korzystania z energii solarnej szczególnie ważną możliwością jest bezpośrednie przekształcenie energii promieniowania w energię elektryczną za pośrednictwem urządzeń fotowoltaicznych. W zależności od typu komórek słonecznych stopień aktywności przekształcania promieniowania słonecznego w energię elektryczną waha się od 5 do maksymalnie 15 procent [3].

Z prądu powstającego dzięki ogniom fotowoltaicznym korzystać można zarówno poprzez połączenie z baterią magazynującą, jako prąd o zasięgu wyspowym (zdecentralizowany), jak i poprzez połączenie sieciowe o niskim lub średnim napięciu. Poprzez wysokie koszty komórek fotowoltaicznych energia powstająca z ogniw fotowoltaicznych wobec energii wytwarzanej w sposób konwencjonalny w dużych zakładach jest droższy o czynnik od trzeciego do dziesiątego [3], co wiąże się ze wysokimi kosztami inwestycji początkowej. Natomiast uwzględnić należy jednak długoterminową opłacalność i zwrot kosztów inwestycji w urządzenia fotowoltaiczne po początkowym znacznym wydatku.

Obok aspektów architektonicznych ważne są także aspekty krajobrazowe przy korzystaniu z nowych technologii energetycznych. Przykłady z zachodniej Polski (trasa Wrocław - Poznań) przedstawiają krajobraz pól przydrożnych, gdzie elementy fotowoltaiczne stanowią o unowocześnieniu tego wizerunku (fot. 3).

Podobnie na południu kraju urządzenia solarne uaktualniają widok pól i miejscowości w tle (fot. 1, trasa Świnna Poręba – Wadowice). Tam też, w okolicach Zatoru, krajobraz miejski jest miejscami zintegrowany z elementami fotowoltaicznymi (fot. 2). Kolejnym przykładem są okolice Sanoka (fot.4), w południowo-wschodniej Polsce, gdzie energia słoneczna jest także w niektórych miejscach pozyskiwana do oznaczenia przejścia dla pieszych.

Przejścia te są oznakowane poprzez systemy fotowoltaiczne w zestawieniu z zabudowanymi widokami (fot. 6) a także przydrożne obrazy okazują się ciekawe technicznie, bo wyposażone są w elementy fotowoltaiczne (fot.5).

Ta niewielka różnorodność estetyczna i funkcjonalna jest dużym kontrastem w stosunku do bogatych rozwiązań krajobrazowo-energetycznych w Niemczech [2], gdzie realizuje się projekty nie tylko poza miastem przy drogach samochodowych, ale także w miastach. W śródmieściach ustawiane są tam meble uliczne wyposażone w urządzenia fotowoltaiczne o charakterystyce zarówno krajobrazowej, jak i urbanistycznej. Nie brak także akcentów architektonicznych w technice. Tu przykładem może być montowanie elementów fotowoltaicznych na fasadach i dachach budynków już istniejących.



Fot.1. Zestaw hybrydowy: element fotowoltaiczny (oraz mały wiatrak) produkujący energię dla oświetlenia znaku przejścia dla pieszych nad ulicą. W tle tradycyjny krajobraz Świnnej Poręby. Zdjęcie wykonane przy trasie Świnna Poręba-Wadowice na południu Polski.. Zdjęcie: autorka

Fig.1. Hybrid: Photovoltaic element (and small windmill), producing energy for the light of the sign of pedestrian crossing on the road. In the background the traditional landscape of Świnna Poręba. The photo made by the car way Świnna Poręba – Wadowice, on the south of Poland.

Photo: The author



Fot.2. Elementy fotowoltaiczne nad przejściem dla pieszych połączone w swej funkcji z niewielkim wiatrakiem. Ukazane przejście jest wyraźnie widoczne dzięki bogatym oznaczeniom. Zdjęcie wykonane w okolicach Zatoru na południu Polski. Zdjęcie: autorka
Fig.2. Photovoltaic elements over the pedestrian street-crossing. These elements are connected with small windmill. This crossing seems to be very distinct due to many signs. The photo was made next to Zator Town in the south of Poland. Photo: The author



Fot. 3. Krajobraz współczesny: elementy fotowoltaiczne obok przejścia pieszego, oświetlające znaki uliczne. Zdjęcie wykonano na trasie Wrocław – Poznań. Zdjęcie: autorka
Fig.3. The modern landscape: Photovoltaic elements next to the pedestrian crossing, giving light to the street signs. The photo made on the way Wrocław – Poznań. Photo: The author



Fot.4. Krajobraz podmiejski w okolicach Sanoka na południowym wschodzie Polski. Widok o charakterze współczesnym, w którym aktualności dodaje element fotowoltaiczny. Element ten dostarcza energii do oświetlenia znaku dla pieszych przy ulicy. Zdjęcie: autorka
Fig.4.The townscape near the Sanok Town in the south-east of Poland. The view of the present character, where the photovoltaic element is an actualisation of the image. This element provides the energy for the light of the street sign. Photo: The author



Fot.5. Widok ulicy: współczesny wizerunek drogi na odcinku Gliwice-Mikołów na południu Polski. Z przodu pośrodku: element fotowoltaiczny dostarczający nawet zimą energii dla oświetlenia znaku ulicznego na przejściu dla pieszych. Zdjęcie: autorka
Fig. 5. Street-view: The present image of the street by the car way Gliwice – Mikołów in the south of Poland. In the foreground: The photovoltaic element providing energy for the street sign next to pedestrian crossing – working even in winter. Photo: The author



Fot.6. Zabudowany krajobraz przy Niemodlinie na trasie Nysa – Opole. W tym krajobrazie widoczny jest element fotowoltaiczny, którego energia, podobnie jak w poprzednich przypadkach spożytkowana jest na oznaczenie przejścia dla pieszych. Zdjęcie: autorka
Fig.6. The townscape near to Niemodlin on the way from Nysa to Opole. In this image to see is the photovoltaic element which produces the energy for accenting the pedestrian crossing similarly as in previous cases in Poland. Photo: The autor

4. PODSUMOWANIE

Polska posiada bogate zasoby energii odnawialnej, których jednak nie wykorzystuje w pełni. Obok źródeł geotermalnych, biomasy, wody i wiatru istnieje również energia słoneczna, która nie jest jednak tak popularna, jak te wcześniej wymienione. Natomiast doświadczenia skandynawskie pokazują, że nawet niewielka ilość promieni słonecznych napędza produkcję prądu z elementów fotowoltaicznych.

W Polsce urządzenia fotowoltaiczne okazują się znacznie bardziej uboższe niż na przykład w Niemczech. Ograniczają się one przede wszystkim do jednorodnej funkcji: dostarczają energii głównie dla oświetlenia przejść dla pieszych. Forma ich nie wzbogaca krajobrazu miejskiego. Elementy te zauważyć można coraz liczniej jedynie na zewnątrz miast – przy trasach samochodowych między innymi na południu, południowym zachodzie, zachodzie oraz południowym wschodzie Polski.

Wyniki badań wskazują na systematykę omawianych elementów fotowoltaicznych w infrastrukturze drogowej, która obejmuje ich funkcje, formy oraz lokalizacje.

W ramach funkcji wyróżnia się wspomniane elementy w formie zintegrowanej z systemem hybrydowym lub występujące pojedynczo. Ponadto, energia słoneczna dostarczana jest dla jednej lub dwóch lamp przy przejściach dla pieszych.

Jako aspekt lokalizacji wymienić można montowanie elementów fotowoltaicznych przy drogach krajowych oraz lokalnych. Natomiast w zależności od klasy drogi elementy te ustawiane są po jednej lub po jej obu stronach.

Trzecią cechą urządzeń fotowoltaicznych jest ich forma. Odnosi się ona do oświetlenia energią słoneczną światła nad ulicą lub na jej poboczu, co odzwierciedla się w kształcie słupów, na których ogniwa są montowane. Poza tym, ogniwa te składają się z jednej, trzech lub sześciu części.

Stwierdzić jednak można, że pomimo pojawiających się już elementów fotowoltaicznych w przestrzeni dróg, krajobraz polskich śródmieść czeka na technologiczne ulepszenie elementów swojej formy w postaci wkomponowania różnorodnych, a więc urozmaiconych w formie, jak i wielofunkcyjnych elementów fotowoltaicznych.

5. LITERATURA

- [1] Figiel, E.: Erneuerbare Energien in Polen, w: TU-International, Technische Universitaet Berlin, Berlin, Nr 65/2010, s.22-23
- [2] Hermansdörfer, I.: SolarDesign, Jovis Verlag, Berlin, 2005
- [3] Korda, M.: Staedtebau. Technische Grundlagen, B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden 2005
- [4] Archiwum autora: fotodokumentacja oraz badania in situ w Polsce 2010-2012

PHOTOVOLTAIC ELEMENTS IN THE LANDSCAPE AND CITYSCAPE OF POLAND

SUMMARY

Poland possesses rich resources of renewable energies. Though their potential is not used enough. Next to geothermal heat, biomass, water and wind power there is also the sun energy, which is not as popular, as the resources mentioned before. However the experiences from Scandinavia show, that even little amount of solar radiation drives the production of energy by means of photovoltaic elements.

In Poland solar facilities seem to be much poorer than, for example, in Germany. They have one function: they supply the power mainly for lighting up the pedestrian crossings. Their form does not enrich the cityscape. Moreover, these elements are to be seen increasingly outside of cities – by car roads. The paper presents the examples of roads: In the south, south-west, west and south-east of Poland.

The results of researches are connected with the systematic of described photovoltaic elements within the street infrastructure, which embraces their functions, form, and location.

As far as the function is concerned, the mentioned elements are integrated with the hybrid system or they are situated as single photovoltaic. Moreover, the solar energy is supplied for one or for two lamps near the pedestrian street crossings.

As an aspect of location we can mention the installation of photovoltaic elements by the main and local ways. Nevertheless, depending on the class of ways these elements are placed on one or on both street sides.

The third feature of photovoltaic facilities is their form. It refers to the lightening of the pedestrian crossings by means of solar energy. This lightening is usually installed over a street or next to it, which is reflected in the shape of the pillars, where the panels are built up. Besides, the panels consist of one, three or six parts.

To sum up, despite of the present photovoltaic elements within the street space, the cityscape of polish urban areas waits for the technological actualization of elements of its form seen as composition of various shapes and multifunctional photovoltaic elements.

Anna Marta WŁODARCZYK, dr inż. architekt i urbanista

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie
Instytut Architektury
ul. Obrońców Tobruku 5; 48-300 Nysa
e-mail: annamartawlodarczyk@gmail.com

ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ W KRAJOBRAZIE MIASTA – PRZYKŁAD EUROPEJSKI: BERLIN

STRESZCZENIE

Temat stosowania energii odnawialnych, przede wszystkim elementów fotowoltaicznych jest szeroko omawiany w ostatnich latach w Niemczech. W stolicy tego kraju, w Berlinie z jednej strony na Politechnice Berlińskiej (Technische Universität Berlin) prowadzone są badania nad korzyściami wynikającymi z użytkowania nowej technologii solarnej, z drugiej zaś strony na ulicach tego miasta zauważyć można od pierwszej dekady XXI wieku parkometry, lampy i inne meble uliczne z zainstalowanymi na nich elementami fotowoltaicznymi, które produkują energię do oświetlenia ulicy, bądź do wydawania biletów parkingowych, itp.

Artykuł ma na celu scharakteryzowanie tychże energooszczędnych elementów miejsc publicznych, jako nowego sposobu kształtowania krajobrazu miejskiego oraz przedstawienie znaczenia, jakie odgrywają energie odnawialne w tworzeniu wizerunku miast niemieckich.

1. WPROWADZENIE: ENERGIA ODNAWIALNA W NIEMCZECH I NA ŚWIECIE

Szacuje się, że w roku 2050 Ziemię zamieszkiwać będzie prawdopodobnie około 9,2 miliarda ludzi, którzy zużywać będą o połowę więcej energii niż dzieje się to obecnie, przy udziale 6,7 miliarda mieszkańców naszej Planety. Szczególnie w krajach rozwijających się zapotrzebowanie na prąd jest znaczne. Trzeba jednak zauważyć, że źródła energii wydobywane z Ziemi są ograniczone i zmieniają klimat naszej Planety [3].

Natomiast energia pochodząca ze źródeł odnawialnych, takich jak słońce, wiatr, woda i biomasa stanowi, zdaniem naukowców, odpowiedź na obecne i przyszłe zapotrzebowanie na prąd.

Badacze pracują obecnie intensywnie nad rozwiązaniami gospodarczymi oraz nad inteligentnie sterowanymi sieciami energetycznymi. Na wielu polach Niemcy prowadzą w rankingach pod

względem technologicznym. Równocześnie w dyskusji publicznej energie odnawialne są silnie uwzględniane w tym kraju. Tam też w ciągu ostatnich dziesięciu lat udało się zwiększyć udział energii odnawialnej w produkcji prądu z 4,8 na 15 procent, a w produkcji ciepła z 3,4 na 7,5 procent [2].

2. FOTOWOLTAIKA W KRAJOBRAZIE NIEMIEC

Energia, zwana zieloną, produkowana dzięki ogniwoom fotowoltaicznym jest podstawowym wyzwaniem dla inżynierów, a z punktu widzenia miejskiego – dla urbanistów i architektów oraz architektów krajobrazu. Powinno się bowiem w projektach nowej zabudowy ale także renowacji budynków istniejących uwzględniać zastosowanie elementów fotowoltaicznych. Stać się one powinny tym samym jednym ze składowych elementów w panoramie miasta. Przy tym jednak zwrócić należy uwagę na zrównoważony rozwój współczesnej urbanistyki, co wymaga zauważenia w strukturze miasta budynków historycznych i próby połączenia ich z obecną technologią w sposób, który nie naruszy architektury zabytkowej.

W dzielnicy Prenzlauer Berg w Berlinie obserwuje się od roku 2010 szczególnie zainteresowanie energią odnawialną, która wykorzystywana jest w wielu formach krajobrazowych. Jedną z tych form jest zestaw lamp parkowych (fot. 1).

Natomiast jesienią 2010 roku odbyły się, także w Berlinie, Międzynarodowe Targi „Innotrans”, gdzie przedstawiano nowoczesne techniki mobilności, a także meble uliczne, które oprócz swej podstawowej funkcji pełniły także role energetyczne. Urządzenia te to między innymi informacja autobusowa i parkometry połączone z elementami fotowoltaicznymi (fot.2-3).



Fot.1. Lampy połączone z elementami fotowoltaicznymi w parku w dzielnicy Berlina Prenzlauer Berg w 2012 roku. Historyczny krajobraz otaczającej architektury jest wyraźnie ożywiony poprzez nowoczesne dodatki mebla ulicznego w postaci lampy ekologicznej. Foto: autorka

Fig. 1. The lamps connected with photovoltaic elements in a park in the district Prenzlauer Berg in Berlin in 2012. The historical cityscape of the surrounding architecture is distinctly renewed by the modern details of street furniture in a form of ecological lamps. Photo: The author

W Niemczech pracuje się także nad rozwiązaniem problemów, które pojawiają się przy temacie odnawialnych źródeł energii. Prowadzi się tam prace nad możliwościami gromadzenia energii wyprodukowanej w wielu przypadkach w nadmiarze. Wadą “zielonego” prądu okazuje się być na przykład to, że zdarza się, iż nie jest on dostępny dla użytkowników w czasie, gdy jest potrzebny. Pomocą powinna być między innymi transeuropejska sieć energetyczna[3] Będzie ona kosztowna ale patrząc z dystansu ma być najtańszym rozwiązaniem. Elektrownie magazynujące w Norwegii, Alpach i Pirenejach mogłyby tymczasowo gromadzić prąd i w potrzebie przekazywać go dalej. Poprzez połączenie sieciowe umiejscowione na terenie całej Europy gromadzona mogłaby być energia odnawialna ze wszystkich krajów europejskich. Mniejszy, bo regionalny wariant – transeuropejska sieć Morza Północnego jest już planowana.



Fot. 2. Targi w Berlinie 2010 - wystawa urządzeń ulicznych działających dzięki pobieraniu energii słonecznej: informacja dla podróżujących na przystanku autobusowym. Zdjęcie: autorka

Fig. 2. Trade in Berlin 2010 – exhibition of street facilities functioning with help of solar energy: Information for travelers at a bus station. Photo: The author



Fot. 3. Targi w Berlinie 2010: mebel uliczny działający we współpracy z elementem fotowoltaicznym budzi zainteresowanie zwiedzających. Zdjęcie: autorka
Fig. 3. Trade in Berlin 2010: Street furniture functioning in cooperation with photovoltaic element wakes up curiosity in visitors. Photo: The author



Fot. 4. Berlin, dzielnica Charlottenburg w roku 2011: parkometr obsługiwany energią słoneczną pozyskiwaną z elementu fotowoltaicznego. Po drugiej stronie ulicy: budynek stołówki uniwersytetu Technische Universität Berlin. Zdjęcie: autorka
Fig. 4. Berlin, Charlottenburg District in 2011: Parking meter serviced with solar energy from a photovoltaic element. On the other side of the street: The building of the canteen of the Technical University Berlin. Photo: The author

Fotografie 4-6 ukazują różnorodne formy elementów fotowoltaicznych, które pozyskują prąd dla wielu celów. W pierwszym przypadku (fot.4) urządzenia te to parkometry w Berlinie, o kilku możliwościach wyglądu estetycznego. Tu energia czerpana jest z promieni słonecznych dla samo wystarczającego wyposażenia ulicy w dzielnicy Charlottenburg w zachodniej części miasta, jak i w dzielnicy Prenzlauer Berg we wschodniej jego części.



Fot. 5. Berlin, dzielnica Charlottenburg w roku 2011: przystanek autobusowy obsługiwany energią słoneczną pozyskiwaną z elementu fotowoltaicznego umieszczonego na dachu przystanku. Tu ze źródeł odnawialnych pochodzi prąd dla oświetlenia miejsc siedzących oraz zasilanie punktu informacyjnego. Foto: autorka

Fig. 5. Berlin, Charlottenburg District in 2011: Bus station serviced with solar energy from a photovoltaic element placed on the roof of the bus stop. Here the electricity for the lightening of sitting places as well as power supply for information point comes form renewable sources. Photo: The author

W przeciwieństwie do pionowego parkometru elementem poziomym jest przystanek autobusowy także w Charlottenburgu, przy historycznym kościele Gedächtnis Kirche. Na dachu tegoż przystanku ułożono elementy fotowoltaiczne (fot. 5) a wytwarzany w ten sposób prąd służy dla uruchomienia punktu informacyjnego oraz dla oświetlenia tego miejsca. W poziomie ułożono też fotowoltaikę na prawie całej powierzchni dachu łodzi solarnej (fot. 6). Ten ekologiczny sposób napędzania powoduje duże zainteresowanie łodzią i po wstępnej inwestycji znacznie obniża koszty eksploatacji.



Fot.6. Forma elementów fotowoltaicznych na dachu łodzi solarnej ułożonych w poziomie. Zdjęcie: autorka

Fig.6. The form of the photovoltaic elements on the roof of the Solar Boat. Photo: The author

Tak liczne rodzaje tak zwanych mebli ulicznych wyposażonych w elementy fotowoltaiczne, jakie obserwujemy w Berlinie są opisywane także ogólnie w Niemczech [1]. Spośród czterech typów występujących urządzeń, te przedstawione w artykule odnoszą się do krajobrazu oraz przestrzeni urbanistycznej – przestrzeni ulicy.

3. PODSUMOWANIE

Elementy fotowoltaiczne można efektownie wkomponowywać w krajobraz miasta w postaci pionowej (parkometry, lampy), jak i poziomej (pokrycia dachów przystanków, zadaszenia pojazdów).

W analizowanych przykładach niemieckich zauważa się bardzo dużą różnorodność projektów fotowoltaicznych. Tam też funkcje tych urządzeń są rozmaite, dostarczają one prądu do różnych celów. Podobnie różnorodna jest wielkość tych elementów, które umiejscowione są głównie w centrum miasta.

4. LITERATURA

- [1] Hermansdörfer, I.: SolarDesign, Jovis Verlag, Berlin, 2005
- [2] Knaack, J.,M.: Sunny Germany? Deutschlands Erfolg bei der Foerderung der Solarenergie, w: TU-International, Technische Universitaet Berlin, Berlin, Nr 65/2010, s.26-27,
- [3] Von Richthofen, D.: Gruener Strom aus der Steckdose, w: DAAD Letter, Deutscher Akademischer Austauschdienst, Bonn, Nr 1/2010, s.10-13,
- [4] Archiwum autora: badania in situ oraz fotodokumentacja w Berlinie, Niemcy, 2010 - 2012

ENERGYSAVING IN CITYSCAPE – EUROPEAN EXAMPLE: BERLIN

SUMMARY

Photovoltaic elements may be spectacularly composed with the cityscape in vertical form (parking meters, lamps), as well as in horizontal form (cover of the roof of bus stations, cover of roofs of vehicles).

In the analyzed German examples the big variety of photovoltaic designs can be seen. There the functions of these facilities are very different, they supply energy for various purposes. Similarly, the dimensions of the elements are diversified. Moreover, as far as the location is concerned, they are mainly placed in the center of the city.

Krystyna WRÓBEL, dr inż.
Wiesław KUBISZYN, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Konstrukcji Budowlanych
ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: wrobel@prz.edu.pl
wkubisz@prz.edu.pl

WPŁYW ZMIAN TECHNOLOGICZNYCH W INSTALACJI ODPROWADZANIA SPALIN NA TRWAŁOŚĆ KOMINÓW STALOWYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono główne zasady budownictwa zrównoważonego. W ramach wdrażania tych zasad kilku dostawców ciepła dla miast Podkarpacia wykonało instalacje odzysku ciepła ze spalin odprowadzanych do kominów stalowych, z myślą o minimalizacji zużycia energii. Modernizacje te spowodowały trzykrotny wzrost intensywności korozji blach trzonów kominów wykonanych ze stali zwykłej. Szczegółowo przeanalizowano wpływ zmiany parametrów odprowadzanych spalin na trwałość kominu stalowego o wysokości 60m w jednej z kotłowni miejskich. Omówiono również przyjęte rozwiązania materiałowo – konstrukcyjne niezbędne do wydłużenia okresu przydatności użytkowej kominu.

1. ZASADY ZRÓWNOWAŻONEGO BUDOWNICTWA

Główne zasady zrównoważonego budownictwa określone w [1] dotyczące obiektów nowych i eksploatowanych:

1. Budownictwo ma zaspakajać potrzeby społeczne i być przyjazne dla użytkowników.
2. Nie może znacząco ingerować w otaczające środowisko przyrodnicze.
3. Zastosowane rozwiązania muszą być akceptowalne z punktu widzenia ponoszonych nakładów.

Wymagania stawiane obiektom budowlanym obejmują siedem obszarów [2]:

- nośność i stateczność,
- bezpieczeństwo pożarowe,
- higienę, zdrowie i środowisko,

- bezpieczeństwo użytkowania,
- ochronę przed hałasem,
- oszczędność energii i izolacyjność termiczną,
- zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych.

Trwałość obiektów budowlanych determinują:

- projektant poprzez właściwe przyjęcie rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych i funkcjonalnych w oparciu o przewidywane czynniki mogące oddziaływać na budowlę i ich skutki,
- wykonawca poprzez swoją kulturę wykonawczą, stosowanie materiałów właściwej jakości, przestrzeganie reżimów technologicznych,
- użytkownik, którego obowiązkiem jest eksploatacja obiektu zgodna z jego przeznaczeniem, systematyczna kontrola stanu technicznego, usuwanie uszkodzeń powstających w trakcie bieżącej eksploatacji zgodnie z założonym poziomem utrzymania.

Jak wykazują doświadczenia, nawet jeśli większość elementów konstrukcji spełnia wymagania w zakresie trwałości, to występują obszary przyspieszonej degradacji obiektu.

Aby uniknąć rozległych zniszczeń i kosztownych napraw należy przeprowadzać okresowe przeglądy stanu technicznego obiektu i badania tzw. „pozostałego okresu użytkowania”. Zakres i sposób badania konstrukcji zależy od tego w jakim celu je przeprowadzamy.

Wynikiem takiej oceny są zalecenia określające potrzebę wykonania różnego typu zabiegów technicznych takich jak:

- konserwacja, czyli zespół działań zapobiegawczych prowadzonych w czasie eksploatacji obiektu (oczyszczenie, drobne naprawy nie ingerujące w konstrukcję, roboty malarskie, izolacyjne, itp.),
- remont, czyli wykonanie w istniejącym obiekcie (konstrukcji) robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego (nie stanowiących bieżącej konserwacji).

2. PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI „NA TRWAŁOŚĆ”

Trwałość, to zdolność materiału, wyrobu budowlanego, czy elementu do zachowania pewnych cech (pełnienia założonej funkcji) w określonym czasie, przy oddziaływaniu określonych czynników środowiskowych. W tym czasie nie powinno nastąpić istotne obniżenie przydatności (materiału, wyrobu, elementu), jak również nie powinny być ponoszone nadmiernie wysokie koszty utrzymania.

Coraz powszechniej prowadzone są rozważania dotyczące trwałości obiektów budowlanych, a co za tym idzie również projektowania na z góry określony okres użytkowania (service life design).

Projektowany okres użytkowania obiektu (konstrukcji), to czas określony przez: zdefiniowanie określonych stanów granicznych, podanie okresu użytkowania konstrukcji (w latach), założenie poziomu niezawodności, czyli np. określenie prawdopodobieństwa nieprzekroczenia wcześniej zdefiniowanych stanów granicznych w ustalonym okresie użytkowania.

Zgodnie z powyższą definicją remont w dobrze zaprojektowanym i wykonanym oraz prawidłowo użytkowanym obiekcie (konserwowanym we właściwym zakresie i terminach)

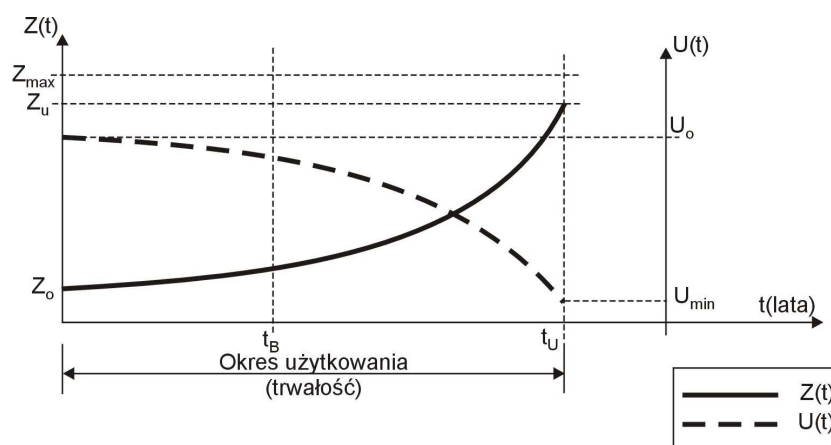
powinien być wykonywany po planowanym okresie użytkowania. Jeśli natomiast obiekt przestaje być przydatny, to po tym czasie podlega rozbiórce.

Ogólne zasady postępowania dotyczące oceny stanu technicznego istniejących obiektów zawarte są w normie [3].

Czas przydatności użytkowej konstrukcji, to zmienna losowa. Parametry określające trwałość zmieniają się w czasie od momentu oddania obiektu do eksploatacji, do momentu osiągnięcia przez te parametry pewnych granicznych wartości minimalnych. Często zmieniają się w czasie również warunki pracy konstrukcji. Zdarzają się sytuacje, kiedy użytkownik obiektu zmienia te warunki nie zdając sobie sprawy z konsekwencji poczynionych zmian.

Wzajemną relację zużycia i przydatności użytkowej obiektu określoną na podstawie [4] przedstawia rys. 1.

Badanie stanu technicznego konstrukcji ma tutaj istotne znaczenie, ponieważ pozwala określić faktyczną kondycję obiektu oraz zaplanować konieczne prace konserwacyjne i remontowe.



Rys. 1. Relacja pomiędzy krzywymi przebiegu zużycia $Z(t)$ i przydatności użytkowej obiektu budowlanego $U(t)$.

Fig. 1. Relationship between waste curve $Z(t)$ and usability curve $U(t)$ of the building structure.

Oznaczenia na rysunku: Z_0 – zużycie początkowe, Z_U – zużycie po czasie t_U , Z_{max} – zużycie maksymalne, U_0 – początkowa wartość przydatności użytkowej, U_{min} – minimalna wartość przydatności użytkowej, t_B – czas po którym obiekt jest badany, t_U – okres czasu odpowiadający trwałości obiektu.

Okres użytkowania konstrukcji (równy jego trwałości) można określić ze wzoru [5]:

$$Z(t) = Z_0 + \beta \cdot t^n \quad (1)$$

gdzie: Z_0 – zużycie początkowe, β – parametr kinetyczny, n – parametr deterioracji obiektu. Dla $t = t_0 = 0$, $Z = Z_0$; dla $t = t_B$, $Z = Z_B$; dla $t = t_U$, $Z = Z_U$; $Z_{max} = 1$.

Wraz ze wzrostem zużycia spada przydatność użytkowa obiektu. Funkcja zużycia konstrukcji (Z) po określonym czasie może być zdefiniowana w różny sposób, przykładowo:

$$Z_i = R_i \text{ lub } Z_i = \frac{w}{w_{\max}} \quad (2)$$

gdzie:

R – nośność (stateczność) konstrukcji określana zgodnie z normami,
 w – odkształcenie (przemieszczenie) konstrukcji lub inny parametr użyteczności,
 w_{\max} - maksymalna (dopuszczalna) wartość parametru użyteczności konstrukcji (jak wyżej) zgodnie z normami czy też wymaganiami inwestora.

Matematyczny model zmian wartości użytkowej obiektu budowlanego w czasie:

$$U(t) = 1 - Z(t) \quad (3)$$

3. ANALIZA TRWAŁOŚCI OBIEKTU BUDOWLANEGO

Analizę trwałości obiektu budowlanego przeprowadzono na przykładzie komina stalowego o wysokości 60.0 m z konstrukcją wsporczą w postaci odciągów linowych, pracującego w kotłowni węglowej Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej jednego z miast na Podkarpaciu. Obserwacje i analizy stanu technicznego komina autorzy artykułu prowadzą od roku 1994 do chwili obecnej [6]. Każdorazowo przed przeprowadzeniem gruntownego remontu na podstawie stwierdzonego postępu korozji prognozowano okres przyszłej trwałości komina biorąc pod uwagę oczekiwania inwestora w tym zakresie, jego możliwości finansowe oraz intensywność korozji przewodu komina pracującego w specyficznym środowisku [7].

Podstawowe parametry geometryczne komina pokazano na rys. nr 2.

Komin wybudowano w roku 1988 jako jednopowłokowy, bez ocieplenia, ze stali zwykłej.

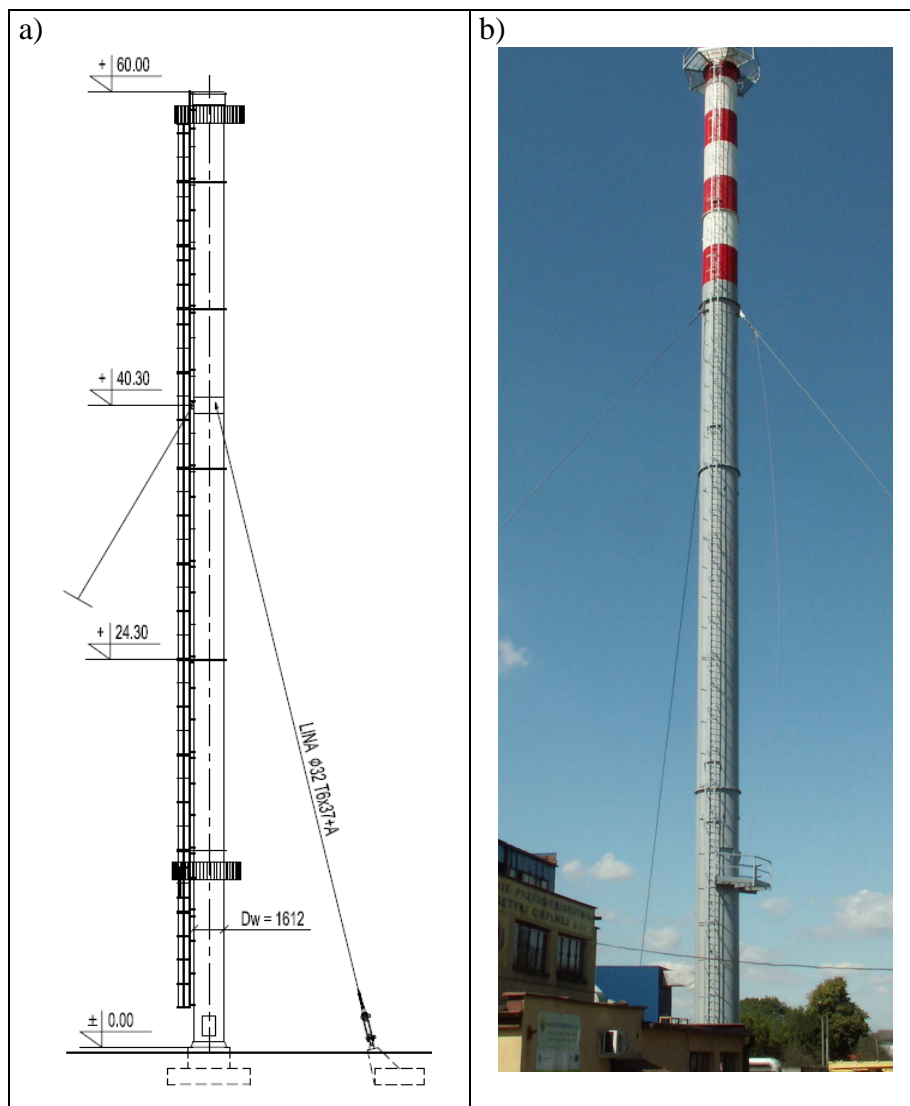
W roku 1998 trzon komina częściowo wymieniono (od poz. +24.3 m do poz. +60.00 m) z uwagi na znacznie większy postęp korozji trzonu w tym obszarze w stosunku do dolnej części komina.

W roku 2006 zmodernizowano sposób odprowadzenia spalin poprzez wykonanie instalacji odzysku ciepła, co spowodowało trzykrotny wzrost intensywności korozji.

W roku 2009 wykonano wzmocnienie trzonu do poz. +19.50 m do poz. +24.3 m, gdzie ubytki blach trzonu połączone z perforacjami były największe.

W roku 2010 dokonano wymiany trzonu komina w połączeniu z gruntowną modernizacją (trzon dwupowłokowy, płaszcz wewnętrzny ze stali nierdzewnej, ocieplenie wełną mineralną, płaszcz nośny zewnętrzny ze stali zwykłej) oraz wzmocnienie fundamentów. Priorytet stanowiło zachowanie średnicy wewnętrznej trzonu z uwagi na parametry układu odprowadzającego spaliny z kotłów.

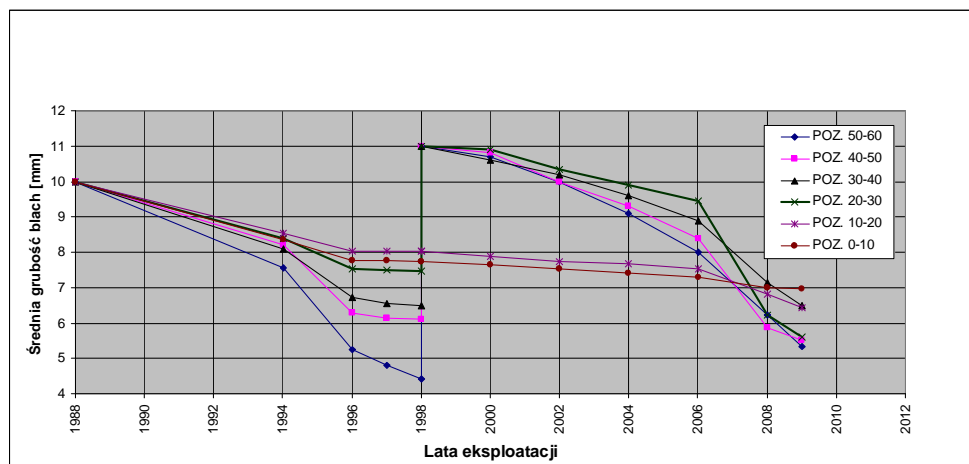
Prognozowany czas przyszłej eksploatacji komina wynosi 20 lat.



Rys. 2. Analizowany komin: a) schemat komina, b) widok komina po modernizacji w 2010r.

Fig. 2. Analysed chimney: a) scheme of the chimney, b) view of the chimney after modernization in 2010.

Na rysunku nr 3 przedstawiono zmianę grubości blach trzonu komina w latach 1988-2009. Każdy odcinek o wysokości 10,0 m rozpatrywano oddzielnie.



Rys. 3. Wykres zmian średniej grubości blach trzonu komina w latach 1988-2009 wykonanego ze stali zwykłej.

Fig. 3. Diagram of changing mean thickness of the windshield plate made of ordinary steel since 1988 to 2009.

Funkcję zużycia komina określono na podstawie kinetyki procesu korozyjnego w powiązaniu ze stanami granicznymi nośności. Jako kryterium przydatności użytkowej przyjęto zapas grubości blach trzonu komina w stosunku do grubości minimalnej określonej z warunku nośności komina z uwzględnieniem stateczności miejscowej z równania [8]:

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} + \frac{M}{M_R} \leq 1, \quad (4)$$

w którym: N, M – obliczeniowe siły wewnętrzne,
 φ – współczynnik wyoboczeniowy obliczany ze wzoru:

$$\varphi = \left(1 + \bar{\lambda}^{3.2}\right)^{-0.625} \quad (5)$$

$\bar{\lambda}$ – smukłość względna prętowa.

Nośność przekroju na ściskanie N_{Rc} i zginanie M_R wyznaczono z wzorów:

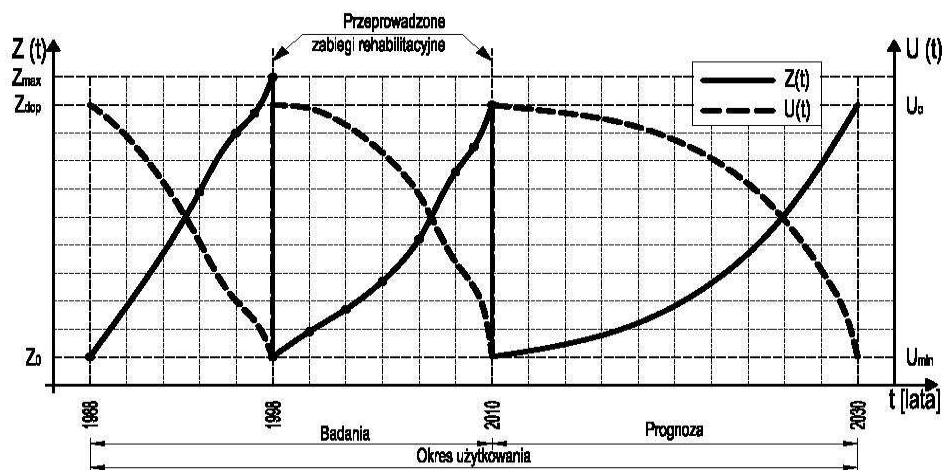
$$N_{Rc} = \varphi_p \cdot \alpha_{kor} \cdot A \cdot f_{dT} \quad (6)$$

$$M_R = 1,2 \cdot \varphi_p \cdot \alpha_{kor} \cdot W \cdot f_{dT} \quad (7)$$

gdzie: A – pole powierzchni przekroju rury, f_{dT} – wytrzymałość obliczeniowa stali przewodu w temperaturze eksploatacji komina, W – sprężysty wskaźnik zginania rury,

φ_p - współczynnik niestateczności miejscowej ścianki kominu, α_{kor} - współczynnik efektu korozji wyznaczono na podstawie intensywności korozji Δt [mm/rok].

Na tej podstawie każdorazowo prognozowano czas przyszłej eksploatacji kominu. Wyniki tej analizy przedstawiono na rysunku nr 4.



Rys. 4. Relacja pomiędzy krzywymi przebiegu zużycia ($Z(t)$) i przydatności użytkowej ($U(t)$) analizowanego kominu.

Fig. 4. Relationship between waste curve ($Z(t)$) and usability curve ($U(t)$) of the analyzed chimney.

4. WNIOSKI

1. Zjawisko wzrostu intensywności korozji kominu wraz z jego wysokością jest znane i obserwowane od wielu lat. W kominach opalanych węglem, przy średniej temperaturze spalin od 140 do 160°C wynosi ona średnio 0,30 do 0,50 mm/rok. Intensywność korozji zmienia się także wzdłuż wysokości kominu – rośnie wraz z wysokością.
2. W latach 2005-2006 w wielu ciepłowniach wykonano instalacje odzysku ciepła ze spalin, co spowodowało obniżenie kosztów jednostki wytwarzanego medium, redukcję strat ciepła oraz obniżenie temperatury odprowadzanych spalin. Skutkiem negatywnym takiego rozwiązania był prawie trzykrotny wzrost intensywności korozji blach trzonów kominów wykonanych ze stali zwykłej (niestopowej).
3. Budowa kominów jednopowłokowych ze stali zwykłej przestała być rozwiązaniem ekonomicznie zasadnym.
4. Ta nowa sytuacja spowodowała potrzebę poszukiwania nowych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych w zakresie budowy kominów stalowych. Coraz częściej stosowanym rozwiązaniem są kominy dwupowłokowe z trzonem nośnym ze stali zwykłej i przewodem wewnętrznym ze stali nierdzewnej, odpornej na działanie sześzonego

kwasu siarkowego powstającego przy temperaturze spalin poniżej temperatury kwasowego punktu rosy.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzenie tych wszystkich racjonalnych działań było możliwe dzięki dbałości właściciela komina o jego stan techniczny. Kontrolowanie stanu technicznego komina we właściwych terminach pozwoliło na wychwycenie niepokojących zjawisk i podjęcie odpowiednich działań zaradczych. Działania te zapewniły bezpieczeństwo użytkownika i ciągłość eksploatacji komina.

Przy tego typu modernizacjach bardzo ważne jest również, aby bilans kosztów podejmowanych przedsięwzięć był dodatni.

6. LITERATURA

- [1] Agenda 21 on Sustainable Construction, International Council For Research and Innovation in Building And Construction, July 1999.
- [2] Zrównoważone budownictwo. Seria: Dokumenty Unii Europejskiej dotyczące budownictwa. Warszawa, ITB, 2010.
- [3] Norma ISO/CD 13822:2010: „Bases for design of structure – Assessment of existing structures.
- [4] Ściślewski Z.: Trwałość budowli. Kielce, Politechnika Świętokrzyska 1995.
- [5] Ślusarek J.: The durability model of selected building structure. Archives of Civil Engineering, LII, 3, 2006.
- [6] Własne oceny stanu technicznego i projekty remontu komina wykonane w latach 1994-2010.
- [7] PN-EN 1993-3-2: 2008. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-2: Wieże, maszty i kominy – Kominy.
- [8] PN-93/B-03201 Konstrukcje stalowe. Kominy. Obliczenia i projektowanie.

THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL CHANGES IN WAEST INSTALLATION ON STEEL CHIMNEY SERVICE LIFE

SUMMARY

The paper presents the basic rules of sustainability in building industry. In order to introduce them some suppliers providing heat to a few cities of the Podkarpacie Region built installations recovering heat from waste gases sent up a steel chimney. The modernization is responsible for a threefold corrosion increase of windshield made of ordinary steel.

The effect of the change gas parameters on the service life of the steel chimney in one of city coal-fired boiler plant, was investigated in great detail. The chimney was observed, estimated and investigated by the authors of the paper for more than 20 years. Mathematical model of the service life object's and its usability was created. The applied changes in the chimney structure introduced in order to prolong its usability were discussed.

Wojciech ZALEWSKI, prof. dr hab. inż.

Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki
Instytut Inżynierii Ciepłej i Procesowej
Zakład Chłodnictwa i Klimatyzacji
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków
e-mail: wzalewski@pk.edu.pl

POMPA CIEPŁA POWIETRZE-WODA Z PAROWACZEM TYPU „SOPEL LODU”

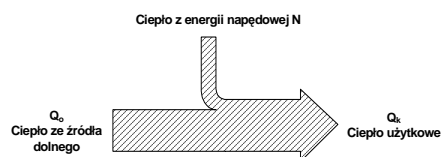
STRESZCZENIE

W pracy opisano konstrukcję parowacza typu „sopel lodu” i przedstawiono przykładowe wyniki badań pompy ciepła powietrze-woda z parowaczem tego typu.

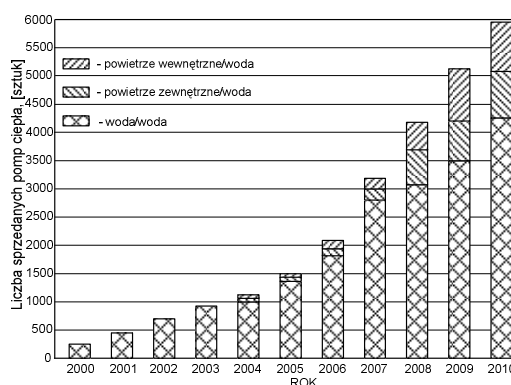
1. WPROWADZENIE

W naszym otoczeniu znajdują się ogromne ilości energii cieplnej, która nie może zostać wykorzystana tylko dlatego, że znajduje się na za niskim, z punktu widzenia potrzeb, poziomie temperatury. Pompa ciepła jest właściwie jedynym znanym urządzeniem, umożliwiającym wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł energii. Jej podstawowa rola polega na pobieraniu ciepła ze źródła o niższej temperaturze (dolnego) i przekazywaniu go do źródła o temperaturze wyższej (górnego). Odbywa się to kosztem energii doprowadzonej z zewnątrz. Na użyteczną energię cieplną pompy ciepła składa się więc ilość ciepła pobrana ze źródła dolnego i ilość ciepła odpowiadająca energii doprowadzonej do jej napędu (rys. 1).

Najłatwiej dostępnym źródłem ciepła jest energia zawarta w powietrzu atmosferycznym. Wykorzystanie jej nie powoduje zakłóceń równowagi cieplnej otoczenia. Z tego powodu zauważa się w ostatnim okresie wzrost zainteresowania pompami ciepła, które wykorzystują jako dolne źródło ciepła powietrze. Na rysunku 2 przedstawiono porównanie liczby pomp ciepła sprzedanych w Polsce w latach 2000÷2010. Od połowy ubiegłej dekady daje się zauważyć wyraźny wzrost liczby sprzedanych pomp typu powietrze-woda.



Rys. 1. Bilans ciepła pompy ciepła
Fig. 1. Heat balance of the heat pump



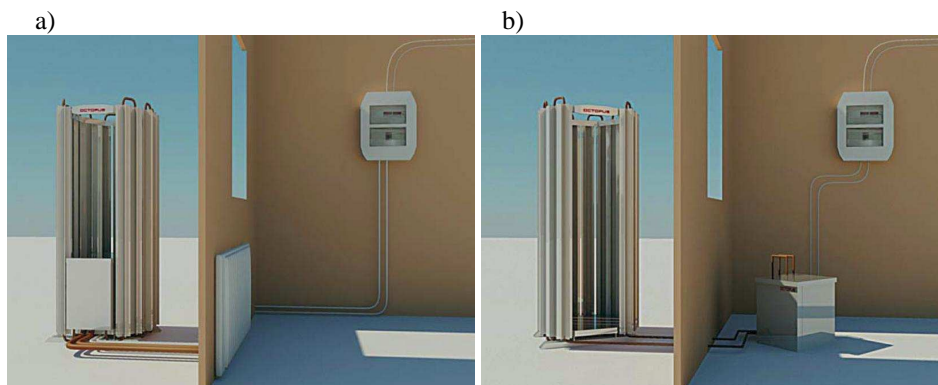
Rys.2. Liczba sprzedanych pomp ciepła w Polsce w latach 2000÷2010 [1]
Fig. 2. Number of sold heat pump in Poland in years 2000÷2010 [1]

Powietrze jako dolne źródło ciepła ma jednak szereg wad, które ograniczają jego wykorzystanie. Należą do nich [2]:

- duże wahania temperatury, zarówno w okresie dobowym jak i rocznym,
- niekorzystne warunki wymiany ciepła (małe współczynniki przejmowania ciepła) i konieczność budowania wymienników o dużej powierzchni wymiany ciepła,
- tworzenie się szronu na powierzchni wymiennika, gdy jej temperatura jest niższa od 0°C (warstwa szronu tworzy dodatkowy opór cieplny oraz utrudnia przepływ powietrza) i konieczność jego okresowego oszraniania,
- zła koherentność, czyli czasowa zgodność wydolności źródła z zapotrzebowaniem na energię cieplną,
- konieczność stosowania wentylatorów wymuszających przepływ powietrza przez wymiennik, stanowiących źródło hałasu.

Niektóre z tych wad można wyeliminować stosując jako ujęcie ciepła na dolnym źródle wymiennik typu „sopel lodu”.

Na rysunkach 3a i 3b przedstawiony został widok ogólny wymiennika typu „sopel lodu”, pełniącego funkcję parowacza pompy ciepła powietrze-woda. Zbudowany jest on z szeregu pionowych rur ożebrowanych wzdłużnie. Agregat skraplający może być umieszczony na zewnątrz budynku (wewnątrz parowacza) (rys. 3a) lub znajdować się w pomieszczeniu wewnątrz budynku (na zewnątrz parowacza) (rys. 3b).



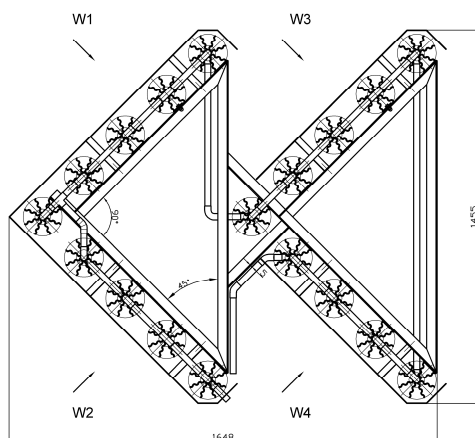
Rys. 3. Dwa różne rozwiązania konstrukcyjne parowacza typu „sopel lodu” [4]: agregat skraplający wewnątrz (a) i na zewnątrz (b) parowacza
 Fig. 3. The two different designs of the „ice-stick” type evaporators [4]: condensing unit inside (a) and outside (b) the evaporator

Parowacz pompy ciepła, czerpiącej energię z otaczającego powietrza, jest urządzeniem technicznym o znaczących gabarytach i masie, trudnym do ukrycia w otaczającej nas przestrzeni. Sprawność działania tego urządzenia jest wyższa w przypadku zapewnienia właściwej ekspozycji na wiatr (przepływ powietrza). To sprawia, że parowacze mogą stanowić często dominantę w małej architekturze ogrodowej lub innym miejscu jego usytuowania. Z tego powodu wymiennik powinien być tak zaprojektowany, aby jego wygląd nie powodował dysharmonii z otoczeniem.

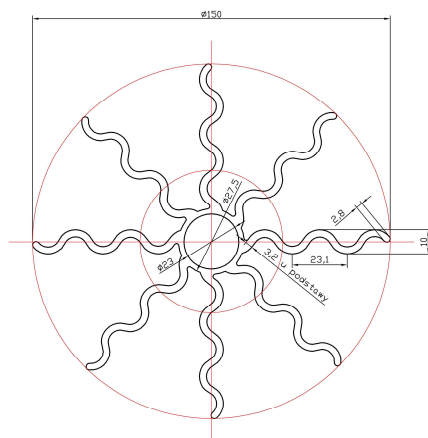
2. OPIS KONSTRUKCJI WYMIENNIKA TYPU „SOPEL LODU”

W Zakładzie Chłodnictwa i Klimatyzacji Instytutu Inżynierii Ciepłej i Procesowej Politechniki Krakowskiej powstał, jako efekt realizacji projektu celowego, prototyp parowacza pompy ciepła, przewidziany do pracy w warunkach konwekcji swobodnej. Posiada on budowę modułową, umożliwiającą tworzenie w prosty sposób jednostek o większych wydajnościach cieplnych (poprzez łączenie poszczególnych modułów) (rys. 4), a otwarte kształty modułów pozwalają lepiej wykorzystać energię cieplną przepływającego powietrza.

Podstawowymi elementami parowacza są rury miedziane, ożebrowane wzdłużnie żebrami aluminiowymi (rys. 5). W celu maksymalnej intensyfikacji procesu wymiany ciepła z otaczającym powietrzem zwiększono pole powierzchni żeber poprzez ich sfalowanie na całej wysokości. Parowacz, którego pole powierzchni wewnętrznej wymiany ciepła wynosi $2,26\text{m}^2$ zbudowany jest z 18 rur o wysokości 2m.



Rys. 4. Rzut poziomy parowacza [3]
Fig. 4. Plan of the evaporator [3]

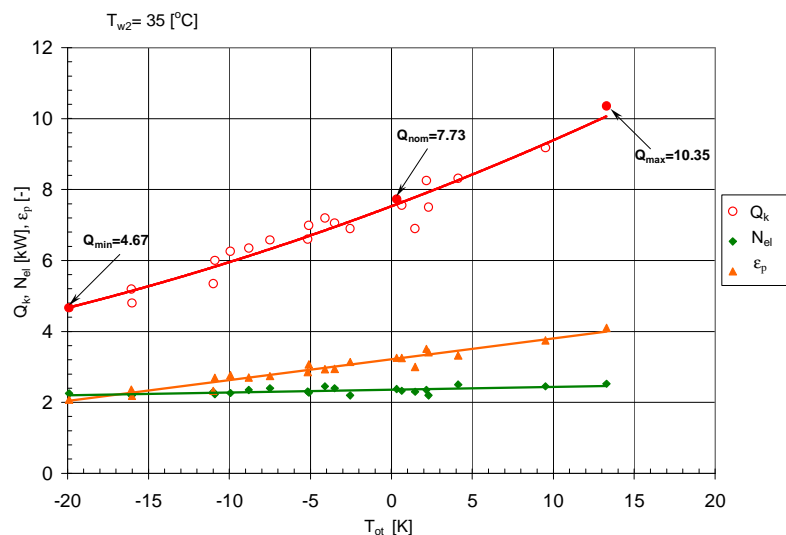


Rys. 5. Profil ożebrowania rury parowacza [3]
Fig. 5. Profile of the evaporators finned tube [3]

3. BADANIA CIEPLNE POMPY CIEPŁA Z PAROWACZEM TYPU „SOPEL LODU”

Badania doświadczalne pompy ciepła wykonane zostały w różnych warunkach temperaturowych, zarówno jeżeli chodzi o temperaturę dolnego źródła ciepła (powietrza) T_{ot} jak i temperaturę wody podgrzanej w skraplaczu T_{w2} . Zakres zmienności temperatur wynosił odpowiednio: T_{ot} (-20; 15°C) i T_{w2} (30; 55°C). Czynnik ziębniczy: R407C.

Na rysunku 6 przedstawiono przykładowo przebieg zmienności wydajności cieplnej skraplacza Q_k , mocy elektrycznej pobieranej przez silnik sprężarki N_{el} oraz współczynnika wydajności cieplnej $\varepsilon_p = Q_k/N_{el}$ pompy ciepła w funkcji temperatury otoczenia T_{ot} , dla temperatury wody na wyjściu ze skraplacza $T_{w2} = 35^\circ\text{C}$.



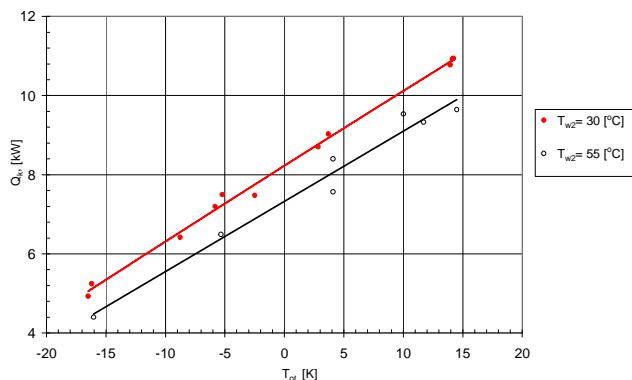
Rys. 6. Zmierzone wartości Q_k , N_{el} i ε_p dla temperatury wody $T_{w2} = 35^\circ\text{C}$ [3]
 Fig. 6. Measured values of Q_k , N_{el} and ε_p for water temperature $T_{w2} = 35^\circ\text{C}$ [3]

Nominalna wydajność cieplna pompy ciepła odpowiadająca temperaturze powietrza $T_{ot} = 0^\circ\text{C}$ i temperaturze wody $T_{w2} = 35^\circ\text{C}$ wynosi $Q_{knom} = 7,73$ kW, przy współczynniku wydajności cieplnej $\varepsilon_p = 3,25$. Maksymalna wydajność cieplna osiągnięta dla temperatury wody grzewczej $T_{w2} = 35^\circ\text{C}$ wynosi $Q_{kmax} = 10,35$ kW (przy $\varepsilon_p = 4,1$).

Przebieg zmian wydajności cieplnej pompy ciepła w funkcji temperatury powietrza dla dwóch różnych temperatur wody grzewczej $T_{w2} = 30$ i 55°C przedstawiono na rysunku 7.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- wydajność pompy ciepła w warunkach nominalnych ($0/35^\circ\text{C}$) wynosi 7,73 kW, przy współczynniku wydajności cieplnej $\varepsilon_p = 3,25$;
- na wydajność cieplną pompy ciepła bardzo silny wpływ ma temperatura powietrza; w warunkach $15/30^\circ\text{C}$ wydajność cieplna pompy wynosiła 11,0 kW, a w warunkach $-15/30^\circ\text{C}$ już tylko 5,3 kW;
- maksymalny, otrzymany w badaniach, współczynnik wydajności cieplnej wynosi $\varepsilon_{pmax} = 5,5$ (w warunkach $15/30^\circ\text{C}$).



Rys. 7. Zależność wydajności ciepłoty pompy ciepła w funkcji temperatury powietrza T_{ot} dla temperatury wody na wylocie ze skraplacza $T_{w2} = 30^\circ\text{C}$ i 55°C [3]

Fig. 7. Dependence of the heat pump capacity on air temperature T_{ot} for outlet water temperature $T_{w2} = 30^\circ\text{C}$ and 55°C [3]

4. PODSUMOWANIE

Pompy ciepła z parowaczami typu „sopel lodu” mogą stanowić alternatywę dla powietrznych pomp ciepła z parowaczami, w których przepływ powietrza wymuszony jest wentylatorem. Nie emitują hałasu i nie wymagają bezwzględnie odszraniania powierzchni wymiany ciepła. Specyfika konstrukcji, wynikająca z charakteru pracy wymiennika (praca w warunkach konwekcji swobodnej) powoduje, że ich wymiary gabarytowe i masa muszą być znacznie większe niż wymienników wentylatorowych. Stwarza to pewne problemy związane z ekspozycją parowacza w plenerze.

5. LITERATURA

- [1] Gaziński M.; Rozwój zastosowań pomp ciepła, Chłodnictwo & Klimatyzacja 9, 2011.
- [2] Zalewski W.; Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2001.
- [3] Zalewski W., Niezgoda-Żelasko B., Żelasko J. i inni; Opracowanie technologii i dokumentacji technicznej oraz badania prototypu pompy ciepła typu powietrze-woda, Sprawozdanie z realizacji projektu celowego nr ROW-II-436/2008, Inst. Inżynierii Ciepłej i Procesowej PK, 2009.
- [4] Witryna internetowa www.octopus.tm.

AIR-WATER HEAT PUMP WITH „ICE-STICK” TYPE EVAPORATOR

SUMMARY

In the paper the design of the „ice-stick” type evaporator has been shown. The examples of the air-water heat pump investigations with this type of evaporator has been presented.

Agata ZDYB, dr

Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
Zakład Fizyki Technicznej i Ekobudownictwa
ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin
e-mail: a.zdyb@pollub.pl

PERSPEKTYWY ZASTOSOWAŃ BARWNIKOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH W POLSCE

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono budowę, sposób działania i zalety barwnikowych ogniw słonecznych. Omówione zostały możliwości zastosowania tego typu ogniw w Polsce z uwzględnieniem oszacowania kosztów.

1. WPROWADZENIE

Fotowoltaiczna konwersja energii słonecznej na energię elektryczną budzi coraz większe zainteresowanie ze względu na ograniczenie zasobów paliw kopalnych oraz szkody dla środowiska jakie powoduje ich eksploatacja i spalanie.

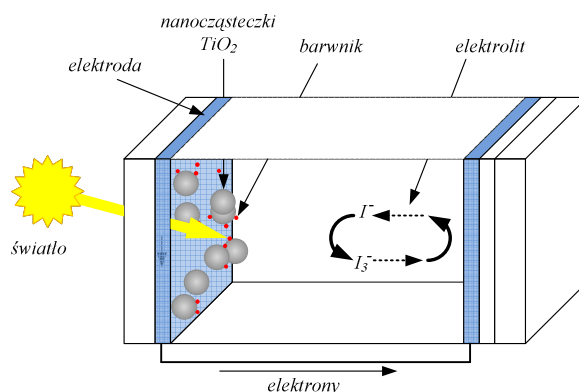
Wśród fotowoltaicznych ogniw słonecznych można obecnie wyróżnić cztery generacje: tradycyjne ogniwa krzemowe, ogniwa cienkowarstwowe, fotoelektrochemiczne (barwnikowe i organiczne) oraz najnowsze – ogniwa wykorzystujące kropki kwantowe (QDSSC – quantum dot sensitized solar cells) [1]. Barwnikowe ogniwa słoneczne (DSSC – dye-sensitized solar cells) zostały opracowane i po raz pierwszy przetestowane przez M. Gratzela [2]. Zaliczane są one do ogniw fotoelektrochemicznych, które wcześniej nie odgrywały istotnej roli ze względu na małe wydajności. Rozwój nanotechnologii umożliwił wprowadzenie do ich struktury nanocząstek, dzięki czemu wzrosła znacząco powierzchnia czynna w procesie absorpcji światła. Powszechnie wykorzystywane są tu nanocząstki ditlenku tytanu TiO_2 , który jest materiałem nietoksycznym, tanim i łatwo dostępnym. Rekordowa wydajność DSSC wynosi obecnie 12,3% [3] i wartość ta jest na poziomie odpowiadającym rozpowszechnionym na rynku ogniwom opartym na amorficznym krzemie.

2. BARWNIKOWE OGNIWA SŁONECZNE

W barwnikowym ogniwie słonecznym padające fotony są absorbowane przez cząsteczki barwnika organicznego, które wskutek tego przechodzą do stanu wzbudzonego i przekazują elektron do pasma przewodnictwa ditlenku tytanu [4, 5]. Rolą barwnika jest sensybilizacja ogniw w widzialnym zakresie widma słonecznego, ponieważ sam ditlenek tytanu absorbuje w nadfiolecie. Przekazane elektrony wędrują następnie pomiędzy nanocząstkami do przewodzącej warstwy na oświetlanej elektrodzie i biorą udział w przepływie prądu przez obwód zewnętrzny do drugiej elektrody. W całej drodze jaką pokonuje elektron w DSSC największy wpływ na wydajność ma etap przekazu elektronu ze stanu wzbudzonego molekuly barwnika do pasma przewodnictwa ditlenku tytanu. Z tego względu proces ten jest obecnie intensywnie badany [6-11].

2.1. Budowa i zasada działania DSSC

Budowę ogniw DSSC przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat budowy DSSC

Fig. 1. Schematic structure of the DSSC

Zasadniczym elementem struktury ogniw barwnikowych jest elektroda, na którą pada promieniowanie słoneczne. Pierwszy etap przygotowania tej elektrody polega na osadzeniu i rozprowadzeniu nanocząstek TiO_2 o rozmiarach 10-30 nm na szkło z warstwą przewodzącą (TCO – transparent conducting oxide). Warstwa ta następnie jest zgrzewana w temperaturze 450-500°C i ma ona grubość ok. 10 μm . W otrzymanej strukturze występują nanopory i dzięki temu 1 cm^2 takiej warstwy ma czynną powierzchnię o wartości 1000 cm^2 . Kolejnym krokiem jest namoczenie powierzchni w roztworze barwnika organicznego, którego ilość jest znacznie zwiększona dzięki porowatej strukturze TiO_2 (ok. 10^{-7} mol/ cm^2). Cząsteczki barwnika adsorbują się na nanocząstkach TiO_2 i osiągnięta wydajność pochłaniania światła jest bliska 100% dla długości fali odpowiadającej maksimum absorpcji danego barwnika.

Przeciwelektrodę stanowi szkło pokryte czernią platynową, a pomiędzy elektrodami znajduje się elektrolit – roztwór z układem redoks (zwykle jod rozpuszczony w jodku potasu), który dostarcza elektronów do regeneracji cząsteczek barwnika.

2.2. Zalety ogniw barwnikowych

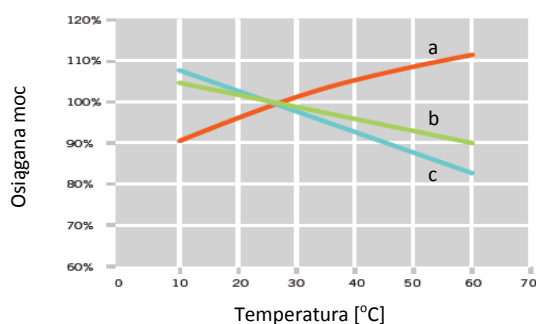
Ogniwa barwnikowe posiadają wiele zalet, szczególnie istotnych z punktu widzenia inżynierii środowiska oraz zastosowań jako elementy zintegrowane z architekturą (BIPV – building integrated photovoltaics). DSSC cechuje:

- przezroczystość i różnorodne barwy modułów,
- elastyczność modułów [12],
- prosta konstrukcja i niedrogie materiały,
- niewielka ilość stosowanych materiałów (jak w przypadku półprzewodnikowych ogniw cienkowarstwowych),
- możliwość usuwania warstw osadzonych na elektrodach, co ułatwia recykling.

Dwie pierwsze wymienione cechy zapewniają różnorodność możliwości zastosowania ogniw barwnikowych. W przyszłości mogą one pełnić rolę użytkową jako okna lub panele reklamowe, a także stanowić element dekoracyjny w architekturze zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz budynków. Jedna z firm zaprezentowała niedawno wzorzysty, wielobarwny moduł DSSC [13], przypominający średniowieczne witraże, w których podobnie jak w ogniwach barwnikowych, wykorzystywane były szczególne własności nanocząstek, choć ich twórcy nie byli tego świadomi.

Oprócz wymienionych zalet ogniwa barwnikowe wyróżnia także bardzo duża wydajność kwantowa (90%), sprawność energetyczna taka jak w przypadku amorficznych ogniw krzemowych (12%), jak również utrzymywanie parametrów pracy przy rozproszeniu i małym natężeniu światła.

Wydajność ogniw barwnikowych rośnie z temperaturą, co stanowi bardzo istotną zaletę i sprzyja efektywnemu wykorzystywaniu promieniowania słonecznego w okresie letnim, gdy nasłonecznienie i temperatura otoczenia osiągają największą wartość. Ta własność odróżnia DSSC od ogniw krzemowych, których sprawność w lecie maleje. Zależność wydajności od temperatury dla tych dwu typów ogniw przedstawia wykres na rys. 2.



Rys. 2. Wpływ temperatury na ogniwa: a) DSSC, b) mc-Si, c) pc-Si, na podstawie [14]

Fig. 2. Effect of temperature on: a) DSSC, b) mc-Si, c) pc-Si, based on [14]

Działanie ogniw barwnikowych i krzemowych było porównywane także w warunkach zewnętrznych w Kariya City w Japonii, gdzie wykorzystano instalację eksperymentalną [15]. Zostały tam użyte moduły DSSC oraz moduły z ogniwami krzemowymi.

Kilkuletnie testy przeprowadzone w Japonii wykazały przewagę modułów DSSC nad modułami wykorzystującymi polikrystaliczny krzem (pc-Si). Rezultaty badań wykazały, że [15]:

- przy zachmurzeniu wydajność DSSC jest większa niż ogniw pc-Si,
- kąt padania światła w niewielkim stopniu wpływa na sprawność DSSC,
- wzrost temperatury obniża wydajność ogniw krzemowych, natomiast wpływa korzystnie na DSSC,
- w naturalnych warunkach zewnętrznych DSSC produkują o 20-30% energii więcej niż pc-Si.

Ogniwa barwnikowe posiadają także istotne zalety w aspekcie ekonomicznym. Prognozowana do 2012 r. cena wynosi poniżej 0,5 €/W [16]. Koszty produkcji DSSC nie są wysokie dzięki stosowaniu tanich i łatwo dostępnych materiałów, w niewielkich ilościach. Obecnie elementem powiększającym koszty jest ruten, który występuje w kompleksie stosowanym jako sensybilizator. W wielu ośrodkach na świecie prowadzone są badania nowych sensybilizatorów, które mają na celu obniżenie kosztów oraz zwiększenie wydajności ogniw.

Obecnie produkcja i komercjalizacja DSSC jest w początkowej fazie. Największą firmą wdrażającą DSSC w różnych produktach użytkowych np. w sterownikach do sprzętu elektronicznego i wyposażeniu rowerów jest G24Innovations. Firma ta ma plan rozwoju w ramach którego w Walii powstanie 30 MW fabryka DSSC.

Wszystkie omówione zalety ogniw barwnikowych z pewnością przyczynią się do rozpowszechnienia ich zastosowań w przyszłości.

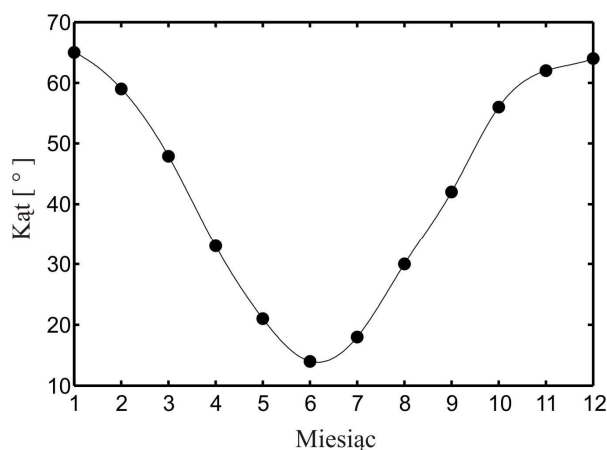
3. OSZACOWANIE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA OGNIW BARWNIKOWYCH W POLSCE

W Polsce występują znaczne różnice wartości mocy padającego promieniowania słonecznego pomiędzy letnimi i zimowymi miesiącami. Jednym z najlepiej nasłonecznionych regionów naszego kraju jest Lubelszczyzna. W Lublinie – największym mieście regionu, w grudniu maksymalna wartość całkowitej mocy promieniowania wynosi 218 W/m² przy optymalnym nachyleniu oświetlanej powierzchni (skierowanej na południe) do poziomu, wynoszącym 64°. W lipcu moc ta wynosi 570 W/m², a optymalny kąt nachylenia ma wówczas wartość 18°.

Wykres na rys. 3 przedstawia optymalny kąt nachylenia oświetlanej powierzchni w poszczególnych miesiącach roku. Wykorzystane tu dane liczbowe zostały wygenerowane dla Lublina przez JRC Photovoltaic Geographical Information System. Zgodnie z tym źródłem danych w letnim półroczu wartość średnia optymalnego kąta wynosi 26°.

Najbardziej korzystnym okresem do stosowania barwnikowych ogniw słonecznych w Polsce jest letnie półrocze ze względu na ograniczony zakres temperatur otoczenia (10-50°C), w których mogą one pracować. Biorąc pod uwagę to ograniczenie temperatur zewnętrznych i liczne wcześniej omówione zalety ogniw barwnikowych należy rozpatry-

wać ich specyficzne możliwości wykorzystania. Perspektywicznie ogniwa te mogą być stosowane do zasilania urządzeń klimatyzacyjnych, wentylatorów oraz drobnych przenośnych urządzeń. Można je instalować bezpośrednio jako część urządzenia lub w lekkich konstrukcjach, które są demontowane przed zimą (parasole, markizy).



Rys. 3. Optymalne wartości kąta nachylenia w Lublinie
Fig. 3. Optimum values of the tilt angle in Lublin

3.1 Szacunkowe obliczenia

Poniższe oszacowania dotyczą zastosowania prototypowych modułów DSSC do użytku na zewnątrz. Moduł taki ma długość 25,4 cm, szerokość 20 cm, grubość ok. 1 mm, waży 50 g, jest bardzo giętki, wodoodporny i ma trwałe pokrycie. Parametry techniczne modułu wyznaczone przy standardowym oświetleniu 1000 W/m^2 przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Dane techniczne modułu DSSC
Table 1. Technical data of DSSC module

Parametr	Symbol	Wartość
Napięcie obwodu otwartego	V_{oc}	8 V
Prąd zwarcia	I_{sc}	140 mA
Maksymalna moc	P_{max}	0,55 W
Temperatura pracy	T_{op}	10-50°C
Temperatura przechowywania	T_{st}	-10-55°C

W niniejszych rozważaniach moduły takie mogą służyć do zasilania 100 W odbiornika prądu np. wentylatora, żarówki lub ok. 40 m taśmy LED (przy założeniu mocy maksymalnej 2,4 W/m taśmy). Zakładając czas pracy wynoszący 8 h, po uwzględnieniu strat można oszacować zapotrzebowanie dzienne 1200 Wh. Biorąc pod uwagę liczbę godzin usłonecznienia na Lubelszczyźnie, która średnio wynosi 4,38 h/dobę wyznaczona wartość mocy, jaką należy w tym przypadku otrzymać z modułów wyniesie 1200 Wh / 4 h = 274 W.

Całkowity nakład inwestycyjny jest sumą kosztu modułów (np. 300 W*4 zł/W = 1200 zł), akumulatorów żelowych (ok. 2000 zł) oraz przewodów i.t.p. stanowiący ok. 20% kosztów. Czas zwrotu inwestycji został wyznaczony na podstawie następującej zależności [17]:

$$T = \frac{N}{E \cdot C}, \quad (1)$$

gdzie: N – nakład inwestycyjny wyrażony w PLN, E – roczna ilość energii elektrycznej wytworzonej w panelu PV [kWh/rok], C - opłata za zużycie energii elektrycznej [PLN/kWh]. Wartości otrzymane dla dwóch wariantów cenowych przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2. Oszacowane koszty i czas zwrotu inwestycji

Table 2. The estimated cost and payback time

Nakład inwestycyjny [PLN]	Cena za 1 W energii z modułów PV [PLN]	Cena za 1 kWh energii elektrycznej [PLN]	Czas zwrotu inwestycji [lata]
3840	4	0,64	20
3120	2	0,8	13

4. PODSUMOWANIE

Barwnikowe ogniwa słoneczne (DSSC) należą do nowej generacji ogniw i budzą szczególne zainteresowanie ze względu na osiąganą w warunkach laboratoryjnych wydajność wynoszącą 12,3 %. Posiadają one wiele istotnych zalet w porównaniu do typowych ogniw krzemowych. Jednak temperatura pracy prototypowych modułów DSSC wynosi 10-50°C, co w naszej strefie klimatycznej stanowi znaczące ograniczenie. Czas zwrotu inwestycji związanej z wykorzystaniem DSSC będzie w przyszłości zależny od cen energii elektrycznej, cen modułów i potencjalnych subwencji.

5. LITERATURA

- [1] Robel I., Subramanian V., Kuno M., Kamat P.V.; Quantum dot solar cells. Harvesting light energy with CdSe nanocrystals molecularly linked to mesoscopic TiO₂ films, J. Am. Chem. Soc. 128, 2385-2393 (2006).
- [2] O'Regan B., Grätzel M.; A low-cost, high efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, Nature 353, 737-740 (1991).

- [3] Yella A. et al.; Porphyrin-Sensitized Solar Cells with Cobalt (II/III)-Based Redox Electrolyte Exceed 12 Percent Efficiency, *Science* 334, 629 (2011).
- [4] Grätzel M.; Dye-Sensitized Solar Cells, *J. Photoch. Photobio. C* 4, 145-153 (2003).
- [5] Deb S.K.; Dye-sensitized TiO₂ thin-film solar cell research at the National Renewable Energy Laboratory (NREL), *Solar Energy Materials & Solar Cells* 88, 1–10 (2005).
- [6] Tae E.L., Lee S.H., Lee J.K., Yoo S.S., Kang E.J., Yoon K.B.; A Strategy To Increase the Efficiency of the Dye-Sensitized TiO₂ Solar Cells Operated by Photoexcitation of Dye-to-TiO₂ Charge-Transfer Bands, *J. Phys. Chem. B* 109, 22513-22522 (2005).
- [7] Huber R., Moser J.E., Grätzel M., Wachtveitl J.; Real-Time Observation of Photoinduced Adiabatic Electron Transfer in Strongly Coupled Dye/Semiconductor Colloidal Systems with a 6 fs Time Constant, *J. Phys. Chem. B* 106, 6494-6499 (2002).
- [8] Martini I., Hodak J.H., Hartland G.V.; Effect of Structure on Electron Transfer Reactions between Anthracene Dyes and TiO₂ Nanoparticles, *J. Phys. Chem. B* 102, 9508-9517 (1998).
- [9] Nawrocka A., Zdyb A., Krawczyk S.; Stark Spectroscopy of Charge-Transfer Transitions in Catechol-Sensitized TiO₂ Nanoparticles, *Chemical Physics Letters* 475, 272-276 (2009).
- [10] Zdyb A., Krawczyk S.; Molecule-solid interaction: Electronic states of anthracene-9-carboxylic acid adsorbed on the surface of TiO₂, *Applied Surface Science* 256, 4854-4858 (2010).
- [11] Krawczyk S., Zdyb A.; Electronic Excited States of Carotenoid Dyes Adsorbed on TiO₂, *J. Phys. Chem. C* 115, 22328-22335 (2011).
- [12] <http://www.tecnologiaericerca.com>, dostęp 15.02.2012.
- [13] www.agreenliving.org, dostęp 15.02.2012.
- [14] Karta katalogowa, www.G24i.com, dostęp 10.02.2011.
- [15] Nazeeruddin M.K., Grätzel M.; Transition Metal Complexes for Photovoltaic and Light Emitting Applications, 113-175, in: *Structure and Bonding*, Ed.: Mingos D.M.P., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2007).
- [16] Greenpeace and EPIA Report, *Solar Generation 6, 2011 Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World*, www.greenpeace.org, dostęp 10.02.2011.
- [17] Nowak W., Stachel A.A., Borsukiewicz-Gozdur; *Zastosowania OZE*, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin (2008).

THE PROSPECTS OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS APPLICATIONS IN POLAND

SUMMARY

Dye-sensitized solar cells (DSSC) provide a promising alternative concept to conventional PV devices. This paper presents structure, operation and advantages of DSSC as well as the dependence of their performance on the temperature. The estimated cost of DSSC application in Poland is also discussed.

Kazimierz ŻARSKI, dr inż.

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Zakład Ogrzewnictwa i Wentylacji
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
e-mail: k_zarski@ic.torun.pl

BILANS CIEPLNY KOLEKTORA SŁONECZNEGO W ROKU PORÓWNAWCZYM

STRESZCZENIE

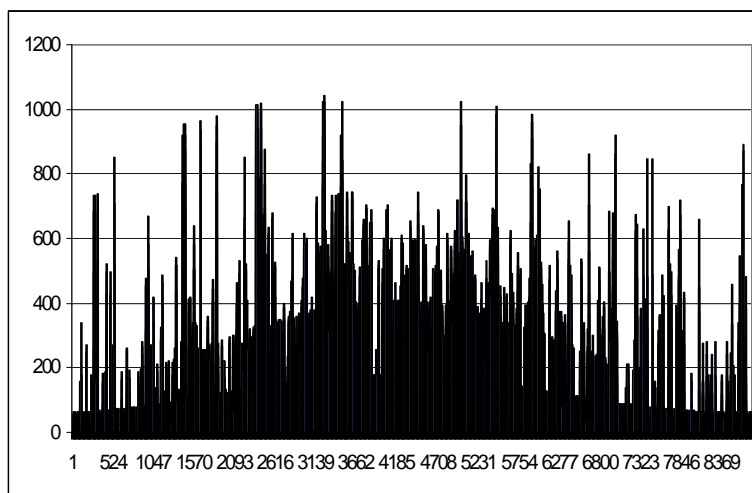
W referacie przedstawiono bilans cieplny kolektora słonecznego metodą „hour by hour”, na podstawie danych meteorologicznych roku porównawczego. W bilansie uwzględniono straty ciepła liniowe i nieliniowe oraz ciepło potrzebne do podgrzania kolektora słonecznego do temperatury zapewniającej podgrzanie ciepłej wody. Bilans sporządzono w budynku jednorodzinym zlokalizowanym w Toruniu. Wyniki porównano z metodą obliczeń opartą o średnie miesięczne warunki meteorologiczne.

1. WPROWADZENIE

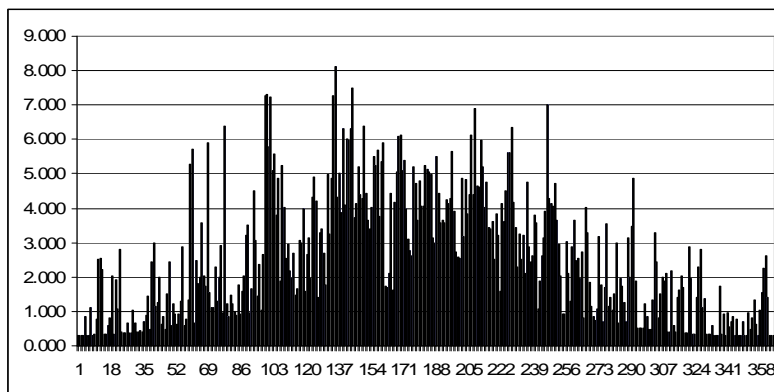
Do określenia rocznej efektywności kolektora słonecznego jest używana przeważnie [np. 2,3] metoda oparta na bilansie energii promieniowania słonecznego i strat ciepła w warunkach średnich w każdym miesiącu roku. O ile w warunkach średnich można precyzyjnie określić sumę energii promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę o danej orientacji i nachyleniu, o tyle bilans strat ciepła do otoczenia wymaga arbitralnego ustalenia godzin nasłonecznienia. W referacie przedstawiono metodę bilansu ciepła kolektora słonecznego w odstępie 1 godziny, na podstawie przeciętnych danych meteorologicznych, z uwzględnieniem liniowych i nieliniowych strat ciepła do otoczenia i ciepła potrzebnego do ogrzania materiału kolektora w pierwszej godzinie nasłonecznienia. Jako przykładowy przyjęto budynek jednorodzinny zlokalizowany w Toruniu. Przyjęto kolektory płaskie, cieczowe, eksponowane na południe, położone pod kątem 45° do płaszczyzny poziomej.

2. WARUNKI NASŁONECZNIENIA W TORUNIU

Na rys. 1. pokazano rozkład natężenia promieniowania słonecznego w ciągu przeciętnego roku, padającego na powierzchnię o orientacji południowej i pochyleniu do poziomu 45° , na rys. 2., odpowiednio sumę energii promieniowania słonecznego [5].

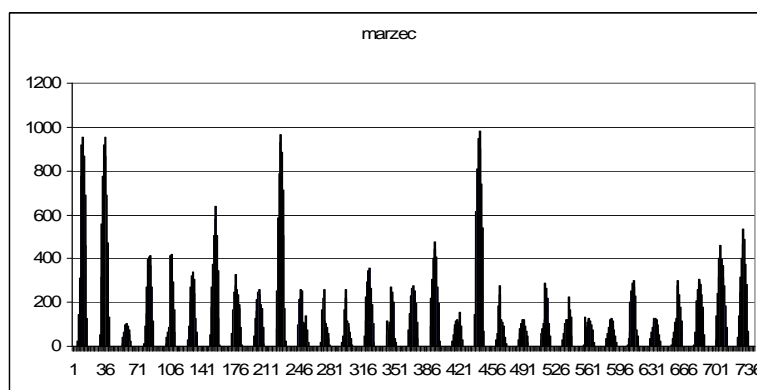


Rys. 1. Promieniowanie słoneczne w ciągu roku porównawczego w Toruniu [W/m^2] padające na powierzchnię o orientacji S_45[5] – oś pozioma – godzina roku
 Fig. 1. Solar radiation in the reference year in Toruń [W/m^2] in case of S_45 surface orientation [5] – horizontal axis – hour of the year



Rys. 2. Suma energii promieniowania słonecznego [kWh/m^2] w Toruniu (S_45) w poszczególnych dniach roku [5]
 Fig. 2. Sum of solar radiation energy [kWh/m^2] in Toruń (S_45) in the days of the year [5]

Suma energii promieniowania słonecznego w ciągu roku padającej na jednostkę powierzchni przy orientacji S₄₅ wynosi 935.26 kWh/m². Na rys. 3. pokazano przykładowe natężenie promieniowania słonecznego (w tych samych warunkach) w marcu.



Rys. 3. Promieniowanie słoneczne w Toruniu w marcu [W/m²] padające na powierzchnię o orientacji S₄₅ [5]

Fig. 3. Solar radiation in march in Toruń [W/m²] in case of S₄₅ surface orientation [5]

Warunki nasłonecznienia w Toruniu można uznać za przeciętne w warunkach polskich.

3. BILANS CIEPLNY KOLEKTORA SŁONECZNEGO

Na rys. 4. pokazano przykładowy widok kolektora płaskiego.



Rys. 4. Kolektor płaski [1]

Fig. 4. Plane solar collector [1]

Podstawowe dane techniczne kolektora słonecznego [4] zawiera tabela 1.

Tabela 1. Dane techniczne kolektora słonecznego [4]

Table 1. Technical data of solar collector [4]

A [m ²]	a ₁ [W/(m ² K)]	a ₂ [W/(m ² K ²)]	η _o	m [kg]
1.817	4.46	0.0096	0.811	39

Oznaczenia: A – powierzchnia absorbera, a₁ – liniowy współczynnik strat ciepła, a₂ – nieliniowy współczynnik strat ciepła, η_o – sprawność optyczna, m – masa kolektora

Tzw. sprawność optyczna (termin handlowy) nie jest pojęciem ścisłym. Bardziej prawidłowe byłoby określenie: sprawność bez uwzględnienia strat ciepła do otoczenia. Powierzchnia absorbera jest podstawowym parametrem doboru kolektora. Współczynnik strat ciepła a₁ jest współczynnikiem liniowym przenikania ciepła, odniesionym do powierzchni czynnej (absorbera). Charakteryzuje straty ciepła do otoczenia przy niskiej temperaturze powietrza zewnętrznego (od października do marca). Przy wyższej temperaturze powietrza zewnętrznego (od kwietnia do września) straty ciepła nie mają charakteru w pełni liniowego. Charakteryzuje je współczynnik strat ciepła a₂, nieliniowy, odniesiony do drugiej potęgi różnicy temperatury. Równanie bilansu ciepła kolektora słonecznego w stanie nieustalonym, w formie dyskretnej, można zapisać w postaci

$$\Delta Q_{\text{sol}} = \Delta Q_{\text{str}} + \Delta Q_{\text{m}} + \Delta Q_{\text{inst}} \quad (1)$$

gdzie:

ΔQ_{sol} – ciepło przekazane w wyniku promieniowania słonecznego w jednostce czasu, J,

ΔQ_{str} – strata ciepła do otoczenia w jednostce czasu, J,

ΔQ_m – ciepło zakumulowane w materiale kolektora w jednostce czasu, J,

ΔQ_{inst} – ciepło odprowadzone do instalacji słonecznej w jednostce czasu, J.

Składowe bilansu ciepła w elementarnym przedziale czasu Δτ [s] są odpowiednio równe

$$\Delta Q_{\text{sol}} = I_{\text{sol}} \cdot A \cdot \eta_o \cdot \Delta\tau \quad (2)$$

gdzie:

I_{sol} – natężenie promieniowania słonecznego, przy danej orientacji i pochyleniu płaszczyzny, W,

A – powierzchnia absorbera, m²,

$$\Delta Q_{\text{str}} = (\Phi_1 + \Phi_2) \cdot \Delta\tau \quad (3)$$

gdzie:

Φ₁ – liniowy strumień strat ciepła, równy (a₁, a₂ – oznaczenie w tabeli 1.)

$$\Phi_1 = a_1 \cdot A \cdot (t_w - t_e) \quad (4)$$

nieliniowy strumień strat ciepła:

$$\Phi_2 = a_2 \cdot A \cdot (t_w - t_e)^2 \quad (5)$$

gdzie:

t_w – temperatura cieczy wewnątrz kolektora, °C,

t_e – temperatura powietrza zewnętrznego (otoczenia), °C,

$$\Delta Q_m = m \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (6)$$

gdzie:

m – masa kolektora, kg,

c_p – ciepło właściwe materiału kolektora, średnio 400 J/(kg K),

Δt – przyrost temperatury kolektora, K.

$$\Delta Q_{inst} = m_w \cdot c_{pw} \cdot \Delta t_w \cdot \Delta \tau \quad (7)$$

gdzie:

m_w – strumień masy cieczy odbierającej ciepło, kg/s,

c_{pw} – ciepło właściwe cieczy, w funkcji temperatury, J/(kg K),

Δt_w – przyrost temperatury cieczy w kolektorze słonecznym, K.

Sprawność kolektora słonecznego z uwzględnieniem strat η można określić z wzoru

$$\eta = \frac{\Delta Q_{sol} - \Delta Q_{str} - \Delta Q_m}{\Delta Q_{sol}} \quad (8)$$

Oznaczenia jak w poprzednich wzorach. W tabeli 2. przedstawiono przyjętą temperaturę wody w kolektorze słonecznym w poszczególnych miesiącach przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego. Przyjęto następujące założenia: liczba mieszkańców: 4 osoby, jednostkowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę: 50 kg/d, liczba kolektorów słonecznych: 3, orientacja: S, kąt nachylenia do poziomu: 45 °.

Tabela 2. Przyjęta temperatura wody t_w w kolektorze w poszczególnych miesiącach roku

Table 2. Assumed water temperature t_w in solar collector in months of the year

miesiąc	t_e [°C]	t_w [°C]
styczeń	-0.73	30
luty	-0.91	30
marzec	3.3	35
kwiecień	6.79	35
maj	13.64	60
czerwiec	17.23	60
lipiec	17.02	60
sierpień	16.26	60
wrzesień	13.58	35
październik	7.65	35
listopad	2.38	30
grudzień	1.16	30

Symulację sporządzono w każdej godzinie roku, wyznaczając sumę energii promieniowania słonecznego i odejmując od niej straty liniowe, nieliniowe i ciepło do podgrzania materiału kolektora słonecznego (tylko w pierwszej godzinie). Zastosowano wzory (1..7). W tabeli 3. podano wyniki symulacji w czasie całego roku, w zestawieniu miesięcznym. Wyniki uzyskane metodą „hour by hour” porównano z wynikami uzyskanymi na podstawie średniej miesięcznej temperatury powietrza zewnętrznego (prezentowane w tab. 4.).

Tabela 3. Wyniki symulacji w całym roku przy metodzie „hour by hour”
Table 3. Result of simulation in a full year at „hour by hour” method

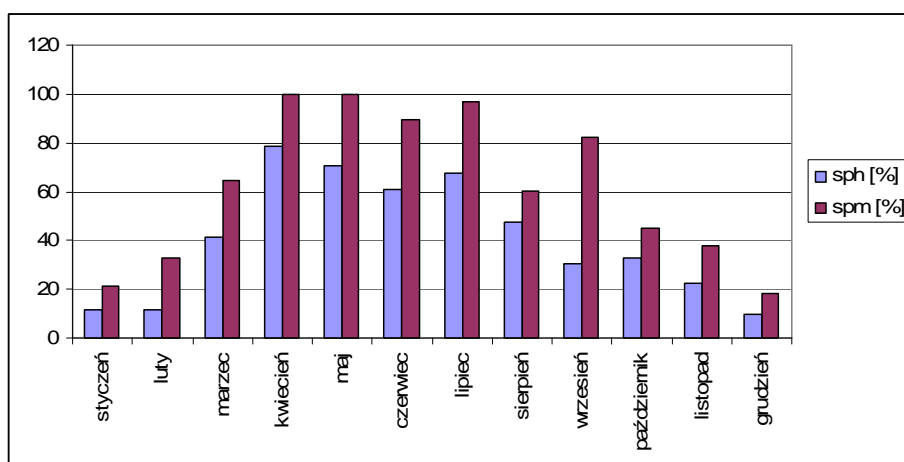
miesiąc	t_e [°C]	$I_{sol\bar{s}r}$ [W/m ²]	Q_{sol} [kWh]	m_{cw} [kg]	sp [%]
styczeń	-0.73	36.16	118.94	715.31	11.54
luty	-0.91	47.60	141.40	660.92	11.80
marzec	3.30	94.63	311.24	2552.74	41.17
kwiecień	6.79	142.77	454.44	4713.85	78.56
maj	13.64	187.65	617.19	4376.28	70.59
czerwiec	17.23	174.10	554.16	3637.82	60.63
lipiec	17.02	181.68	597.56	4199.21	67.73
sierpień	16.26	147.05	483.66	2936.74	47.37
wrzesień	13.58	112.09	356.77	1839.87	30.66
październik	7.65	70.92	233.25	2041.00	32.92
listopad	2.38	50.14	159.59	1335.21	22.25
grudzień	1.16	32.34	106.38	598.28	9.65
suma				29607.24	40.56
m_{cw} - masa wody podgrzanej od 10 °C do 55 °C					

sp – stopień pokrycia zapotrzebowania na c.w.

Tabela 4. Wyniki symulacji w całym roku w warunkach średnich miesięcznych
Table 4. Result of simulation in a full year in average month conditions

miesiąc	t_e [°C]	$I_{sol\bar{s}r}$ [W/m ²]	Q_{sol} [kWh]	m_{cw} [kg]	sp [%]
styczeń	-0.73	36.16	118.94	1328.08	21.42
luty	-0.91	47.60	141.40	1837.03	32.80
marzec	3.3	94.63	311.24	3993.50	64.41
kwiecień	6.79	142.77	454.44	6000,00	100.00
maj	13.64	187.65	617.19	6200.00	100.00
czerwiec	17.23	174.10	554.16	5377.21	89.62
lipiec	17.02	181.68	597.56	6003.89	96.84
sierpień	16.26	147.05	483.66	3725.27	60.09
wrzesień	13.58	112.09	356.77	4939.60	82.33
październik	7.65	70.92	233.25	2786.55	44.94
listopad	2.38	50.14	159.59	2276.21	37.94
grudzień	1.16	32.34	106.38	1149.60	18.54
suma				45616.94	62.49

Na rys. 5. przedstawiono graficznie porównanie stopnia pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę w poszczególnych miesiącach obliczone metodą „hour by hour” (sph) i przy średniej miesięcznej temperaturze powietrza zewnętrznego (spm).



Rys. 5. Porównanie stopnia pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę przy metodzie „godzinowej” i miesięcznej

Fig. 5. Comparison of percentage of HDW demand fulfilling at “hour by hour” and “month” method

W średnich warunkach nasłonecznienia (Toruń) roczne pokrycie zapotrzebowania na ciepłą wodę wynosi w dokładnym modelu obliczeń ok. 40%. W modelu opartym o średnie miesięczne parametry meteorologiczne wynik jest znacznie większy i wynosi ok. 62%. Do celów projektowych można przyjąć 35÷45% pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę przez kolektory słoneczne w czasie roku, przy powierzchni absorbera przypadającej na 1 osobę: ok. 1.4 m². Przy powierzchni absorbera 0.9 m² na 1 osobę stopień pokrycia zapotrzebowania na c.w. wynosi ok. 27%. Nie zmienia tej proporcji zwiększenie liczby mieszkańców, np. przy projektowaniu kolektorów słonecznych w budownictwie wielorodzinnym. Tak więc, przekazywane przez producentów urządzeń do pozyskania energii słonecznej informacje o 70-80% pokryciu zapotrzebowania na ciepłą wodę w roku, w przeciętnych warunkach meteorologicznych prawdopodobnie **nie są zbliżone do rzeczywistych**. Oczywiście, parametry nasłonecznienia w latach meteorologicznych mogą się różnić od siebie, ale nie więcej niż 10÷20%. Obliczony wskaźnik pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę może być przyjęty w kalkulacjach opłacalności montażu kolektorów słonecznych. Prezentowany arkusz kalkulacyjny może być wykorzystany do obliczeń w dowolnych, innych warunkach lokalizacji, przy innej orientacji i pochyleniu płaszczyzny kolektora i przy innym typie kolektora (np. próżniowym).

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych szczegółowych obliczeń bilansu cieplnego kolektorów słonecznych do celów przygotowania ciepłej wody, w przeciętnych warunkach nasłonecznienia, jednostkowego zapotrzebowania na ciepłą wodę (50 kg/d) i powierzchni kolektora słonecznego (absorbera) przypadającej na 1 osobę ok. 1.4 m², można przyjąć stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę równy ok. 40%. Do symulacji przyjęto temperaturę ciepłej wody równą 55 °C, zgodnie z warunkami technicznymi, jakim powinny odpowiadać budynki [6]. Przyjęcie niższej temperatury wody, np. 45 °C, zwiększy stopień pokrycia zapotrzebowania do ok. 47%, zatem prawie do połowy. W budownictwie jednorodzinym minimalna powierzchnia kolektora słonecznego (absorbera), przypadająca na 1 mieszkańca, powinna być nie mniejsza niż 1.4 m². Przyjęcie mniejszej powierzchni kolektora może prowadzić do mniej korzystnych wyników analizy techniczno-ekonomicznej celowości zastosowania kolektorów słonecznych do przygotowania ciepłej wody w warunkach polskich.

5. LITERATURA

- [1] www.budowaplus.pl
- [2] www.builditsolar.com
- [3] Program GETSOLAR Professional
- [4] Hewalex: dane techniczne kolektorów słonecznych
- [5] Ministerstwo Infrastruktury: wmo122500iso - dane meteorologiczne IMGW dla Torunia
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, z późn. zmianami

THERMAL BALANCE OF SOLAR COLLECTOR IN THE REFERENCE YEAR

SUMMARY

In this paper thermal balance of solar collector using method „hour by hour”, on the basis of meteorological data in the reference year is presented. In the balance linear and non-linear heat loss and heat to warm up the material have been taken into account. The balance is prepared for one-family house. The results have been compared with calculation based on average month's meteorological data.

Agnieszka ŻELAZNA, mgr inż.
Justyna STEFANIAK, mgr inż.
Artur PAWŁOWSKI, dr hab., prof. PL

Politechnika Lubelska
Zakład Zrównoważonego Rozwoju
ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin
e-mail: a.zelazna@wis.pol.lublin.pl

ASPEKTY ŚRODOWISKOWE WYKORZYSTANIA URZĄDZEŃ DO KONWERSJI ENERGII SŁONECZNEJ

STRESZCZENIE

Jednym z nadrzędnych postulatów rozwoju zrównoważonego w aspekcie środowiskowym jest redukcja poziomu zużycia energii ze źródeł konwencjonalnych. Odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna, stają się powszechne w wielu zastosowaniach. Najpopularniejszy sposób użytkowania energii słonecznej to podgrzew ciepłej wody użytkowej. W artykule przedstawiono wyniki analizy środowiskowej wykorzystania dwóch najczęściej stosowanych typów kolektorów słonecznych w budynku jednorodzinym zlokalizowanym w Warszawie metodą oceny cyklu życia. Badania wykazały, że zwrot nakładów energetycznych na produkcję systemu słonecznego do podgrzewu ciepłej wody użytkowej następuje już w pierwszym roku pracy.

1. WPROWADZENIE

Współczesna cywilizacja do swego funkcjonowania potrzebuje energii, która w skali globalnej jest wytwarzana głównie ze spalania paliw kopalnych. Oznacza to nie tylko zmniejszenie dostępnych bogactw naturalnych naszej planety, ale także rosnącą degradację środowiska. Dominującą pozycję (ok. 70% udziału w rynku) zajmuje energetyka węglowa [1]. Jej rozwój jest odpowiedzialny za wzrost ekwiwalentu dwutlenku węgla (CO_{2eq}) w atmosferze o ok. 50% w ciągu XX w. [2], co przyczyniło się do powstania nowych zagrożeń środowiskowych związanych ze zmianami klimatycznymi i globalnym ociepleniem. Aby zapobiec dalszej degradacji biosfery, niezbędne jest wprowadzenie istotnych zmian w sposobach produkcji energii. To zarazem jeden z filarów koncepcji rozwoju

zrównoważonego, będącej obecnie podstawą wyznaczania kierunków polityki i rozwoju gospodarczego tak na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym [1,3,4,5].

Rozwój zrównoważony odnosi się do trzech ważnych grup problematycznych: środowiskowej, społecznej i ekonomicznej [6, 8]. W kontekście energetycznymi kwestie środowiskowe obejmują m.in. problem wyczerpywalności kopalnych nośników energii, a także fakt, że korzystanie z jednych źródeł energii oznacza większy poziom emisji zanieczyszczeń, niż w przypadku korzystania z innych. Kwestie ekonomiczne i społeczne odnoszą się m.in. do kosztów budowy infrastruktury energetycznej, w tym także kosztów ponoszonych przez społeczeństwo, ponadto do wpływu inwestycji energetycznych na rynek pracy [7].

Aby uczynić zadość wymogom rozwoju zrównoważonego, niezbędna jest, między innymi, redukcja zużycia energii ze źródeł konwencjonalnych, co można osiągnąć przez wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii [9]. Jednym z nich jest energia słoneczna, którą najczęściej wykorzystuje się do systemów podgrzewu ciepłej wody użytkowej.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy środowiskowej eksploatacji takiego systemu w budynku jednorodzinym, zlokalizowanym w Warszawie. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem metody Oceny Cyklu Życia (Life Cycle Assessment, LCA).

2. WYKORZYSTANIE ENERGII SŁONECZNEJ W POLSCE

Pierwotnym źródłem energii dla Ziemi jest Słońce. Energia słoneczna wykorzystywana w procesie fotosyntezy stoi u podstawy każdego łańcucha pokarmowego, jest także siłą napędową ruchów wód i wiatru, a przed milionami lat została uwięziona w zasobach węgla i ropy naftowej [10].

Energia słoneczna znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach. Należy tu wskazać choćby na powszechnie stosowane formy biernego ogrzewania pomieszczeń wykorzystujące zyski słoneczne poprzez szyby okienne czy oświetlanie powierzchni ziemi w porze dziennej. Rozpowszechnioną formą wykorzystania energii słonecznej są również tunele i szklarnie stosowane w rolnictwie i ogrodnictwie [11].

Systemy słoneczne w instalacjach pojawiły się na polskim rynku stosunkowo niedawno. Obejmują one podgrzewanie ciepłej wody użytkowej oraz wspomaganie centralnego ogrzewania w miesiącach przejściowych, jesiennych i wiosennych [12]. W przypadku fotowoltaiki, najczęściej stosowane są systemy podłączone do sieci energetycznej i zintegrowane z budynkami [13].

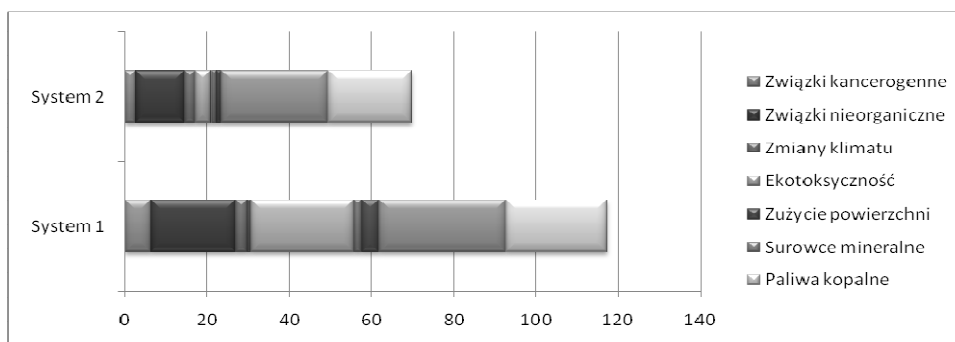
Według danych Głównego Urzędu Statystycznego, fototermika pojawia się w opracowaniach statystycznych dopiero w roku 2002, a ilość energii pozyskiwana z tego źródła corocznie wzrasta. Zgodnie z porozumieniami przyjętymi przez Polskę na szczeblu międzynarodowym, przewiduje się konsekwentny wzrost udziału odnawialnych źródeł energii na polskim rynku energetycznym. Wymagania te wynikają z postanowień Dyrektywy 2009/28/WE oraz pakietu klimatycznego „3x20”, przyjętego przez Parlament Europejski w 2008 roku. Intencjonalne udziały źródeł odnawialnych w krajowych rynkach energetycznych do roku 2020 mają wynieść 20% dla całej Unii Europejskiej i 15% dla Polski [14, 15].

3. ANALIZA EFEKTÓW ŚRODOWISKOWYCH WYKORZYSTANIA KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Do analizy zastosowano metodę ocen cyklu życia LCA, której podstawowym założeniem jest stworzenie bilansu ekologicznego produktu, a zatem oszacowanie wejść i wyjść poszczególnych procesów składających się na cykl życia produktu. W analizie oparto się na własnym bilansie materiałowym instalacji, wykorzystując bazy danych produktowych dostępne w oprogramowaniu SimaPro v7.2.

Na podstawie stworzonej inwentaryzacji procesów rozbudowy instalacji ciepłej wody użytkowej o kolektory słoneczne wykonano analizy ich wpływu na środowisko z uwzględnieniem budowy, użytkowania i końcowego zagospodarowania. Dla założeń projektowych (lokalizacja instalacji – Warszawa, budynek jednorodzinny, 5 użytkowników instalacji, średnie dobowe zużycie c.w.u. na osobę na poziomie 50l, podgrzew wody za pomocą grzałki elektrycznej, zasobnik 300l) wykonano symulację działania instalacji w poszczególnych miesiącach za pomocą oprogramowania GetSolar.

Porównano możliwy uzysk energetyczny dla systemu z kolektorami próżniowymi (System 1) o łącznej powierzchni 6,42m² oraz systemu z kolektorem płaskim, absorber miedziany (System 2) o łącznej powierzchni 6,42m². Dane inwentaryzacyjne obejmowały zużycie materiałów (budowa kolektorów, zużycie przewodów i złączek miedzianych, pompa i system automatyki, czynnik grzewczy obiegu słonecznego) oraz energii na procesy budowy i eksploatacji instalacji słonecznej.

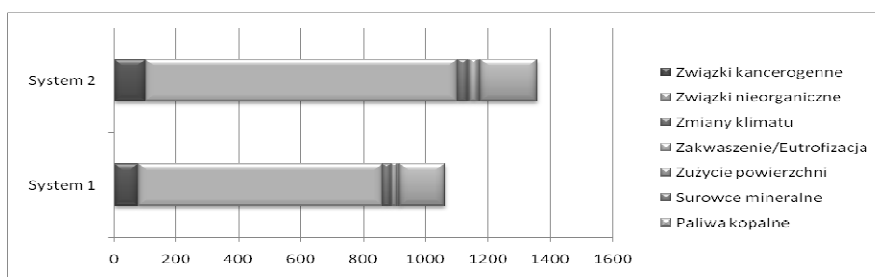


Rys. 1. Obciążenia środowiskowe z budowy instalacji wg metody EcoIndicator'99, Pt
Fig. 1. Environmental impacts from installations' building by EcoIndicator'99 method, Pt

Metoda oceny efektów środowiskowych wywieranych w perspektywie cyklu istnienia produktu EcoIndicator'99, wykorzystana w niniejszym przykładzie, upraszcza kategorie szkód do trzech podstawowych: Zdrowie ludzkie, Jakość ekosystemu, Surowce mineralne. Jednocześnie w metodzie tej wyróżniamy 11 kategorii oddziaływań: Surowce mineralne, Paliwa kopalne, Eksploatacja ziemi, Zakwaszenie/Eutrofizacja, Ekotoksyczność, Dziura ozonowa, Radiacja, Zmiany klimatu, Związki nieorganiczne, Związki organiczne, Związki rakotwórcze. W metodzie tej dokonano parametryzacji poszczególnych substancji wprowadzanych do środowiska oraz zużywanych jego zasobów w odniesieniu do określonych wzorców.

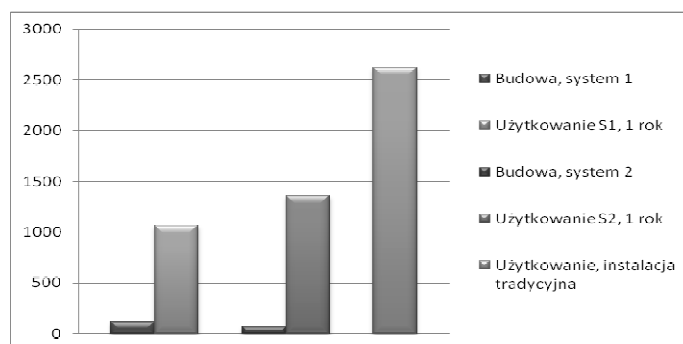
Oceniana funkcja szkody przedstawia relację pomiędzy wpływem produktu lub/i procesu, czy też obiektu na środowisko, a szkodą wyrządzoną w stosunku do ludzkiego zdrowia, jakości ekosystemu i zubożenia surowców naturalnych [16]. Wynik przedstawiany jest jako wskaźnik punktowy, Pt.

Na rys.1. przedstawiono obciążenia środowiskowe obliczone za pomocą metody EcoIndicator'99 dla procesu budowy instalacji. W danych inwentaryzacyjnych uwzględniono materiały i energię potrzebną do procesów produkcji urządzeń (źródło – baza Eco-invent) oraz ich montażu. Jak wynika z rysunku, głównymi kategoriami wpływu w przypadku budowy systemu są zużycie surowców mineralnych i paliw kopalnych, głównie na produkcję kolektorów słonecznych. Całkowity wskaźnik obciążeń środowiskowych dla systemu z kolektorem płaskim jest mniejszy (68 Pt) od obciążeń generowanych przy budowie systemu z kolektorem próżniowym (116 Pt).



Rys. 2. Obciążenia środowiskowe z użytkowania instalacji wg metody EcoIndicator'99, Pt
Fig. 2. Environmental impacts from installations' use by EcoIndicator'99 method, Pt

Na rys. 2. porównano obciążenia związane z pierwszym rokiem użytkowania instalacji podgrzewu c.w.u., z uwzględnieniem zużycia energii elektrycznej na dogrzewanie wody oraz pracę pompy układu słonecznego. Wykorzystanie energii elektrycznej łączy się głównie z emisją związków nieorganicznych do atmosfery i – co oczywiste – zużyciem paliw kopalnych. Użytkowanie instalacji z kolektorami próżniowymi, z uwagi na większy uzysk energetyczny, łączy się z niższym zużyciem energii dodatkowej, przez co generuje mniejsze obciążenia dla środowiska.



Rys. 3. Ocena pierwszego roku pracy instalacji wg metody EcoIndicator'99, Pt
Fig. 3. Assessment of the first year of installations' use by EcoIndicator'99 method, Pt

Otrzymane wyniki porównano z pracą instalacji tradycyjnej, wykorzystującej grzałkę elektryczną. Sprawność wykorzystania energii przyjęto na poziomie 99%. Jak wynika z rysunku 3., obciążenia środowiskowe związane z budową i pracą instalacji w systemie 1, jak i w systemie 2, już w pierwszym roku pracy są niższe, niż wskaźnik dla jednorocznej pracy instalacji tradycyjnej (dobowe zużycie energii elektrycznej przyjęto na podstawie wyników programu GetSolar na poziomie ok. 11kWh).

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych symulacji stwierdzono, że zwrot nakładów energetycznych na produkcję systemu słonecznego do podgrzewu ciepłej wody użytkowej następuje już w pierwszym roku jej pracy. Przedstawione wyniki opracowano na podstawie symulacji komputerowej, zatem będą to dane przybliżone z uwagi na niepewność związaną ze zmiennością rzeczywistego rozbioru wody oraz warunków pogodowych. Niemniej jednak, przedstawione założenia oraz dostępne w światowej literaturze przykłady częściowych analiz [17, 18] stanowią podstawę do stwierdzenia, że wykorzystanie kolektorów słonecznych do podgrzewu ciepłej wody użytkowej jest z perspektywy cyklu życia rozwiązaniem korzystnym i ekologicznym, gdyż pozwala osiągnąć znaczne zmniejszenie emisji związanych z przygotowaniem c.w.u. już po pierwszym roku ich użytkowania.

Wykorzystanie oceny cyklu życia w przypadku systemów energetycznych ma na celu wzrost wiedzy użytkowników, projektantów oraz potencjalnych inwestorów na temat wybranej technologii. Stanowi to krok ku podejmowaniu świadomych decyzji o zastępowaniu tradycyjnych systemów nowoczesnymi i ekologicznymi, co prowadzi do ograniczania emisji do środowiska i zmniejszenia konsumpcji paliw kopalnych. Kwestie te, jak to podkreślono we wstępie, są niezwykle istotne z punktu widzenia wdrażania koncepcji zrównoważonego rozwoju nie tylko w prawodawstwie, ale przede wszystkim w mentalności i codziennym życiu użytkowników instalacji słonecznych.

5. LITERATURA

- [1] Pawłowski A.: Sustainable Development as a Civilizational Revolution. Multidimensional Approach to the Challenges of the 21st century, CRC Press, Taylor & Francis Group, A Balkema Book, Boca Raton, Londyn, Nowy Jork, Leiden, 2011
- [2] Lindzen R.: Global warming: the origin and nature of the alleged scientific consensus. Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development, Vol. 5, Nr 2, str. 13-28, 2010
- [3] Leroy P., Nelissen N.: Social and Political Sciences of the Environment. International Books, Utrecht 1999
- [4] Hull Z.: Does the idea of sustainable development show a new vision of the development of civilization? Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development, Vol. 2, Nr 1, str. 49-57, 2007.
- [5] WCED: Our Common Future, The Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Nowy Jork 1987
- [6] Pawłowski A.: Conditions of Polish Energy Security and Sustainable Development, w: Bojar E. (red.), Eco-Management For Sustainable Regional Development, Dom Organizatora, Toruń 2011, s. 385-407.

- [7] Pawłowski A.: Sustainable energy as a sine qua non condition for the achievement of sustainable development. *Problemy Ekorozwoju*, 2009, 4(2), 3-7
- [8] Piemental D., *Biofuels, Solar and Winds as Renewable Energy Systems*, Springer, 2011,
- [9] Żelazna A., Pawłowski A.; Korzyści środowiskowe z wykorzystania systemów solarnych na przykładzie budynku jednorodzinnego, *Proceedings of ECOpole 2011*
- [10] Kalotek J., *Odnawialne źródła energii*, Radom 2006,
- [11] Klugmann-Radziemska E., *Odnawialne źródła energii – przykłady obliczeniowe*, Gdańsk 2011
- [12] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- [13] Popczyk J.: Ocena potencjału realizacji celów Pakietu 3x20, w szczególności w aspekcie redukcji emisji za pomocą różnych technologii. *Zmiany klimatu - wyzwania dla gospodarki*, 2009, 4, <http://csm.org.pl/>
- [14] www.pre.nl, 2011
- [15] Carsson B.: Suitability analysis of selective solar absorber surfaces based on a total cost accounting approach. *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 2007, 91, 1338-1349.
- [16] Gaidajis G. i Angelakoglou K.: Assessment of the environmental impacts deriving from the life cycle of a typical solar water heater. *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, 2011, 4(1), 92-95.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SOLAR ENERGY CONVERSION SYSTEMS

SUMMARY

One of the principal demands of sustainable development is the reduction of the conventional energy consumption level. Renewable sources of energy, such as solar, are becoming common in many applications. The most popular way to use solar energy is preparation of domestic hot water. The results of Life Cycle Assessment of the two most common types of solar collectors in the detached house located in Warsaw are presented in the article. The research proved, that energy costs used for the production of the solar system are returned in the first year of operation.

