II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Lech LICHOŁAI, dr hab. inż., prof. PRz. *
Marek GOSZTYŁA, dr hab. inż., prof. PRz. **

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego *
Zakład Urbanistyki i Architektury **
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: Lech.Licholai@prz.edu.pl, marek.gosztyla@neostrada.pl

APLIKACJA SYSTEMÓW HELIOENERGETYCZNYCH W ZABYTKOWĄ STRUKTURĘ OBIEKTÓW KOŚCIELNYCH

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono przykłady wkomponowania współczesnych helioenergetycznych systemów kolektorowych w połacie dachowe zabytkowych, wielowiekowych obiektów kościelnych. Rozważania przeprowadzono dla dwóch przemyskich świątyń, w których do poprawy bilansów energetycznych zastosowano płaskie kolektory cieczowe. Połączenie nowoczesności i historii, pozornego kontrastu – w zakresie kompromisów energetyczno-architektoniczno-zabytkowych – jest współczesnym doświadczeniem w zrealizowanych dawno i użytkowanych obecnie budowlanych obiektach dziedzictwa kulturowego.

1. WPROWADZENIE

Wyposażenie obiektów zabytkowych w kolektory słoneczne przedstawiono na przykładach: Bazyliki Archikatedralnej w Przemyślu oraz Zespołu klasztornego OO Karmelitów Bosych w Przemyślu. Obiekty te posiadając zamknięte kubatury, wymagają dostarczania energii do ogrzewania wnętrza oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. Zwykle energia dostarczana jest przy wykorzystaniu konwencjonalnych nośników energetycznych, ale zwrot w kierunku niekonwencjonalnych źródeł energii może być ciekawym rozszerzeniem konkretnego systemu energetycznego.

2. OPIS OBIEKTÓW

Początki Bazyliki Archikatedralnej w Przemyślu sięgają roku 1460, kiedy to rozpoczęto budowę świątyni w stylu gotyckim. W pierwszej połowie XVIII wieku biskup przemyski Aleksander Fredro przeprowadził barokizację świątyni. Przebudowano nawę główną i nawę boczną wprowadzając rozwiązania barokowe. Na przełomie XIX i XX wieku świątynia została poddana kolejnym rewaloryzacjom. Na zlecenie biskupa przemyskiego Łukasza Soleckiego, w 1883 roku rozpoczęto prace rewaloryzacyjne, którymi kierował znany architekt krakowski Tomasz Pryliński. Po śmierci biskupa Soleckiego w roku 1900, kontynuatorem prac został biskup Józef Sebastian Pelczar, wyniesiony do świętości przez Papieża Jan Pawła II. Podczas tych prac przeprowadzono regotyzację wnętrza prezbiterium i zmieniono wystrój nawy głównej i naw bocznych. Zniwelowano teren wokół kościoła i wykonano odwodnienie. Obecnie bazylika jest budowlą trzynawową o wystroju barokowym zespolonym z gotyckim prezbiterium.

W roku 1997 podczas przeprowadzania prac rewaloryzacyjnych wymieniono system ogrzewania. Przez 25 wcześniejszych lat w katedrze przemyskiej funkcjonowało ogrzewanie nawiewowe z piecem węglowym, który umieszczony był w podziemiach. Cztery rury o średnicy 0,5 m tłoczyły ciepłe powietrze do wnętrza świątyni przewodem znajdującym się nad drzwiami do zakrystii. Korzystając ze środków pomocowych wykonano współczesny system ogrzewania z zastosowaniem pomp cieplnych, wymienników geotermalnych i kolektorów słonecznych (*fot. 1*).

Fot.1. Katedra w Przemyślu – kolektory słoneczne w połaci dachowej
Fot.1. The Cathedral in Przemyśl - solar collectors in roof surface

W podziemiach kościoła zainstalowano dwie pompy cieplne i kasetę elektryczną, wraz z oprzyrządowaniem, w tym pompę wirnikową tłoczącą mieszaninę glikolu z wodą do obiegu kolektorów słonecznych i wymienników gruntowych (*rys. 1*). Wymienniki te połączone są z kolektorami słonecznymi, które ulokowane są na dachu nawy bocznej od strony południowej. Dwadzieścia kolektorów płaskich, o wymiarach 1,0 x 2,0 m zamontowano na stelażu o konstrukcji stalowej, wraz z czujnikami termostatowymi.

01 Powrót płynu roboczego z kolektorów słonecznych
02 Zasilanie płynem roboczym kolektorów słonecznych
03 Zasilanie płynem roboczym – pompa ciepła nr 1
04 Powrót płynu roboczego – pompa ciepła nr 1
05 Zasilanie co – pompa ciepła nr 1
06 Powrót co – pompa ciepła nr 1
07 Zasilanie płynem roboczym – pompa ciepła nr 2
08 Powrót płynu roboczego – pompa ciepła nr 2
09 Zasilanie co – pompa ciepła nr 2
10 Powrót co – pompa ciepła nr 2
11 Powrót co
12 Zasilanie co
13 Zasilanie zimną wodą

Rys. 1. Schemat instalacji grzewczej
Fig. 1. Schematic diagram of the heating installation

Wymienniki gruntowe zainstalowano w czterech otworach ziemnych sięgających na głębokość około 100 metrów. Połączenie rurowe pomiędzy kolektorami dachowymi a wymiennikami gruntowymi przebiega na strychu nad sklepieniami, przechodząc odcinkiem pionowym przy schodach krętych od zakrystii do gruntu. W tracie prac

wymieniono posadzkę i ułożono około 5000 metrów rur grzewczych. System rur grzewczych został podzielony na sześć sekcji, podział na sekcje związany jest z wykonaną dylatacją posadzki (*fot. 2*).

Fot. 2. Rozdzielnia sekcji ogrzewania podłogowego
Fot. 2. Section distribution centre of the floor heating

W Katedrze, w której powierzchnia zajmuje w przybliżeniu 1000 m^2, utrzymywana jest w sezonie zimowym temperatura około 13°C. W roku 2003 kasetę elektryczną zastąpiono piecem gazowym, który wspomagając niekonwencjonalny system ogrzewania pozwala utrzymać zakładaną temperaturę wewnątrz Kościoła. Mając na uwadze oszczędności energetyczne, w roku 2007 w prezbiterium zainstalowano podwójne szyby w oknach w trakcie prowadzenia prac konserwatorskich witraży. Obecnie czynione są przygotowania do wykonania witraży w nawach kościoła z jednoczesną realizacją nowych okien o podwójnych szybach.

Drugim, sakralnym obiektem zabytkowym, wyposażonym w kolektory słoneczne jest Zespół klasztorny OO Karmelitów Bosych w Przemyślu

Kościół i klasztor OO Karmelitów Bosych został wzniesiony w pierwszej połowie XVII wieku z fundacji wojewody krakowskiego i kasztelana przemyskiego hrabiego Marcina Krasickiego. Po dzień dzisiejszy obiekt zachowuje bogactwo i artyzm stylu barokowego. We wnętrzu kościoła znajduje się między innymi bogata dekoracja stiukowa, cenne portale oraz drewniana ambona w kształcie łodzi.

Po drugiej wojnie światowej kościół w okresie zimowym dogrzewany był piecem na drewno. W klasztorze znajdowało się również 46 pieców kaflowych służących do ogrzewania pomieszczeń, a w części niskiego parteru znajdowały się tzw. piece kamyczkowe na drewnianych nogach. W latach siedemdziesiątych przeprowadzono modernizację i wykonano ogrzewanie węglowe wraz z instalacją dwóch kotłów typu KZ-5. W trakcie funkcjonowania kotłowni węglowej ciepło było doprowadzane do kościoła systemem nadmuchowym, a kraty przekazujące ciepło do wnętrza świątyni umieszczone były w posadz-

ce kościoła. Spaliny z kotłów węglowych odprowadzane były czopuchem murowanym do przewodu kominowego murowanego o przekroju 40 x 50 cm i wysokości 16 metrów. Do obiegu wody w instalacji grzewczej zamontowane były pompy obiegowe. Na strychu zaś znajdowało się otwarte naczynie wzbiorcze centralnego ogrzewania.

Nowy system ogrzewania został wykonany w roku 1999. W miejscu wyburzonych kotłów węglowych zaprojektowany został kocioł stalowy wodny o wydajności 405 kW zasilany gazem ziemnym. Kocioł ten podgrzewa wodę centralnego ogrzewania dla całego obiektu klasztornego oraz nagrzewnicę ogrzewania kościoła, a także przygotowuje ciepłą wodę użytkową.

W klasztornej połaci dachowej w 2005 roku zainstalowano kolektory słoneczne służące do wspomagania centralnego ogrzewania oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Kolektory słoneczne ułożono na dachu pod kątem 30° w południowym skrzydle klasztoru (*fot. 3*).

Fot. 3. Kolektory słoneczne w bryle zespołu klasztornego Ojców Karmelitów Bosych w Przemyślu
Fot. 3. Solar collectors in the block of the monastic complex of Barefoot Carmelite Fathers in Przemyśl

W okresie letnim po wprowadzeniu współczesnego słonecznego podgrzewania wody użytkowej odnotowano zmniejszenie zużycia gazu o około 80%. W dni słoneczne woda bywa podgrzewana do stanu wrzenia.

3. PODSUMOWANIE

Zainstalowane zestawy kolektorów słonecznych w przedstawionych zabytkowych obiektach kościelnych podlegają podwójnej ocenie; energetycznej i estetycznej. W analizowanych przykładach obie te oceny wypadają pozytywnie. W zakresie oceny energetycznej użytkownicy zarówno pierwszego jak i drugiego obiektu potwierdzają oszczędności energetyczne związane z funkcjonowaniem kolektorów połaciowych. W zakresie estetycznym ich pozytywna ocena jest związana z dyskretnym, nienarzucającym się widokowo umiejscowieniem w bryle budynku. Dodatkowo obiekty kościelne są z reguły wysokie, przez co zainstalowane kolektory słoneczne w połaciach dachowych nie są bardzo widoczne z poziomu otoczenia (*fot. 4*).

Z uwagi na oszczędności energetyczne, wydaje się, że stosowanie współczesnych, coraz nowocześniejszych i efektywniejszych systemów helioenergetycznych w obiektach zabytkowych będzie coraz częstsze, z zachowaniem równowagi nienaruszającej powagi obiektów sakralnych.

Fot. 4. Katedra w Przemyślu – widok z poziomu otoczenia zewnętrznego
Fot. 4. The Cathedral in Przemyśl - the view from the level of the external area

W trakcie przygotowywania niniejszego referatu korzystano z informacji przekazanych przez: Pana Marka Labuńskiego – kościelnego katedry przemyskiej oraz Ojca kapelana ppłk. Andrzeja Guta – wieloletniego przeora i proboszcza klasztoru i kościoła Ojców Karmelitów Bosych w Przemyślu.

THE APPLICATION OF HELIOEENERGY SYSTEMS INTO HISTORICAL STRUCTURE OF CHURCH OBJECTS

SUMMARY

The paper describes examples of integrating of present helioenergy collector systems into roof surfaces of historical long standing church objects. The consideration was passed for two temples in Przemyśl, where for the improvement of energy balances are used flat liquid solar collectors. The connection of the modernity and the history - within the range compromises of energy-architectural-monumental - is a present experience in realized long ago and used nowadays architectural objects of the cultural heritage.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Wojciech LUBICZ LISOWSKI, mgr inż. arch.

Politechnika Krakowska
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego
ul. Warszawska 24 31-155 Kraków
e-mail: wllisowski@wp.pl

DOM PASYWNY A FORMA

STRESZCZENIE

W referacie omówiono wpływ rozwiązań technologicznych dla domów pasywnych na ich formę. Główne wytyczne dla domów pasywnych określone przez dr Wolfganga Feist'a dotyczą restrykcyjnych wymagań co do jakości wykonania, izolacyjności przegród, rozwiązań technologicznych a w małym stopniu samej formy, pozostawiając możliwość kreacji architektowi.

Określenie „dom pasywny" jest bardzo popularnym hasłem, duża część projektów koncepcyjnych wykorzystuje go lecz nie zawsze świadomie. Przed przystąpieniem do projektowania należy odpowiedzieć sobie na dwa pytania: co to jest dom pasywny i jaki ma to wpływ na jego formę.

Wymogi jakie powinien spełniać dom pasywny zostały określone przez dr. Wolfganga Feist'a, założyciela Instytutu Domu Pasywnego w Darmstadt. Główne wytyczne dla domów pasywnych dotyczą restrykcyjnych wymagań co do jakości wykonania, izolacyjności przegród, rozwiązań technologicznych, orientacji budynku względem stron świata a w małym stopniu samej formy, pozostawiając możliwość kreacji.

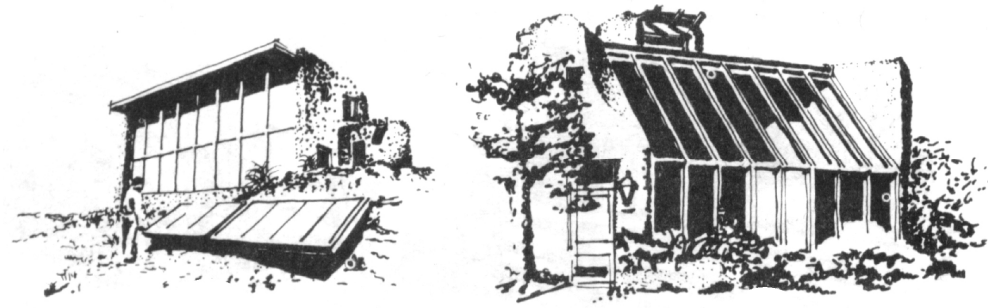
W projektowaniu domu pasywnego należy pamiętać że warunki i wytyczne technologiczne nie powinny mieć decydującego wpływu na projekt, prowadząc do realizacji „termosów" do mieszkania nie uwzględniających walorów estetycznych.

Pojęcie „dom pasywny" oznacza standard wznoszenia obiektów o ekstremalnie niskim zapotrzebowaniu na energię grzewczą niezależnie od technologii w jakiej jest wykonywany. Zapotrzebowanie roczne na energię grzewczą nie powinno przekraczać poziomu

15 kWh/(m2•rok), oznacza to, że w ciągu roku do ogrzania jednego metra kwadratowego mieszkania potrzeba 15 kWh, co odpowiada spaleniu 1,5 l oleju opałowego.
Dla uzyskania tak niskiego zapotrzebowania na energię należy spełnić trzy podstawowe wymogi określone przez dr Wolfganga Feist'a:

- współczynnik przewodzenia ciepła dla wszystkich przegród zewnętrznych nie może przekraczać 0,15W/m2K, co oznacza zastosowanie izolacji o grubości od 25 do 40cm oraz zastosowanie konstrukcji bez mostków termicznych,
- należy stosować potrójne szyby, z dwoma komorami izolacyjnymi i specjalnymi ramami,
- należy stosować kontrolowaną wentylację, przy wysokiej szczelności przegród zewnętrznych, dostarcza ona odpowiednie ilości świeżego powietrza jednocześnie pozwalając na odzyskanie ciepła ze zużytego powietrza.[1]

Istotną wytyczną w projektowaniu jest dążenie do uzyskania jak najmniejszej wartości współczynnika określającego stosunek powierzchni przegród zewnętrznych stykających się z powietrzem i gruntem do kubatury ogrzewanych pomieszczeń jak również ustawienie budynku i układu funkcjonalnego względem stron świata. Elewacje domu pasywnego muszą być tak zaprojektowane, aby zminimalizować straty ciepła oraz pozyskać je w stopniu maksymalnym z zewnątrz. Z tego powodu południowa fasada domu musi być najbardziej przeszklona, w przeciwieństwie do północnej, w której należy ograniczyć do minimum otwory okienne.[2] W klimacie Europy Środkowej przeszklenia spełniające wymogi okien do domów pasywnych zorientowane na południe przynoszą większe zyski ciepła pochodzącego z energii słonecznej, niż straty nawet w okresie od grudnia do lutego. Jednakże oszczędności energii w przypadku zastosowania przeszkleń przekraczających 40% elewacji południowej są nieznaczne z czego wynika, że nie muszą być stosowane w większym zakresie.[3]
Nowoczesna technologia umożliwiła odejście od całościowo przeszklonych fasad domów „solarnych", których dynamiczny rozwój nastąpił po okresie kryzysu naftowego w latach 1973/74 a trwający do dzisiaj.



Domy solarne – D. Wright i S. i W. Nicols, Solar houses – D. Wright and S. and W. Nicols

[1] „Dom pasywny w Europie Środkowej" dr Wolfgang Feist Passivhaus Institut Darmstadt, tłum. Tomasz Mielczyński, www.dompasywny.wlo.pl
[2] http://www.arcada.com.pl/dompasywny
[3] „Podstawy budownictwa pasywnego" dr Wolfgang Feist Passivhaus Institut Darmstadt, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, str. 36,37

Warunki i wytyczne technologiczne nie powinny mieć decydującego wpływu na projekt, prowadząc do realizacji „termosów” do mieszkania nie uwzględniających walorów estetycznych. główne wytyczne dla domów pasywnych określone przez dr Wolfganga Feist’a dotyczą restrykcyjnych wymagań co do jakości wykonania, izolacyjności przegród, rozwiązań technologicznych a w małym stopniu samej formy, pozostawiając możliwość kreacji, to architekt projektując budynek decyduje o formie i stopniu wykorzystania przeszkleń fasad południowych, kubaturze budynku i jego kształcie. Projektowanie domu pasywnego nie powinno różnić się od każdego innego projektu, gdzie poszukiwanie piękna i harmonii z otoczeniem jest najważniejsze.

Różnorodność realizacji na terenie Austrii (rys. 1 – 6) udowadnia że stworzenie zróżnicowanej, wkomponowanej w otoczenie formy jest możliwe pomimo obostrzeń technologicznych.

1. *Alexander Treichl, Einfamilienhaus, Würmlach-Kötschach, Österreich, http://www.igpassivhaus.at/, implementation 2005*
2. *Jordan Atelier für Solararchitektur, EFH A. bei Petzenkirchen, Bergland, Österreich, http://www.igpassivhaus.at/, implementation 2006*
3. *EFH Klein, Tulln an der Donau, Österreich, http://www.igpassivhaus.at/, implementation 2003*
4. *Jordan Atelier für Solararchitektur, EFH Samitz, Neulengbach, Österreich, http://www.igpassivhaus.at/, implementation 2005*
5. *Proyer & Proyer Architekten OEG , Einfamilienhaus, Steyr, Österreich, http://www.igpassivhaus.at/, implementation 2000*
6. *Lang Consulting, Einfamilienhaus, Roitham, Österreich, http://www.igpassivhaus.at/, implementation 2000*

LITERATURA:

1. *Podstawy budownictwa pasywnego*, red. dr Wolfgang Feist, Passivhaus Institut Darmstadt, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego
2. Feist W., *Dom pasywny w Europie Środkowej*, tłum. Tomasz Milczyński, Passivhaus Institut Darmstadt, www.dompasywny.wlo.pl
3. Wołoszyn M.A., *Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinnym*, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1991
4. Laskowski P., *Fakty i mity Dom pasywny*, Murator 2006 nr 11, str. 104-110
5. Kłosak D. i A., *Energooszczędność oswojona*, Środowisko Mieszkaniowe 2/2004, Wydawnictwo Katedry Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego, Kraków 2004, str. 120 - 121
6. Rylewski E., *Energia własna*, Agencja Informacyjno-Wydawnicza TINTA, Warszawa 2002
7. Wehle-Strzelecka S., *Wykorzystywanie odnawialnej energii słonecznej w architekturze – geneza i rozwój*, Czasopismo Techniczne, Architektura z. 3-A/2007, wyd. Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki 2007

A PASSIVE HOUSE AND ITS FORM

SUMMARY

The paper describes the impact of technological solutions used in passive house on their spatial form. The main conditions for a passive house identified by Dr. Wolfgang Feist regard mostly rigorous restrictions of workmanship quality, the insulation parameters of partitions and other technological solutions, less regarding the form itself, leaving the architect the range of creation possibilities.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Patrycja MACIEJOWSKA-HAUPT, dr inż. arch.

Politechnika Krakowska
Wydział Architektury
Instytut Projektowania Urbanistycznego
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: ph@pro.onet.pl

ROZWIĄZANIA ZRÓWNOWAŻONE W ZESPOŁACH MIESZKANIOWYCH POŁUDNIOWEJ ANGLII

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono rozwiązania zrównoważone stosowane w małych osiedlach mieszkaniowych zróżnicowane w zależności od lokalizacji, skali inwestycji oraz założonych celów w gospodarce zasobami naturalnymi. Skierowano również szczególną uwagę na metody ich wprowadzania oraz popularyzacji. Za podstawę do rozważań przyjęto trzy zespoły urbanistyczne na terenie południowej Anglii.

Region południowo wschodniej Anglii, niegdyś obszar saskich królestw, dzisiaj spełnia głównie rolę miejsca zamieszkania dla osób pracujących w Londynie. Obecnie uważany jest za jeden z najlepiej rozwiniętych gospodarczo obszarów Wielkiej Brytanii. Charakteryzuje się on ponad przeciętną wartością wskaźnika produktu krajowego brutto na głowę mieszkańca, a także praktycznym brakiem bezrobocia. Z drugiej jednak strony, z uwagi na położenie geograficzne na wybrzeżu to obszar zagrożony bezpośrednio podnoszeniem się poziomu wody związanym ze zjawiskiem globalnego ocieplenia. Dlatego powstająca tam zabudowa musi spełniać zarówno standardy jakości dostosowane do potrzeb wysoko rozwiniętego regionu, jak i te wynikające z zagrożenia zmieniającym się klimatem. Istotną rolę w ich wyznaczaniu spełniają władze gmin, gdyż obszar ten nie podlega dotacjom rządowym przez co inwestycje mieszkaniowe finansowane są bądź ze środków prywatnych, bądź z funduszy władz lokalnych. Kierują one szczególną uwagę na zastosowanie

rozwiązań zrównoważonych, a politykę rozpowszechniania tego typu budownictwa opierają między innymi na tzw. *good practise* – dobrej praktyki, w tym wypadku rozumianej poprzez uczestniczenie w realizacji inwestycji, które określić można mianem modelowych zespołów mieszkaniowych.

Dla takich inwestycji, procesie ich planowania określane są priorytetowe założenia - cele do osiągnięcia w ramach poszczególnych cech zrównoważonych. Korzystając z metod przedstawionych w regulacjach prawnych a także nieobowiązkowej oceny wdrażanej przez organizacje pozarządowe wyznaczane są grupy właściwości, które charakteryzują wpływ zabudowy na środowisko. Następnie opracowywane są metody osiągnięcia wyznaczonych celów w poszczególnych grupach: cech związanych z wykorzystaniem terenu, gospodarowaniem zasobami naturalnymi podczas budowy i eksploatacji ale również i tych, związanych z polityką społeczną – głównie poprzez zróżnicowanie w strukturze wielkości i form własności poszczególnych lokali mieszkaniowych.

Głównym założeniem przyjętym podczas projektowania zespołu BedZed (Beddington Zero Energy Development) położonego w podmiejskiej strefie Londynu było wyeliminowanie zużycia energii pozyskiwanej z paliw kopalnych. Architekt Bill Dunster w 1999 roku zakończył prace nad projektem osiedla, które stało się w chwili jego realizacji w 2002 roku największą inwestycją proekologiczną w Wielkiej Brytanii. [1] Zespół złożony jest z 82 domów, 17 mieszkań i przestrzeni usługowych o zróżnicowanej strukturze własności. Zaprojektowano go w formie zabudowy szeregowej w zdyscyplinowanym równoległym układzie północ-południe. Poszczególne szeregi połączono ze sobą kładkami pieszymi zapewniając połączenie pomiędzy lokalami usługowymi a częścią mieszkalną. Budynki oparto na modularnej i powtarzalnej stalowej konstrukcji, która stworzyła możliwości wymodelowania ich kolebkowego kształu opartego na przekroju powstałego na bazie elipsy. Fasady zaprojektowano jako połączenie drewna stali i szkła, co podkreślając formę pozwoliło nadać budynkom nowoczesny, lecz wpisujący się skalą i materiałem w otoczenie charakter [2]. Efektem jest zespół, który łączy architekturę wysokiej jakości z rozwiązaniami zrównoważonymi, odpowiadającymi na wszystkie zasady Green Architecture [3] począwszy od wyboru lokalizacji, poprzez aspekty konstrukcyjno-materiałowe, gospodarkę energią i wodą do oferowanej jakości życia i bezpieczeństwa. Na budowę założenia przeznaczono tereny poprzemysłowe (brownfield), które poddano rewitalizacji. Działka znajduje się w rejonie obsługiwanym przez komunikację miejską oraz w pobliżu ścieżki rowerowej co pozwoliło na ograniczenie ruchu kołowego, również poprzez zmianę przyzwyczajeń samych mieszkańców. Budynki wzniesiono w technologii szkieletowej prefabrykowanej ograniczając w ten sposób ilość odpadów powstałych podczas budowy. Zastosowano rozwiązania projektowe oraz materiałowe zapewniające wysoką izolacyjność ścian oraz system wentylacji grawitacyjnej z wymianą ciepła dla zredukowania ilości energii potrzebnej do ogrzewania inwestycji, która pozyskiwana jest centralnie ze spalania biomasy. Zaproponowano system pozyskiwania i powtórnego zużycia wody deszczowej dzięki korzeniowemu systemowi filtracji. Część energii elektrycznej pozyskiwana jest z ogniw fotowoltaicznych umiejscowionych na terenie inwestycji. Wszystkie te rozwiązania sprawiły, że w 2002 zespół został wyróżniony prestiżową nagrodą Building Energy Globe 2002 Award.

Rys. 1. Bill Dunster architects, BedZed, Wallington, Surrey, Wielka Brytania, 2003
Fig. 1. Bill Dunster architects, BedZed, Wallington, Surrey, United Kingdom, 2003

Zespół mieszkaniowy Chapel w Southampton w założeniu jest odpowiedzią na zwiększający się systematycznie poziom wody w zatoce. Nie tylko zastosowano tu system bezpośrednich zabezpieczeń przed podnoszeniem się lustra wody ale również rozwiązania redukujące emisję CO_2 a przez to powodujące spowalnianie efektu cieplarnianego. Na skalę tej zabudowy wpłynęła lokalizacja w głównej części Southampton –miasta portowego o ponad 200-stu tysięcznej populacji i powierzchni zbliżonej do 50 km^2. Położona pomiędzy nabrzeżem a centrum miasta, przeznaczona pod inwestycję działka była uprzednio zdegradowanym terenem przemysłowym (brownfield) – pozostałością parkingu dla samochodów ciężarowych, stanowiącego zaplecze dla portu przeładunkowego. W latach 2004-2005 obszar ten został przekształcony w osiedle o współczesnym wyrazie, wyróżniające się jakością architektury, podzielone na dwa kwartały utrzymanej w podobnym charakterze zabudowy. Stanowią je czterokondygnacyjne budynki wielorodzinne mieszczące 174 mieszkania zgrupowane wokół zielonych wnętrz półprywatnych. Powtarzalne bryły o energooszczędnym prostopadłościennym kształcie zbudowano z modularnych segmentów, które podkreślono zróżnicowanymi, kontrastującymi materiałami. Do wykończenia użyto tutaj naturalnego drewna i lokalnego kamienia zestawionego z białym tynkiem pokrywającym gładkie fragmenty elewacji. Oprócz rozwiązań materiałowych do zrównoważonych zaliczyć można również system konstrukcji budynków. Wyeliminowano tam ściany nośne w obrębie lokali mieszkalnych co umożliwia dowolne kształtowanie wnętrza oraz dopasowywanie go do zmieniających się z wiekiem wymagań właścicieli. Zaobserwować można również szczególną dbałość o detal, stanowiącą o jakości zespołu, zarówno w bryłach budynków jak i w elementach zagospodarowania terenu i małej architektury – posadzkach, ławkach, ogrodzeniach, wiatach i altanach zbudowanych również z użyciem naturalnych materiałów. Uwagę warto również skierować na system oświetlenia terenów wspólnych, który obok dbałości o estetykę źródeł światła jest w pełni zasilany energią słoneczną pozyskiwaną z ogniw fotowoltaicznych. Warto podkreślić również zróżnicowaną strukturę zabudowy, na obszarze dwóch jednolitych kwartałów wkomponowano zarówno zabudowę szeregową, jak i wielorodzinną, a także formę własności zabudowy – 37% stanowią mieszkania socjalne. [5] Zastosowane w zespole Chapel rozwiązania zrównoważone zostały wsparte przez SEEDA - South East England Development Agency i Energy Savings Trust oraz otrzymały ocenę bardzo dobrą w systemie Eco Homes [4].

Rys. 2. Chetwood Associates, The Chapel Site, Southampton, Wielka Brytania, 2005
Fig. 2. Chetwood Associates, The Chapel Site, Southampton, United Kingdom, 2005

Kyoto Walk w Havant, jest przykładem zespołu mieszkaniowego który w zamierzeniu miał być projektem demonstracyjnym pokazującym innowacyjne rozwiązania zrównoważone za pomocą „dobrej praktyki". Warto podkreślić, że zużycie energii oraz spraw-

ność pracy zastosowanych urządzeń są na bieżąco monitorowane w systemie zdalnym przez naukowców z Uniwersytetu Soton.[6] Osiedle, którego realizację zakończono w grudniu 2003 roku, położone jest w centrum miasteczka, o podobnej do Southampton ilości ludności, skupionej jednak na znacznie większym obszarze, co tłumaczy bardziej kameralny charakter tej inwestycji. Dla wkomponowania jej w istniejący kontekst wybrano dla niej formę budynków szeregowych, która stanowi z jednej strony kontynuację pierzei, utrzymanej w podobnym charakterze, z drugiej sąsiaduje z domami wolnostojącymi. Wspomagając prywatną firmę developerską Hermitage Housing Association w realizację inwestycji włączyły się władze lokalne, przez co wszystkie lokale na jej terenie są mieszkaniami socjalnymi. Zespół, zlokalizowany na trójkątnej działce o powierzchni 27 arów składa się z 9-ciu domów dwukondygnacyjnych rozplanowanych w dwóch prostopadłych do siebie szeregach. Do wykończenia zewnętrznego, zgodnie z zasadami budownictwa zrównoważonego, zastosowano naturalne, rodzime materiały: drewno i cegłę. Obok technologii materiałowych i instalacyjnych pozwalających na oszczędne gospodarowanie zasobami, wodą i energią zastosowano również źródła energii odnawialnej takie jak ogniwa fotowoltaiczne wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej na użytek gospodarstw domowych a także kolektory słoneczne do podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Poprzez włączenie ich do kompozycji płaszczyzn dachu podkreślają one, stanowiąc formę technologicznego detalu współczesny charakter architektury. [4]

Omówione zespoły spełniają funkcje modelowych inwestycji, mających na celu zachęcenie do zmiany sposobu projektowania i realizowania takich przedsięwzięć. Ich rozpowszechnianie stanowi również impuls do zmiany świadomości i preferencji mieszkańców, a co za tym idzie stopniowe przeobrażenie rynku nieruchomości. Priorytety w każdej z realizacji dostosowano do skali zespołu, wizerunku dzielnicy, wielkości miasta. Rozwiązania urbanistyczne, architektoniczne, materiałowe starano się wpisać w istniejący kontekst a użyte technologie nie mają dominującego wpływu na formę zabudowy. Wszystko to pozwoliło na powstanie środowiska mieszkaniowego wysokiej jakości, powodowało, że zespoły te postrzegane są jako przyjazne miejsce zamieszkania, a nie jak mówi Bill Dunster architekturę alternatywną.

ŹRÓDŁA:

[1] Kołakowski M.M., *Powstrzymać Faetona*, Architektura i Biznes 2007 nr 9
[2] Lazarus N., *BedZED: Construction Materials Report*, BedZed 2003
[3] Vale B. i R., *Green Architecture*, Bulfinch Press, 1991
[4] Materiały z wizyty studialnej projektu Suspurpol w południowo-wschodniej Anglii, w lipcu 2006 roku.
[5] http://www.propertylicense.gov.uk/index.asp?id=1162128;
[6] http://www.energy.soton.ac.uk/research/Havant.htm

Rys. 3. Parnell Design Partnership, Kyoto Walk, Havant, Wielka Brytania, 2003
Fig. 3. Parnell Design Partnership, Kyoto Walk, Havant, United Kingdom, 2003

SUSTAINABLE SOLUTIONS IN SOUTH EAST ENGLAND HOUSING DEVELOPMENTS

SUMMARY

Three housing developments recently built in South East England region have been analyzed in order to present sustainable solutions diversified matching the size and location of the investment. Attention has been drawn to fulfilling specific goals defined in natural resources management not only through technology but also by methods of introducing and propagating sustainability.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Przemysław MIĄSIK, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: pmiasik@prz.edu.pl

METODYKA BADAŃ PRZEGRODY KOLEKTOROWO-AKUMULACYJNEJ O KONSTRUKCJI SZKIELETOWEJ W KOMORZE KLIMATYCZNEJ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono opis stanowiska badawczego, należącego do Zakładu Budownictwa Ogólnego Politechniki Rzeszowskiej. Badania przegrody kolektorowo-akumulacyjnej związane są z Grantem Europejskim, dotyczącym analizy systemów zewnętrznych ścian stosowanych w stalowych konstrukcjach szkieletowych. Badany typ przegrody jest proponowany jako rozwiązanie elewacji południowej dla budowli znajdujących się na otwartym terenie o dużym nasłonecznieniu.

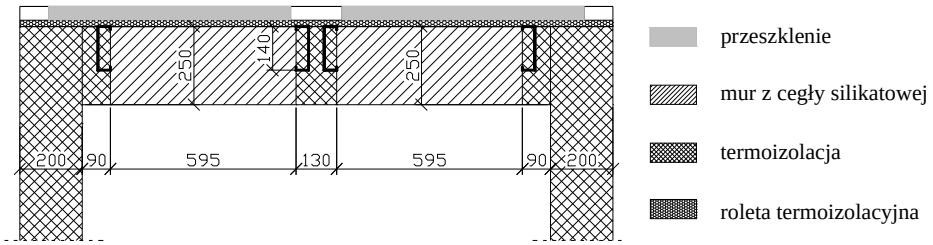
1. WPROWADZENIE

Szkieletowe konstrukcje stalowe mają szerokie zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym, budynkach użyteczności publicznej, obiektach sportowych, halach magazynowych i produkcyjnych oraz jako nadbudowy istniejących budynków. Do tradycyjnych sposobów dociepleń szkieletowych ścian o konstrukcji stalowej zalicza się: płyty warstwowe, system kaset wzdłużnych oraz układ blacha-rdzeń-blacha. Konstrukcje tego typu posiadają zarówno charakterystyczne zalety jak i wady. Do zalet należy zaliczyć wysoką izolacyjność termiczną przegród, szybki montaż oraz mały ciężar elementów składowych przegrody. Podstawową wadą tego typu rozwiązań jest mała akumulacyjność cieplna przegrody, co często prowadzi do przegrzewania pomieszczeń w okresie letnim oraz wysokich wahań temperatury w pomieszczeniu w okresie gwałtownych zmian temperatury środowiska zewnętrznego. Aby zapobiec tym niekorzystnym zjawiskom, proponuje się wykorzystanie układu kolektorowo-akumulacyjnego współpracującego z systemem rolet termoizo-

lacyjnych dla południowej elewacji budynku. Aby stwierdzić, czy proponowany układ daje wymierne korzyści w praktyce, w Zakładzie Budownictwa Ogólnego Politechniki Rzeszowskiej zaprojektowano stanowisko, w którym przegroda badana jest w rzeczywistych warunkach klimatycznych.

2. GEOMETRIA I ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE PRZEGRODY

Konstrukcja przegrody wykonana jest ze szkieletu stalowego, poszytego gładką blachą stalową. Warstwę akumulacyjną stanowi mur z cegły silikatowej. Od strony wewnętrznej ściana jest otynkowana zaprawą cementowo-wapienną. Przegroda jest podzielona na sześć pól – dwa układy pionowe oraz trzy układy poziome. Do konstrukcji od strony zewnętrznej zamontowane są rolety termoizolacyjne. Zewnętrzną warstwę stanowi przeszklenie. Schemat przegrody pokazano na rysunku poniżej (*Rys.1*).



Rys. 1. Przekrój poprzeczny badanej przegrody
Fig. 1. The cross-section of investigation barrier

2.1. Konstrukcja

Stelaż konstrukcyjny wykonany jest z elementów stalowych. Prowadnice poziome stanowią kształtowniki typu „U” o szerokości 14cm, natomiast słupki pionowe, usytuowane wewnątrz prowadnic wykonane są z ceowników typu „C”. Poszycie zewnętrzne konstrukcji stanowi blacha stalowa powleczona czarnym kolorem matowym. Montaż poszczególnych elementów zrealizowano za pomocą łączników samowiercących. Przestrzenie wewnątrz kształtowników wypełnione są styropianem.

2.2. Warstwa akumulująca

Warstwę pochłaniającą promieniowanie słoneczne stanowi absorber z blachy, przekazujący energię cieplną do materiału akumulującego, którym jest mur z cegły silikatowej o grubości 25cm. Powierzchnia wewnętrzna muru otynkowana jest zaprawą cementowo-wapienną oraz pomalowana białą farbą akrylową.

2.3. Roleta termoizolacyjna

Na zewnętrznej powierzchni absorbera zostały zamontowane w układach pionowych dwie rolety termoizolacyjne wraz z napędem, sterowanym przy użyciu programatora czasowego. Taki system daje możliwość skonfigurowania położenia rolet w czasie. Funkcja wewnętrzna programatora pozwala na automatyczne ustawienie położenia rolet w zależno-

ści od lokalnej godziny wschodu i zachodu słońca. Zadaniem rolet jest ograniczenie strat ciepła w okresie zimowym podczas nocy oraz ograniczenie przegrzewania pomieszczenia w dzień w okresie letnim.

2.4. Przeszklenie

Zewnętrzną warstwę przegrody stanowi przeszklenie. Daje ono możliwość swobodnego przenikania promieniowania słonecznego w kierunku absorbera przy jednoczesnym ograniczeniu emisji promieniowania cieplnego absorbera w kierunku zewnętrznym. Dodatkowym atutem jest uzyskanie korzystnego efektu wizualnego elewacji. W przegrodzie zastosowano trzy rodzaje przeszklenia o następujących wartościach współczynnika całkowitej transmisji energii ***g*** wg [1] oraz współczynnika przenikania ciepła ***U*** wg [2]:

Przeszklenie górne: $g = 61\%$; $U = 1{,}1\frac{W}{(m^2 \cdot K)}$,

Przeszklenie środkowe: $g = 70\%$; $U = 1{,}8\frac{W}{(m^2 \cdot K)}$,

Przeszklenie górne: $g = 47\%$; $U = 0{,}6\frac{W}{(m^2 \cdot K)}$

3. POMIARY BADAWCZE

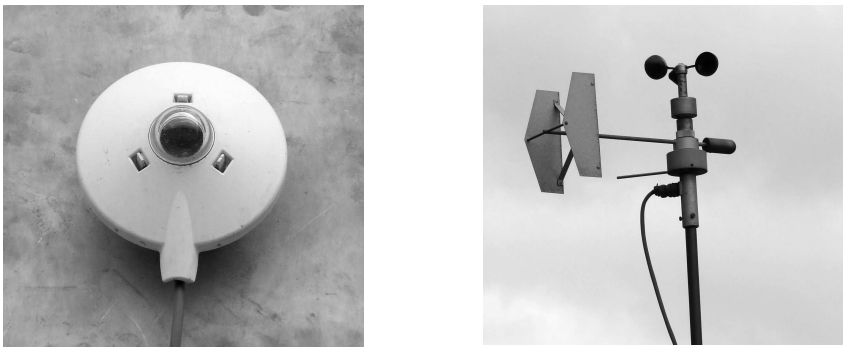
W trakcie pomiarów zapisywane są następujące dane związane z przepływem strumienia cieplnego przez przegrodę:

- wartość natężenia promieniowania słonecznego, (W/m^2),
- wartość gęstości strumienia cieplnego na powierzchni wewnętrznej, przepływającego przez przegrodę, (W/m^2),
- wartość temperatury: powietrza zewnętrznego, powietrza wewnętrznego w komorze, na powierzchniach styku poszczególnych warstw materiałowych w przegrodzie, wewnątrz warstwy akumulacyjnej (°C),
- kierunek i prędkość wiatru, (m/s).

3.1. Aparatura badawcza

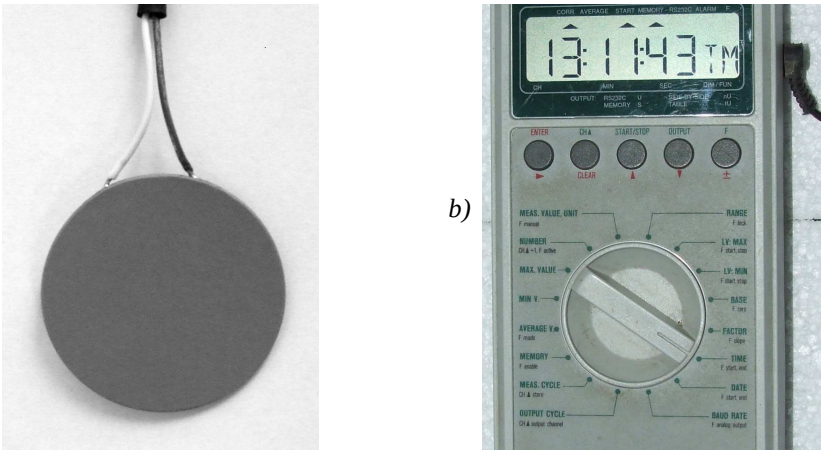
Do rejestracji odczytów badań wykorzystuje się aktualnie następujący sprzęt badawczy:

- Pyranometr (*Rys.2a*) – Zakres pomiaru – (0..2000 W/m^2), Zakres temperatur pracy – (-40...+80 °C), Czułość – (5...15 uV/W/m^2) - 1 szt.,
- Czujnik kierunku i prędkości wiatru (*Rys.2b*) - 1szt.,
- Rejestrator zapisujący dane pomiarowe z pyranometru – 1szt.,
- Sonda do pomiaru gęstości przepływu strumienia cieplnego (*Rys.3a*) – średnica 33mm, dokładność pomiaru 6%, – 6 szt.,
- Wielokanałowe rejestratory (*Rys.3b*) do zapisu danych pochodzących z czujników gęstości przepływu strumienia cieplnego – 2szt.,
- Czujnik temperatury (*Rys.4a*) – zakres pomiarowy – (–55°C to +125°C), dokładność pomiaru (0,5°C) – 44 szt.,
- Zestaw komputerowy rejestrujący (*Rys.4b*) dane z czujników temperatury oraz pomiar prędkości i kierunku wiatru – 2szt.



Rys. 2. Czujniki: a) pyranomert, b) wiatromierz
Fig. 2. Sensors: a) the solar energy meter, b) the anemometer

a) *b)*



Rys. 3. a) Czujnik gęstości przepływu strumienia cieplnego, b) rejestrator wielokanałowy
Fig. 3. a) The sensor of the density of the heat flow, b) the multi -channel register

Rys. 4. a) Czujnik temperaturowy, b) komputerowy zestaw rejestrujący,
Fig. 4. a) the thermometer, b) the computer set recording

3.2. Rejestracja danych pomiarowych

Wartości natężenia promieniowania słonecznego oraz prędkości i kierunku wiatru są mierzone i zapisywane w pamięci rejestratora lub komputera. Dane mogą zostać zapisane w formacie pliku tekstowego w celu przeprowadzenia dalszej analizy statystycznej w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym. Częstotliwość zapisu mierzonych wartości definiowana jest w rejestratorze (słońce) oraz programowo (wiatr) i w badaniach przyjęto ją na poziomie 5 minut.

Częstotliwość zapisu gęstości strumienia cieplnego uzależniona jest od rejestratora. Dwukanałowy miernik „A" podłączony jest bezpośrednio do komputera i dane są automatycznie zapisywane w pliku tekstowym z częstotliwością pomiaru równą 10s. Czterokanałowy rejestrator „B" zapisuje wartości odczytów do pamięci wewnętrznej z częstotliwością zapisu równą 2 minuty.

Pomiar temperatury odbywa się w sposób ciągły. Przyjęto dla celów badawczych zapis danych z częstotliwością równą 30s.

4. CEL I ZAKRES BADAŃ

Przegroda o zaproponowanej konstrukcji jest przeznaczona dla południowych elewacji. Badania mają na celu analizę strumienia cieplnego przepływającego przez przegrodę kolektorowo-akumulacyjną w rzeczywistych warunkach pracy. Realizacja założonych celów badawczych ma pomóc w odpowiedzi na następujące pytania:

- Jak duże zyski cieplne można uzyskać przy zastosowaniu proponowanej konstrukcji w okresie zimowym w porównaniu do przegród wykonanych tradycyjnym systemem?
- Jaki wpływ na efektywność cieplną ściany ma rodzaj przeszklenia oraz zastosowanie rolety termoizolacyjnej?
- Jak zmienia się wartość oraz kierunek strumienia cieplnego wewnątrz przegrody w czasie doby w zależności od wartości natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury zewnętrznej i wewnętrznej?
- Jak zmienia się rozkład temperatur wewnątrz przegrody w czasie doby?

Badania obejmują okres całoroczny. Ma to na celu określenie efektywności cieplnej przegrody zarówno dla sezonu grzewczego, jak i okresu letniego.

5. PODSUMOWANIE

Kompleksowe badania przegrody (*Rys.5*) zarówno pod kątem rozkładu temperatury w jej wnętrzu jak i wartości strumienia cieplnego - określonej na powierzchni wewnętrznej pozwoli na dogłębną analizę bilansu cieplnego przegrody. Dzięki temu będzie możliwe określenie, czy zaproponowana konstrukcja jest rozwiązaniem korzystnie wpływającym na warunki termiczne panujące wewnątrz pomieszczenia oraz czy możliwe jest uzyskanie wymiernych zysków energetycznych w odniesieniu do tradycyjnych systemów dociepleń konstrukcji szkieletowych. Uzyskanie odpowiedzi twierdzących na te pytania będzie podstawą do kontynuacji prowadzonych badań. Dalsza analiza będzie miała na celu określenie optymalnej konfiguracji przegrody, dla której komfort wewnętrzny w pomieszczeniu jest najlepszy, a zyski cieplne w bilansie energetycznym przegrody są największe.

Rys. 5. Widok badanej przegrody, a) strona wewnętrzna b) strona zewnętrzna,
Fig. 5. The view of the investigated barrier, a) the internal side, b) the external side

6. LITERATURA

[1] PN-EN 410:2001 Szkło w budownictwie - Określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia,

[2] PN-EN 673:1999 Szkło w budownictwie - Określenie współczynnika przenikania ciepła "U" - Metoda obliczeniowa.

THE METHODOLOGY of INVESTIGATIONS MASS-WALL WITH THE SKELETAL CONSTRUCTION IN THE CLIMATICAL CHAMBER

SUMMARY

The description of the investigative position is introduced in this paper. The investigation mass-wall are connected the analysis of the systems of external walls applied in steel skeletal constructions. The investigated barrier is proposed as the solution of the south elevation for buildings being on the open terrain about the large insolation.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Przemysław MIĄSIK, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: pmiasik@prz.edu.pl

WSTĘPNA ANALIZA CIEPLNA PRZEGRODY KOLEKTOROWO-AKUMULACYJNEJ O KONSTRUKCJI SZKIELETOWEJ NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawione zostały wstępne wyniki badań przegrody kolektorowo-akumulacyjnej o konstrukcji szkieletowej. Badania obejmują okres od 04.03.2008 do 31.04.2008. Przegroda o zaproponowanej konstrukcji jest alternatywną propozycją dla tradycyjnych systemów dociepleń w przypadku południowych elewacji w obiektach o stalowej konstrukcji szkieletowej.

1. WPROWADZENIE

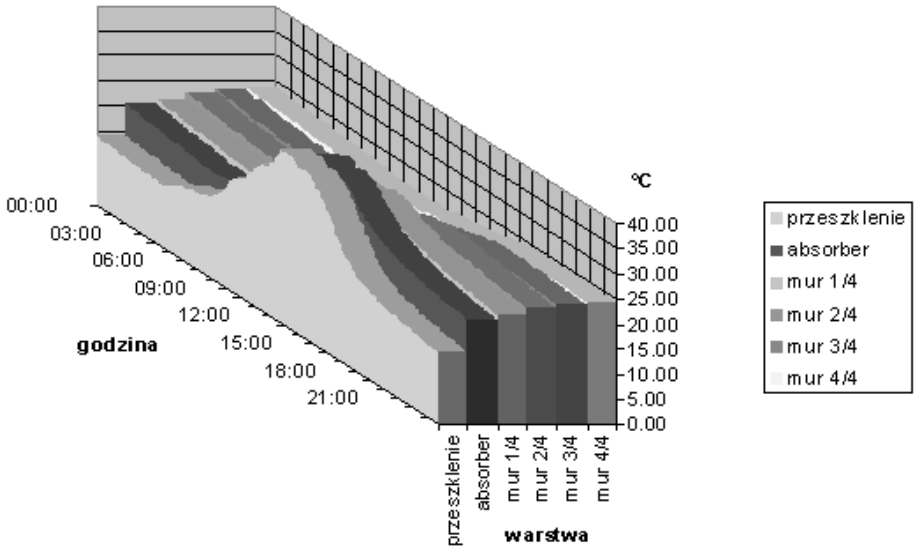
W trakcie pomiarów rejestrowane były: wartość natężenia promieniowania słonecznego (W/m^2), wartość gęstości strumienia cieplnego (na powierzchni wewnętrznej) przepływającego przez przegrodę (W/m^2), wartość temperatury: powietrza zewnętrznego oraz wewnętrznego w komorze, na powierzchniach styku poszczególnych warstw materiałowych w przegrodzie, wewnątrz warstwy akumulacyjnej (°C). Celem badań jest określenie efektywności cieplnej przegrody w rzeczywistych warunkach klimatycznych. Stanowisko badawcze zostało dokładniej opisane w [1].

2. WYNIKI BADAŃ

2.1. Rozkład temperatur w przegrodzie

Pomiar odczytów pochodzących z czujników temperaturowych był rejestrowany z częstotliwością 30 sekund. Na *Rys.1.* przedstawiono rozkład dzienny temperatury we wnętrzu przegrody w jednym z sześciu segmentów pomiarowych. Wartość temperatury

o określonej godzinie dnia jest wartością średnią uzyskaną w trakcie całego okresu pomiarowego.



Rys. 1. Rozkład dzienny temperatury we wnętrzu przegrody
Fig. 1. The day graph of temperature in the interior of the barrier

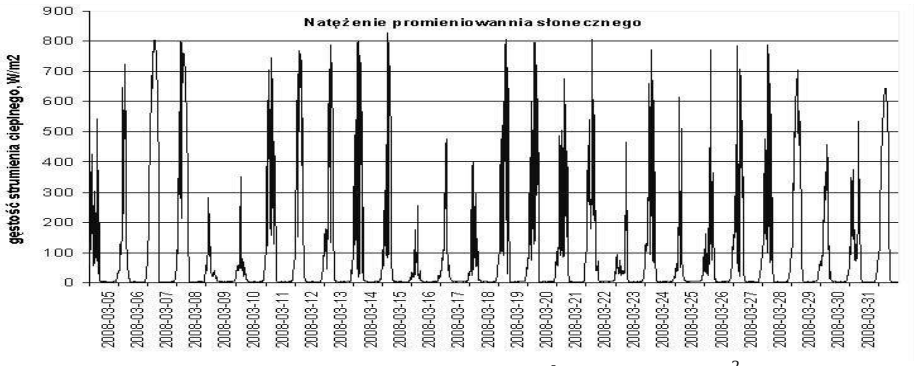
Wzrost temperatury na powierzchni zewnętrznej przegrody następuje w okresie maksymalnego natężenia promieniowania słonecznego. Fala termiczna wnika do wnętrza przegrody i pojawia się na wewnętrznej powierzchni w godzinach wieczornych. W *Tab.1.* zestawiono średnie wartości temperatur z całego okresu pomiarowego w przegrodzie w czasie doby z podziałem na okresy trzygodzinne.

Tabela 1. Średnia temperatura uzyskana w punktach charakterystycznych przegrody
Table 1. Average temperature got in the characteristic points of the barrier

Przedział godzinowy doby	Średnia temperatura uzyskana podczas całego okresu pomiarowego w punktach charakterystycznych przegrody, °C					
	przeszklenie	absorber	pow. zewn. muru	1/3 grub. muru	2/3 grub. muru	pow. wewn. muru
0:00-3:00	13.57	19.73	20.84	22.15	22.82	23.53
3:00-6:00	13.22	18.50	19.69	21.01	21.83	22.75
6:00-9:00	16.23	18.73	19.21	19.99	20.79	21.91
9:00-12:00	25.24	25.36	22.66	20.39	20.33	21.39
12:00-15:00	33.42	33.02	28.32	23.46	21.72	22.07
15:00-18:00	26.60	29.15	28.05	25.94	24.03	23.67
18:00-21:00	17.52	23.75	24.53	25.20	24.90	24.77
21:00-24:00	15.20	21.58	22.63	23.81	24.27	24.63

2.2. Promieniowanie słoneczne

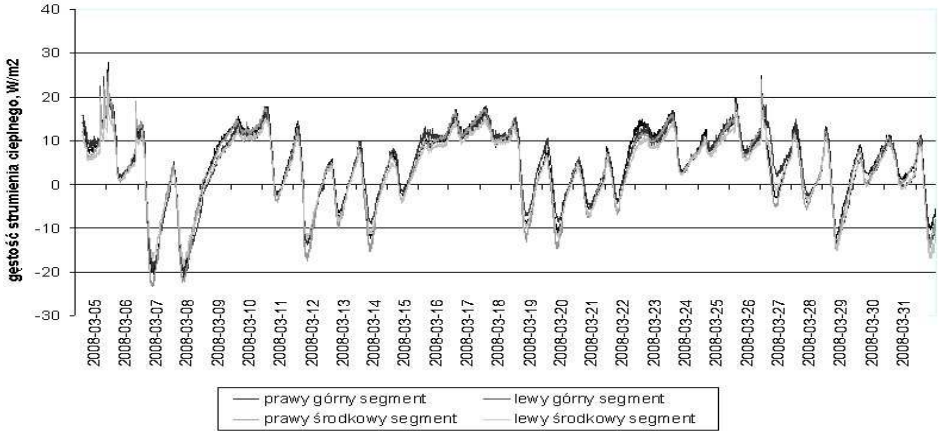
Odczyty z pomiarów natężenia promieniowania słonecznego były rejestrowane z częstotliwością zapisu równą 5 minut. Na *Rys.2.* przedstawiono wyniki z całego okresu badawczego. Widoczne są kilkudniowe okresy, w których zarejestrowana została wysoka wartość natężenia promieniowania słonecznego (5-7.03; 10-14.03; 18-21.03; 26-28.03).



Rys. 2. Natężenie promieniowania słonecznego, W/m^2
Fig. 2. The intensity of the solar energy, , W/m^2

2.3. Gęstość strumienia ciepła

Pomiar gęstości strumienia cieplnego na wewnętrznej powierzchni przegrody odbywał się niezależnie dla 6-ciu pól pomiarowych w przegrodzie. Na *Rys.3.* zilustrowane są wartości gęstości strumienia cieplnego uzyskane w czterech górnych segmentach przegrody. Widoczna jest duża zgodność wyników w poszczególnych polach. Wartości ujemne na tym wykresie oznaczają, że strumień energii cieplnej przemieszcza się od strony zewnętrznej w kierunku wnętrza, a więc jest strumieniem „zasilającym" pomieszczenie.

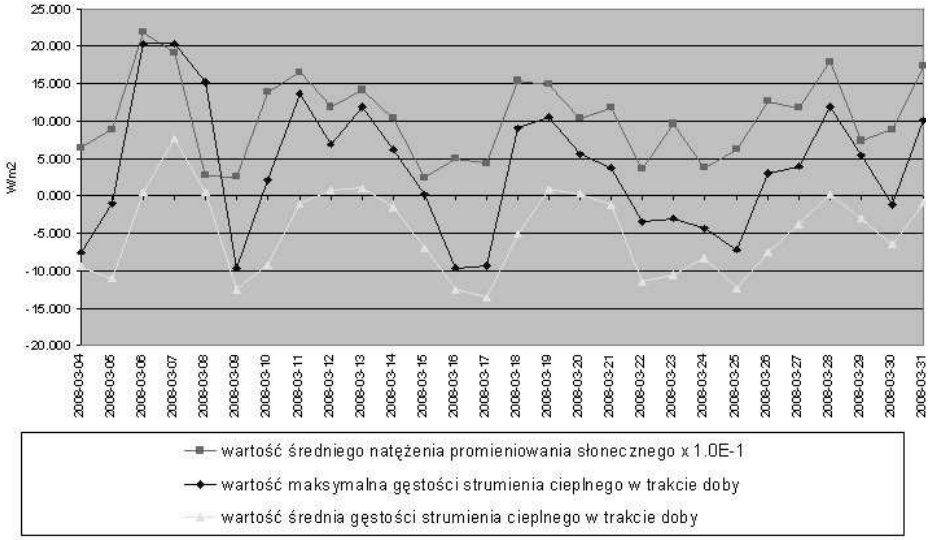


Rys. 3. Gęstość strumienia cieplnego wychodzącego mierzonego na wewnętrznej powierzchni przegrody, W/m^2
Fig. 3. The density of the heat flow going out on the internal surface of the barrier, W/m^2

3. ANALIZA WYNIKÓW

3.1. Promieniowanie słoneczne a wartość strumienia cieplnego

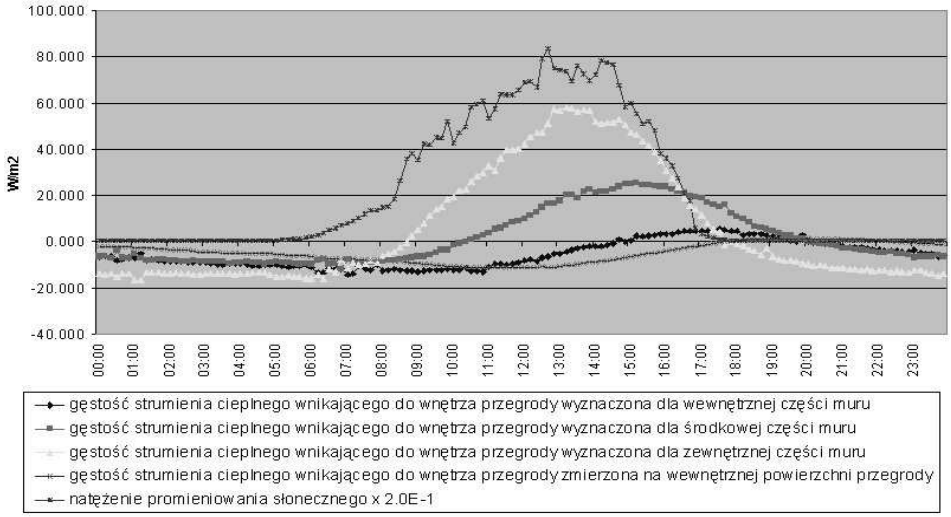
Wartość strumienia cieplnego przenikającego przez przegrodę jest ściśle związana z wartością promieniowania słonecznego padającego na tą przegrodę. Na *rys.4.* Pokazano średnie dobowe wartości oraz wskazania maksymalne gęstości strumienia cieplnego wnikającego do wnętrza pomieszczenia (mierzone na powierzchni wewnętrznej) i porównano ze średnimi dobowymi wartościami natężenia promieniowania słonecznego. Kształt wszystkich trzech wykresów jest zbliżony. Wynika z tego, że wartość strumienia cieplnego jest w przybliżeniu wprost proporcjonalna do wielkości promieniowania słonecznego, padającego na przegrodę od strony zewnętrznej. W przypadku, gdy w trakcie dnia panuje słoneczna pogoda, wysoka wartość promieniowania słonecznego utrzymuje się przez dłuższy okres czasu i efektem jest dodatnia wartość średnia odczytów strumienia wnikającego do wnętrza pomieszczenia w okresie dobowym (np. 7.03; 12-13.03).



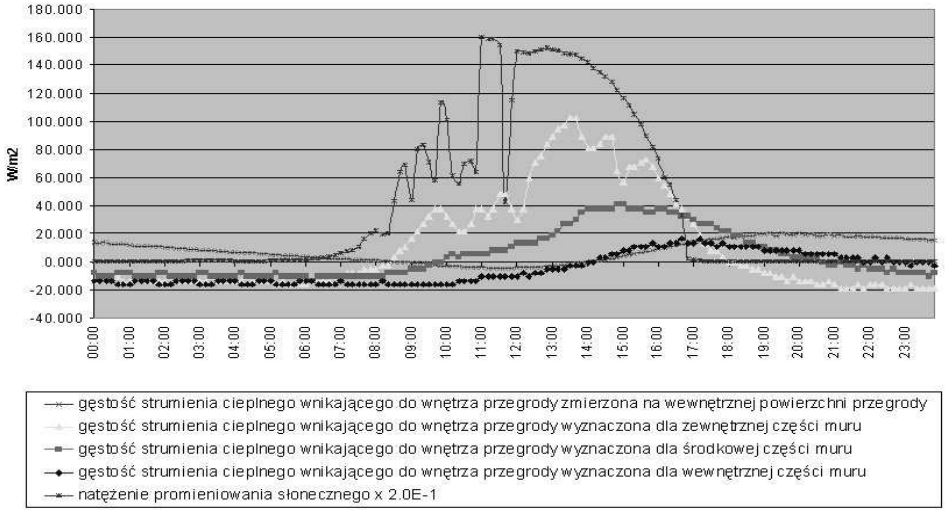
Rys. 4. Zależność gęstości strumienia cieplnego od natężenia promieniowania słonecznego
Fig. 4. The dependence of the density of the heat flow from the intensity of the solar energy

3.2. Strumień cieplny wewnątrz muru

Strumień cieplny wnikający do przegrody od strony zewnętrznej „potrzebuje" kilku godzin, żeby przedostać się przez materiał akumulujący i dotrzeć do wewnętrznej powierzchni przegrody. W tym czasie znaczna część energii cieplnej zostaje pochłonięta i przez materiał akumulujący. To zjawisko jest zilustrowane na *Rys.5.-6.*, na których przedstawiono przebieg strumienia cieplnego w poszczególnych przedziałach materiału akumulującego w okresie dobowym. *Rys.5.* odnosi się do wartości średnich, uzyskanych w trakcie całego okresu pomiarowego, natomiast na *Rys.6.* pokazano przykładowy przebieg strumienia cieplnego dla dnia pogodnego, w którym wartości promieniowania słonecznego były duże podczas całego dnia.



Rys. 5. Średnia wartość gęstości strumienia cieplnego wewnątrz muru w okresie doby
Fig. 5. The average value of the density of the heat flow inside wall in the period of the day



Rys. 6. Przykładowy rozkład gęstości strumienia cieplnego wewnątrz muru w okresie doby dla dnia pogodnego.
Fig. 6. Example graph of the density of the heat flow inside wall in the period of the day for the clear day.

W *Tab.2.* zestawiono średnie wartości gęstości strumienia cieplnego oraz natężenia promieniowania słonecznego uzyskane w trakcie całego okresu pomiarowego. Doba została podzielona na okresy trzygodzinne, natomiast materiał akumulujący na trzy przedziały (w kierunku grubości).

Tabela 2. Średnia wartość gęstości strumienia cieplnego w trakcie doby
Table 2. The average value of the density of the heat flow during the of the day

przedział czasowy, h	gęstość strumienia cieplnego wyliczona na podstawie pomiarów temperatury			gęstość strumienia cieplnego zmierzona na powierzchni wewnętrznej przegrody	natężenie promieniowania słonecznego
	zewnętrzna część muru	środkowa część muru	wewnętrzna część muru		
	W/m^2				
0:00-3:00	-14.13	-7.31	-7.66	-2.91	3.10
3:00-6:00	-14.21	-8.87	-9.97	-5.24	4.13
6:00-9:00	-8.36	-8.64	-12.16	-7.71	67.28
9:00-12:00	24.48	0.68	-11.47	-10.59	262.95
12:00-15:00	52.41	18.87	-3.79	-9.50	363.60
15:00-18:00	22.78	20.67	3.82	-2.95	126.58
18:00-21:00	-7.19	3.22	1.46	1.28	2.97
21:00-24:00	-12.67	-4.96	-3.92	0.09	3.01

Wartości gęstości strumienia cieplnego wewnątrz muru uzyskane zostały na podstawie odczytów temperatury na granicach przedziałów. Do obliczeń przyjęto współczynnik przewodzenia ciepła dla muru z cegły silikatowej pełnej wg [2]. Wartości gęstości strumienia cieplnego na powierzchni wewnętrznej oraz promieniowania słonecznego są wartościami średnimi uzyskanymi z odczytów bezpośrednich.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania umożliwiają dokładną analizę pracy przegrody pod kątem przepływu strumienia cieplnego w odniesieniu do dowolnych okresów czasowych oraz poszczególnych przedziałów grubości wewnątrz materiału akumulującego.

5. LITERATURA

[1] Miąsik P.: Metodyka badań przegrody kolektorowo-akumulacyjnej o konstrukcji szkieletowej w komorze klimatycznej, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 2008
[2] PN-EN ISO 6946:1999 Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła.

THE THERMAL ANALYSIS of MASS-WALL WITH THE SKELETAL CONSTRUCTION ON THE BASIS PRELIMINARY RESULTS INVESTIGATIONS

SUMMARY

The preliminary results of the investigations of the mass-wall with the skeletal construction were introduced in the report. Investigations include the period from 04.03.2008 to 31.04.2008. The barrier is the alternative proposal for traditional systems of insolation in the case of south elevations in objects about the steel skeletal construction.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Elżbieta MIŚNIAKIEWICZ, dr inż.

Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa
Katedra Dróg i Mostów
ul. Katowicka 48, 45-061 Opole
e-mail: mem@plusnet.pl

MONITORING STĘŻENIA DWUTLENKU WĘGLA A JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono problem jakości powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach użyteczności publicznej takich jak sale wykładowe, szkolne, konferencyjne znajdujące się w obiektach z wentylacją naturalną. Przedstawiono wyniki pomiarów stężenia CO_2 przeprowadzanych w sali wykładowej uczelni. Podwyższony poziom stężenia dwutlenku węgla można redukować podczas użytkowania takich pomieszczeń poprzez sterowanie dopływem powietrza dokonywanym przez użytkowników. Sygnalizowane przez miernik przekroczenie stężenia CO_2 może być bodźcem dla użytkowników do zwiększenia dopływu powietrza (np. poprzez uchylenie okien).

1. WPROWADZENIE

Pomiar stężenia dwutlenku węgla od wielu lat jest uznawaną miarą jakości powietrza w pomieszczeniach użytkowanych przez znaczną liczbą osób, takich jak np. szkolne i uczelniane sale ćwiczeniowe, wykładowe oraz sale konferencyjne i audytoryjne. W takich pomieszczeniach obiektów aktualnie realizowanych, mechaniczna wymiana powietrza jest sterowana zazwyczaj przy zastosowaniu mierników do kontroli stężenia CO_2 (w zależności od potrzeb następuje zwiększanie wymiany powietrza). Niestety olbrzymia większość użytkowanych w kraju pomieszczeń, w których przebywa znaczna ilość osób przez mini-

mum kilka godzin dziennie jest wyposażona w wentylację naturalną, co skutkuje w efekcie niską jakością powietrza, pogarszającą się w trakcie przebywania użytkowników.

W niniejszym artykule zasygnalizowano możliwość poprawy jakości powietrza w takich pomieszczeniach, poprzez wymuszenie na użytkownikach pomieszczeń sterowalności wymianą powietrza w obiektach wyposażonych tylko w wentylację naturalną oraz dodatkowo – w miernik CO_2.

2. DWUTLENEK WĘGLA MIARĄ JAKOŚCI POWIETRZA W POMIESZCZENIACH

W pomieszczeniach użyteczności publicznej, takich jak sale szkolne bądź wykładowe, w których przebywa jednocześnie znaczna ilość osób, poziom stężenia CO_2 w pomieszczeniu jako produktu biochemicznej przemiany materii jest jedną z podstawowych miar jakości powietrza. W pomieszczeniach tych są emitowane również inne zanieczyszczenia, np. z elementów budowlanych, wyposażenia pomieszczeń, co może czasami uzależniać niezbędną intensywność wentylacji od ich emisji.

W 1856 roku M. J. Pettenkofer stwierdził, iż zanieczyszczenia generowane przez ludzi są przyczyną dyskomfortu oraz zaproponował, aby wskaźnik emisji CO_2 nie przekraczał w pomieszczeniach wartości 1000 ppm, czyli 0,1 % udziału objętościowego w powietrzu [1]. Górna granica świeżości powietrza wg norm WHO wynosi 1000 ppm. Ta wartość stężenia CO_2 jest graniczną w ustalaniu akceptowalnej jakości powietrza w takich krajach jak Szwecja, Japonia, Kanada co jest równoważne ilości powietrza wentylacyjnego o wartości 25,2 m^3/h na osobę. Maksymalne stężenie we Włoszech i Finlandii przyjmuje się na poziomie 1500 ppm [2].

Zgodnie ze standardem ASHRAE/2001 strumień powietrza powinien wynosić minimum 8 dm^3/s/os. w szkołach, a 10 dm^3/s/os. w salach konferencyjnych [1].

Wpływ podwyższonego poziomu CO_2 w powietrzu jako przyczyny dyskomfortu w zatłoczonych pomieszczeniach był badany już w II połowie XVIII wieku przez A.L. Lavoiser'a. W XX wieku rozpoczął badania nad jakością powietrza wewnętrznego na szeroką skalę P. O. Fanger. Zgodnie z tymi badaniami, osiągnięcie wymiany powietrza dające maksymalne stężenie CO_2 w wartości 1000 ppm pozwala na usunięcie większości obciążeń i zanieczyszczeń powietrza z pomieszczeń. Ze wzrostem stężenia CO_2 ponad ten poziom emitowany jest nieprzyjemny zapach ciała, tzw. *„odor body"* – emisja biozanieczyszczeń wydzielanych przez człowieka przekracza 1 olf – oraz mogą wystąpić różnego typu nieprawidłowości i symptomy chorobowe (przy pojawieniu się zwiększonych stężeń CO_2 procesy metaboliczne organizmu ludzkiego przebiegają przy zmniejszonym stężeniu tlenu we krwi).

Ustalono, iż przy aktywności człowieka 1 met (człowiek w pozycji siedzącej) wydzielane jest około 18 dm^3 CO_2 na godzinę (0,005 dm^3/s), a usunięcie tego zanieczyszczenia wymaga dostarczenia do pomieszczenia 20÷30 m^3/h/osobę świeżego powietrza. Dostarczenie takiej ilości powietrza pozwala na utrzymanie koncentracji CO_2 na poziomie około 1000 ppm, co jest akceptowalnym poziomem stężenia (20% osób niezadowolonych) [3, 4, 5]. Ilość generowanego CO_2 przez osobę zależna jest od wielu czynników, można ją określić przy pomocy równania uwzględniającego między innymi wzrost, wagę i aktywność człowieka [5].

Zadziwiającym jest fakt, iż po 150 latach od ustalenia przez M.J. Pettenkofera akceptowalnego stężenia CO_2 (1000 ppm) i poziomu stężenia CO_2 poniżej 700 ppm, jako

granicznego dla uzyskania dobrej jakości powietrza, w znacznej większości zasobów krajowego budownictwa wyposażonego w wentylację naturalną nie dąży się w sposób zdecydowany do obniżania stężenia poziomu dwutlenku węgla.

Pomiary stężenia CO_2 uzależnionego od przebywania w pomieszczeniach osób je użytkujących były między innymi przeprowadzane [6] w pomieszczeniach biurowych, mieszkalnych i wykazały wzrost stężenia CO_2 wskutek przebywających w nich osób do wartości wahających się w granicach 2000÷3000 ppm, przekraczających znacznie wartość zalecaną 1000 ppm.

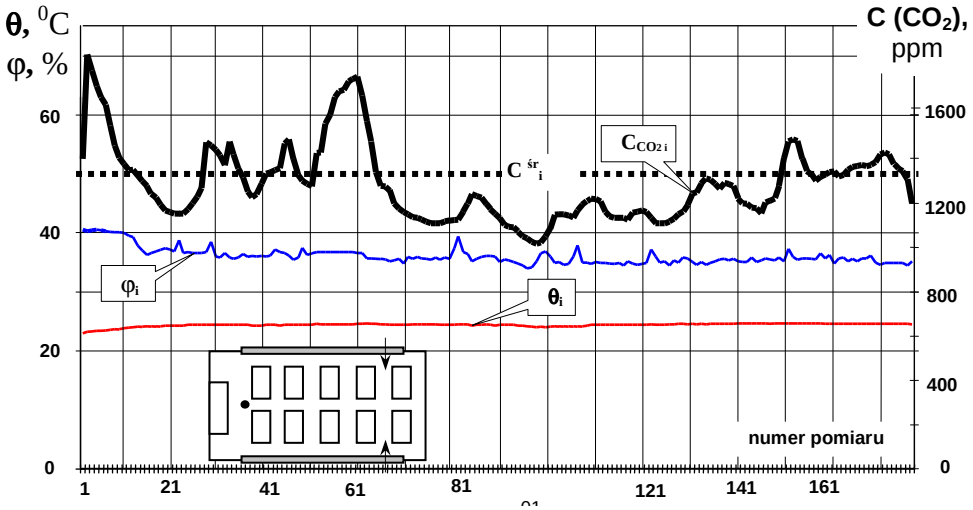
3. PRZEPROWADZONE POMIARY I ANALIZA WYNIKÓW

Pomiary stężenia CO_2 przeprowadzono w trakcie wykładów w jednej z sal wykładowych Wydziału Budownictwa Politechniki Opolskiej. Przeprowadzono je na wykładach o różnym czasie trwania i z różną ilością użytkowników.

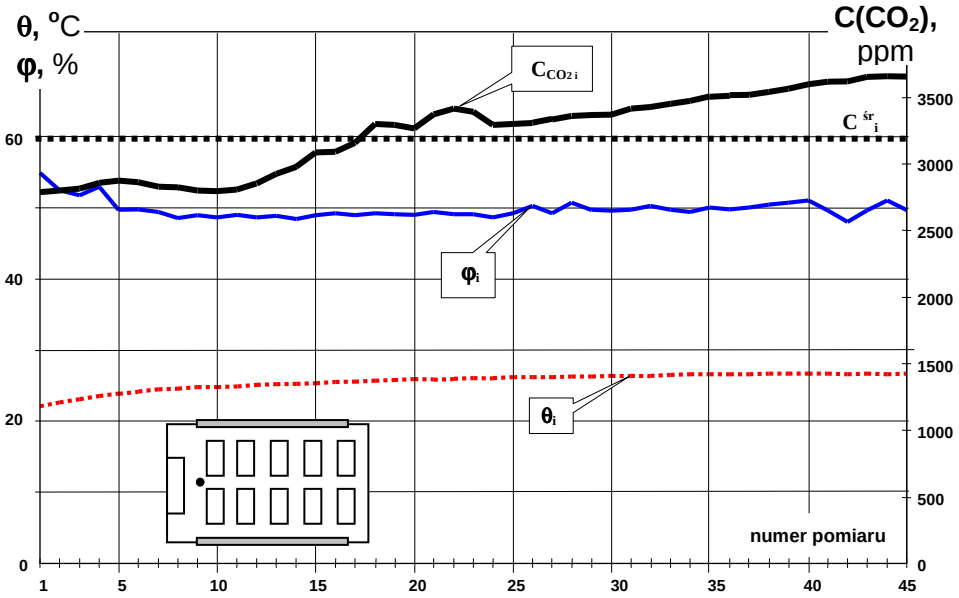
Pomiary stężenia dwutlenku węgla przeprowadzono miernikiem AirTech 2600-SP, wilgotności względnej powietrza i temperatury – termohygrometrem ETI 8703.

3.1. Charakterystyka sali wykładowej oraz pomierzonych parametrów powietrza

Sala, w której przeprowadzano pomiary jest przeznaczona dla 126 studentów. Powierzchnia sali 165 m^2, kubatura 515 m^3 w dłuższych ścianach (rys. nr 1÷3) zamontowane są okna drewniane zespolone (nieuszczelnione) o łącznej długości szczelin 121 m. W sali zamontowane są drzwi drewniane wewnętrzne oraz zewnętrzne, każde o długości szczelin 8,7 m oraz 4 kratki wywiewne o wymiarach 12x18 cm.



Rys. 1. Zmiana stężenia CO_2 w powietrzu sali wykładowej
2 wykłady po 45 min., 90 osób, 2 okna 15% uchylone [7]
Fig. 1. Changes of CO_2 concentrations in air of lecture hall
2 lectures of 45 minutes, 90 persons, 2 windows 15% opened [7]



Rys. 2. Zmiana stężenia CO_2 w powietrzu sali wykładowej wykład 45 min., 90 osób, okna zamknięte [7]
Fig. 2. Changes of CO_2 concentrations in air of lecture hall lectures of 45 minutes, 90 persons, windows closed [7]

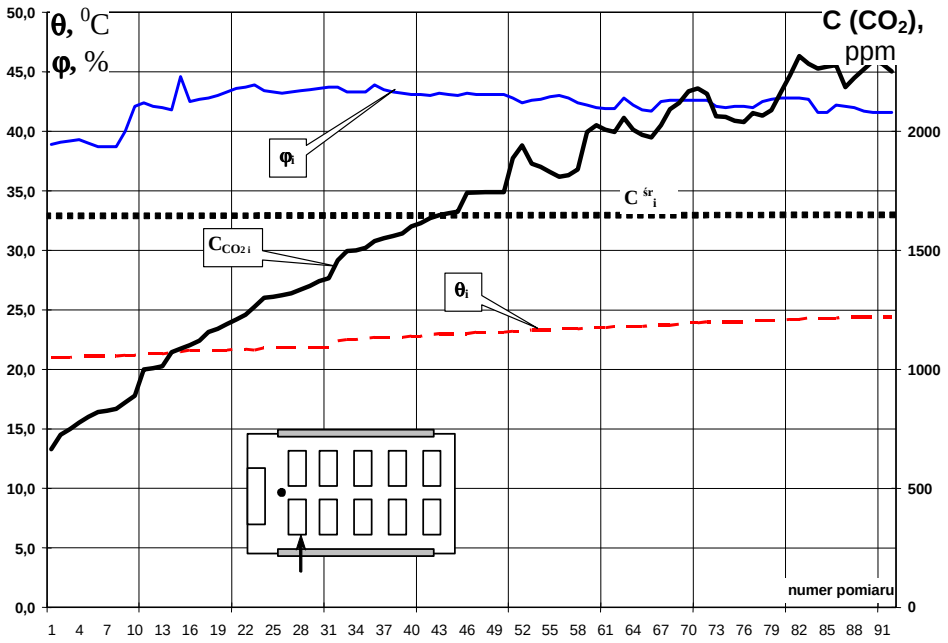
Pomiary stężenia CO_2 w sali wykładowej przeprowadzono przy następujących parametrach powietrza zewnętrznego:

- pomiar nr 1:
  - stężenie $CO_{2,e}$ = 450 ppm
  - temperatura θ_e = 9,0 °C
  - wilgotność względna φ_e = 66 %
- pomiar nr 2:
  - stężenie $CO_{2,e}$ = 540 ppm
  - temperatura θ_e = 6,0 °C
  - wilgotność względna φ_e = 69 %
- pomiar nr 3:
  - stężenie $CO_{2,e}$ = 475 ppm (04.04.2008r.)
  - temperatura θ_e = 8,0 °C
  - wilgotność względna φ_e = 72 %

Na rysunkach przedstawiono punktem usytuowanie w sali mierników (na poziomie 0,85 m nad posadzką) a strzałkami lokalizację uchylonych okien (uchylenie około 15% skrzydła okiennego o powierzchni 1 m^2).

Pomiar nr 1 (rys. nr 1) oraz pomiar nr 2 (rys. nr 2) przeprowadzono przy wykorzystaniu sali przez użytkowników w 71%.

Pomiar nr 3 (rys. nr 3) przeprowadzono przy wykorzystaniu sali w 53%.



Rys. 3. Zmiana stężenia CO_2 w powietrzu sali wykładowej
wykład 90 min., 67 osób, 1 okno 15% uchylone
Fig. 3. Changes of CO_2 concentrations in air of lecture hall
lectures of 90 minutes, 67 persons, 1 window 15% opened

3.2. Analiza wykonanych pomiarów

W trakcie każdego z przeprowadzanych pomiarów temperatura powietrza w sali wzrastała o około 2°C, wilgotność względna ulegała niewielkim wahaniom – wzrost o około 2 %. Poziom stężenia CO_2 był uzależniony od stopnia otwarcia okien, ilości użytkowników oraz długości trwania wykładu, stężenie utrzymywało się na poziomie zdecydowanie wyższym od uznawanego za graniczny (1000 ppm).

Opuszczenie sali przez studentów w czasie przerwy między wykładami pozwoliło obniżyć poziom dwutlenku węgla (rys. nr 1) do około 1000 ppm, a uchylenie okien pozwoliło utrzymać poziom 1000÷1800 ppm.

Wejście grupy studentów do nieprzewietrzonej sali skutkowało początkowym poziomem stężenia 2700 ppm (rys. nr 2) zwiększonym o 1000 ppm pod koniec 45 minutowego wykładu (okna zamknięte, temperatura zewnętrzna niższa jak w trakcie przeprowadzania pozostałych pomiarów).

Wykład prowadzony przez 90 minut skutkował podwyższeniem stężenia o około 1500 ppm (rys. nr 3), pomimo iż na 30 minut przed zakończeniem wykładu jedno z okien uchylono. Wykład ten, prowadzony z 67 osobami w sali był pierwszym wykładem po nocnej przerwie - poziom stężenia CO_2 przed wejściem studentów do sali wynosił 665 ppm.

Dla zastosowanej w obiekcie stolarki okiennej przyjęto współczynniki infiltracji na podstawie badań przeprowadzonych przez M.B. Nantkę [8] – dotyczących między in-

nymi występowania wartości minimalnych (a_{min}=0,94 m^3/m/h/(daPa)), wartości średnich ($a_{śr}$=5,01m^3/m/h/(daPa)) współczynnika przenikania powietrza, a także wielkości wykładnika potęgowego ($\alpha_{śr}$=0,7; α_{max}=0,81; α_{min}=0,58) dla okien drewnianych zespolonych nie uszczelnionych.
Przy założeniu, że minimalna wartość współczynnika infiltracji powietrza przyjętego dla stolarki sali wynosi a=1,0m^3/m/h/daPa$^{2/3}$ oraz przy założeniu występowania stolarki o średniej wartości a=5,01m^3/m/h/daPa$^{2/3}$ określono orientacyjne strumienie powietrza przenikające do sali wykładowej dla średniej w sezonie grzewczym różnicy ciśnienia Δp_a=5Pa.

Strumienie obliczono z powszechnie stosowanej empirycznej zależności:

$$\psi_a = a\sum l\left(\frac{\Delta p_a}{10}\right)^{2/3}, \text{ m}^3\text{/h} \tag{1}$$

Strumień powietrza przy wypełnieniu sali np. w 53% (jak w czasie pomiaru nr 3) wynosi – przy stosunkowo dużej szczelności okien (a=1,0m^3/m/h/daPa$^{2/3}$) – Ψ_a=2,0m^3/h/os. oraz Ψ_a=9,0m^3/h/os. dla okien znacznie mniej szczelnych (a=5,0m^3/m/h/daPa$^{2/3}$).

Przy 100% wypełnieniu sali przez użytkowników – analogicznie – strumień kształtuje się następująco: Ψ_a=1,0m^3/h/os. oraz Ψ_a=5,0m^3/h/os. – wartości te są znacznie niższe od wymaganych 20 m^3/h/os [9] oraz 10 l/s/os. (36 m^3/h/os.) – standard ASHRAE/2001.

4. MONITORING I KONTROLA STĘŻENIA CO_2 W POMIESZCZENIACH

W budynkach realizowanych w ostatnich latach (bądź poddawanych modernizacji) dostarczanie odpowiedniej wielkości strumienia powietrza do pomieszczeń w zależności od liczby osób w nich przebywających – zależnie od potrzeb – jest możliwe przy zastosowaniu wentylacji mechanicznej sterowanej poziomem wymagań DCV *(Demand Controled Ventilation)*, w której wykorzystuje się pomiary stężenia CO_2. Sterowanie tym stężeniem można prowadzić w przypadku gdy nie ma innych źródeł zanieczyszczeń determinujących wymianę powietrza poza dwutlenkiem węgla generowanym przez ludzi [10, 11].

Niestety jak do tej pory większość budynków szkolnych, uczelnianych jest wyposażona tylko w wentylacją naturalną. Stąd wydaje się iż możliwym jest (przynajmniej do czasu przeprowadzenia modernizacji wentylacji) przy stosunkowo niskich kosztach sprowadzających się do zakupu mierników CO_2 wymuszenie na użytkownikach sterowania napływem powietrza do pomieszczeń poprzez sygnalizowanie miernikiem przekroczenia akceptowalnego poziomu stężenia tego gazu.

Szokującym jest porównanie wysokiej kontroli i dbałości w utrzymaniu odpowiedniego stężenia CO_2 przy produkcji szklarniowej lub np. w pieczarkarniach (dla wysokiego plonu i odpowiedniej jakości produkcji jest utrzymywane stężenie CO_2 w zakresie 800÷1500ppm) [4] do braku dbałości właścicieli budynków takich jak szkoły, uczelnie itp. o jakość powietrza w pomieszczeniach, w których przebywają dzieci, młodzież i inni użytkownicy wymagający przynajmniej akceptowalnej jakości powietrza wewnętrznego do codziennej kilku godzinnej pracy umysłowej.

W szkołach stosowane jest na przerwach między lekcjami przewietrzanie klas, lecz nawet ten zabieg nie zawsze jest skutecznie przeprowadzany [10]. Natomiast na uczelniach wykładowcy oraz studenci zaabsorbowani wykładami i ćwiczeniami zazwyczaj nie pamiętają o uchyleniu okien a najczęściej jest to jedyna możliwość doprowadzenia świeże-

go powietrza. W sporadycznych przypadkach nie jest wskazane uchylanie okien w czasie prowadzenia zajęć (hałas zewnętrzny, dyskomfort powodowany napływem zimnego powietrza bezpośrednio na użytkownika, itp.).

Zastosowanie miernika CO_2 z sygnalizatorem przekroczenia progów stężeń granicznych w pomieszczeniu pozwoli wymusić na użytkownikach pomieszczenia zwiększenie wymiany powietrza, np. przez uchylenie okna. Do takiego monitoringu może służyć selektywny miernik stężenia dwutlenku węgla np. AirTech vento z sensorem typu NDIR (NDIR – *Non - Dispersion – Infrared*, pomiar CO_2 na podstawie analiz w podczerwieni bez rozproszenia) – przenośny, z wyświetlaczem LCD, sygnalizujący optycznie 5 progów ostrzegawczych oraz dźwiękowo – przekroczenie maksymalnego nastawionego progu stężenia CO_2.

5. PODSUMOWANIE

Użytkownicy takich pomieszczeń jak sale konferencyjne, wykładowe, szkolne powinni mieć zapewnioną akceptowalną jakość powietrza. Ponieważ w większości pomieszczenia te są wyposażone w wentylację naturalną, jakość powietrza w trakcie użytkowania zazwyczaj przekracza poziom akceptowalny stężenia CO_2 - 1000 ppm.

Monitoring stężenia CO_2 w trakcie użytkowania pomieszczeń powinien stać się bodźcem dla użytkowników – poprzez sygnalizowanie przekraczanych progów stężeń – do zwiększenia wymiany powietrza np. poprzez uchylenie okien.

6. LITERATURA

[1] Sowa J.; Wpływ badań nad jakością powietrza w pomieszczeniach na ewolucję poglądów dotyczących wymaganej intensywności wentylacji – Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2001, Politechnika Warszawska, 2002,

[2] Sowiński P.; Jakość powietrza wewnętrznego w budynkach użyteczności publicznej – potrzeba norm – Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce ‘97, Politechnika Warszawska, 1998,

[3] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P.; Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy, Politechnika Śląska, 2003,

[4] Kabza Z., Kostyrko K.; Metrologia mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych – część 2, Politechnika Opolska, 2004,

[5] Sowa J.; Systemy wentylacji ze zmiennym strumieniem powietrza sterowane poziomem stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu – Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2003, Politechnika Warszawska, 2004,

[6] Nantka M.B., Oparczyk G., Miśniakiewicz E.; Wymiana powietrza i jej wpływ na klimat wewnętrzny – II Kongres Inżynierii Środowiska, materiały tom 2, Monografie komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk vol. 33, 2005,

[7] Miśniakiewicz E.; Wymiana powietrza w mieszkaniach i jej wpływ na jakość powietrza wewnętrznego, Rozprawa doktorska, Politechnika Opolska, 2002.

[8] Nantka M. B.; Problemy identyfikacji przepływów i wymiany powietrza w budynkach wielostrefowych z wentylacją naturalną, Zeszyt Naukowy nr 36, Politechnika Śląska, 1993

[9] PN-B-03430:1983:Az3/2000 „Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania”, 2000,

[10] Sowa J.; Porównanie algorytmów wykorzystujących ciągłe pomiary stężenia CO_2 do sterowania intensywnością wentylacji – Wentylacja, klimatyzacja i energetyka cieplna w budownictwie ogólnym – Materiały XIV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo – Technicznej, PZITS, 2002,
[11] Sowa J.; Wielokryterialna analiza możliwości modernizacji wentylacji klas szkolnych – Wentylacja, klimatyzacja i energetyka cieplna w budownictwie ogólnym – Materiały XIV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo – Technicznej, PZITS, 2002,

MONITORING OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATION AND INDOOR AIR QUALITY

SUMMARY

This paper presents indoor air quality problem in the public utility rooms such as lecture halls, classrooms, conference rooms equipped with natural ventilation. The results of CO_2 concentration monitoring in the university lecture hall are presented. Higher level of carbon dioxide concentration occurring during usage of such rooms can be reduce by controlling fresh air flow by users. High level of CO_2 concentration signalized by a data logger can be a stimulus for users to improve air flow (by opening windows).

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Witold NIEMIEC, dr hab. inż. Prof. PRz
Paulina SOBOLEWSKA mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów

TECHNOLOGIA PRODUKCJI ROŚLIN ENERGETYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM KOMUNALNYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH

STRESZCZENIE

W opracowaniu przedstawiono technologię zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych z wykorzystaniem nowych środków produkcji własnego pomysłu. Technologię opracowano dla potrzeb produkcji roślin energetycznych i przemysłowych, a zastosowane środki techniczne służą mechanizacji prac, z zachowaniem zasad ochrony środowiska.

1. WPROWADZENIE

Wzrastający problem zagospodarowania powiększającej się ilości komunalnych osadów ściekowych z jednej strony i zaostrzanie przepisów regulujących ich utylizację oraz dążenie UE do wyeliminowania wszelkich sposobów zagospodarowania poza termiczną ich obróbką, z drugiej strony, pozostawia niewielkie pole manewru w zakresie obróbki i pozbywania się tej uciążliwej i niebezpiecznej substancji. Istniejący stan prawny uznaje się za przejściowy do końca 2008 roku w związku z wprowadzeniem w życie zakazu składowania komunalnych osadów ściekowych na składowiskach odpadów (dyrektywa 99/31/EC) i wprowadzenia termicznej obróbki jako jedynej dopuszczalnej metody utylizacji osadów. Rosnąca wiedza społeczeństw w obszarze ochrony środowiska naturalnego oraz środowiska pracy i warunków życia człowieka przy prawnie zagwarantowanej możliwość dostępu do informacji o stanie środowiska i planach w zakresie jego antropogenicznego przekształca-

nia, jakiekolwiek postępowanie z osadami czyni bardzo trudnym i wymagającym dużej odpowiedzialności za podejmowane decyzje i działania w trakcie postępowania związanego z ich zagospodarowaniem [3-6,15].

Wzrastające areały upraw roślin energetycznych, między innymi w wyniku systemu dopłat stosowanych w ubiegłych latach przez UE, przekroczyły planowany sumaryczny obszar -1,8 ml ha w roku 2007, do ponad 2ml ha, co spowodowało obniżenie planowanych w roku 2008 dotacji o ok. 1/3. W województwie podkarpackim wytwarza się rocznie ponad 30 000 ton komunalnych osadów ściekowych, a powierzchnia odłogowanych gleb mających korzystne warunki wodno-gruntowe do uprawy wierzby energetycznej, to ponad 186 000 ha. Należy jednak zwrócić uwagę na konieczność zachowania kontrolowanego wzrostu powierzchni plantacji, ze względu na potrzebę zachowania równowagi pomiędzy areałami przeznaczanymi pod produkcję żywności i pasz oraz powierzchnią zajętą przez plantacje roślin energetycznych i przemysłowych, zgodnie z wymogami kodeksu dobrej praktyki rolniczej [3]. Prezentowane optymistyczne opinie w zakresie wysokiej opłacalności produkcji roślin energetycznych a przede wszystkim wierzby, okazują się być w wielu przypadkach przesadzone lub wręcz błędne. Założone w Polsce w ubiegłych latach plantacje o różnych powierzchniach areałów upraw, służą obecnie do weryfikacji wyników podstawowych prac badawczych prowadzonych uprzednio w skali doświadczalnych poletek. Obszary południowej Polski cechują się nadal dużym rozdrobnieniem pól uprawnych, a zatem istnieją korzystne warunki do produkcji roślin energetycznych i przemysłowych, ponieważ tradycyjnie obszary te charakteryzują się wysokim bezrobociem agrarnym, a produkcja żywności nie jest konkurencyjna w stosunku do wielkoobszarowego rolnictwa.

2. OPIS TECHNOLOGII

Na podstawie wieloletnich badań własnych, analizy danych literaturowych oraz dotychczas wdrożonych do praktyki rozwiązań, opracowano technologię zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych, dostosowaną do warunków produkcji rolniczej w małych gospodarstwach o zróżnicowanej hipsografii terenu. istotne ogniwa technologii przedstawiono w tab.1. ***podstawowe założenia*** przyjęte w opisywanej technologii wdrożonej do praktyki na skalę techniczną to:

- uwzględnienie w pełnym zakresie obowiązującego prawa oraz planowanych zmian w przyszłości, w zakresie gospodarczego wykorzystania komunalnych osadów ściekowych do produkcji roślin energetycznych,
- konieczność ochrony komponentów środowiska podlegających oddziaływaniu osadów z uwzględnieniem kryteriów ochrony łańcucha troficznego człowieka, zwierząt oraz środowiska naturalnego,
- energetyczne wykorzystanie wyprodukowanej biomasy na terenie gmin lub powiatów, w których produkowana jest biomasa,
- zastosowanie w opracowanej technologii: środków technicznych do zakładania plantacji, pielęgnacji upraw oraz zbioru i przetwarzania wyprodukowanej biomasy, z wykorzystaniem własnych nowatorskich rozwiązań, chronionych prawem (patenty, wzory użytkowe), dostosowanych do charakterystycznych cech gleb oraz powierzchni areałów przeznaczanych pod uprawy rolnicze na Podkarpaciu i innych rejonach Polski.

Tabela 1. Podstawowe etapy postępowania w procesie zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych wykorzystywanych do produkcji roślin energetycznych [20].

Table 1. The stages of proceeding in a municipal sewage sludge management which are using in energetic plants production [20].

Rodzaj operacji	**Miejsce i sposób wykonania**	**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 na zakładanej plantacji	Przygotowanie i nawożenie użytków rolnych: - powierzchniowe - iniekcyjne [16,17]	Ustawy, rozporządzenia, Dobra praktyka rolnicza
Badanie oddziaływania na ludzi i środowisko przyrodnicze	Elementy ekotopu badane w otoczeniu założonej plantacji: - gleby - wody [19]	Ustawy, rozporządzenia, decyzje
Produkcja i przechowalnictwo zrzezów	Teren gospodarstwa [21]	Warunki BHP oraz wymogi przechowywania materiału sadzonkarskiego
Sadzenie, sianie	Areały uprawne	Dobra praktyka rolnicza i wymogi żywieniowe roślin
Pielęgnacja i ochrona plantacji	Areały uprawne, praca: -ręczna -mechaniczna	Program ochrony i pielęgnacji plantacji zgodny z dobrą praktyką rolniczą
Zbiór wyprodukowanej biomasy	Na plantacji: -ręczny - mechaniczny	Zgodnie z celem zagospodarowania
Wstępna obróbka zebranej biomasy	Na plantacji lub w jej pobliżu: -ręczna - mechaniczna [18]	Zgodnie z celem zagospodarowania

Uwaga: wymienione w tabeli pozycje literaturowe zawierają pełne informacje o wskazanych urządzeniach.

3. PODSTAWOWE POZYCJE PONOSZONYCH KOSZTÓW W UPRAWIE ROŚLIN ENERGETYCZNYCH

Dotychczasowe doświadczenia płynące z wykorzystania w praktyce biomasy (ok. 4% wyprodukowanej energii w 2006 r. w krajach UE pochodziło z biomasy) [22], pozwalają wyciągnąć następujące wnioski implikacyjne dla ciepłownictwa:

- ✓ relatywnie niska wartość opałowa biomasy w odniesieniu do węgla, wpływa na konieczność magazynowania dwa razy większej ilości biomasy,

- ✓ zmienna objętość biomasy przy niezmiennej masie stwarza problemy przy ewidencjonowaniu tego paliwa,
- ✓ silna zależność pomiędzy jakością, wilgotnością i wartością opałową, powoduje konieczność budowania suchych magazynów oraz ma istotne znaczenia przy wyborze technologii spalania,
- ✓ brak standaryzacji paliwa utrudnia porównywanie efektywności spalania,
- ✓ sezonowość pozyskiwania biomasy powoduje konieczność gromadzenia paliwa w okresie letnim,
- ✓ rozproszona podaż paliwa przez producentów powoduje wzrost problemów i kosztów logistycznych,
- ✓ niewielki zasięg terytorialny w połączeniu z wysoką konkurencją może powodować niedobory paliwa po ekonomicznie uzasadnionych cenach,
- ✓ duża zmienność cen biomasy powoduje brak możliwości racjonalnego planowania zakupów w większych przedziałach czasowych.

Jak już wspomniano wcześniej, istotnym parametrem biomasy jest jej wartość opałowa. Podejmując próbę oceny dyspozycyjnej wartości opałowej jaką posiadają wyprodukowane rośliny zaliczane do grupy energetycznych, należy prześledzić w aspekcie ponoszonych kosztów cały cykl uprawy, na który składają się:

- ➢ wykonanie oceny na podstawie specjalistycznych badań: gleby, stosunków wodnych [7,8,11], możliwości wykorzystania wybranego areału pod produkcję wytypowanego gatunku roślin,
- ➢ przygotowanie areału (odchwaszczenie, nawożenie, orka),
- ➢ zakup i sadzenie roślin,
- ➢ ochrona i pielęgnacja roślin,
- ➢ zbiór, ewentualna obróbka wstępna plonu w warunkach polowych (ze względu na uwarunkowania odbiorcy biomasy),
- ➢ transport plonu do ostatecznego odbiorcy – nabywcy produktu.

Wymienione typowe prace i zabiegi wymagają nakładów finansowych, których wielkość będzie każdorazowa zależna od konkretnej sytuacji i poziomu cen: maszyn, nawozów, preparatów ochronnych, specjalistycznych usług agrotechnicznych, których plantator nie jest w stanie wykonać samodzielnie podczas całego cyklu produkcji, a mają one istotny wpływ na efektywną wartość opałową. W tym miejscu należy wspomnieć również o wysokości podatku gruntowego oraz ewentualnych innych opłatach wynikających z lokalnych uwarunkowań fiskalnych i możliwościach uzyskania finansowego wsparcia wynikającego z prowadzonej polityki państwa. W oszacowaniu ponoszonych kosztów i zakładanych zysków, wielokrotnie zapomina się o kosztach ponoszonych w ramach wkładu własnej pracy, której nie bilansuje się najczęściej w praktyce w przypadku małych areałów i możliwościach wykonania prac ręcznie lub z użyciem prostych narzędzi.

W praktyce można bilansować zyski na podstawie wkładu energii niezbędnej do wykonania pracy, lecz jest to metoda bardziej żmudna a zatem najczęściej szacunki wykonuje się w odniesieniu do ponoszonych kosztów wyrażanych za pomocą pieniędzy (cena środka technicznego, paliwa, siły roboczej itd.). Często w praktyce w celu pobudzenia inicjatywy w pożądanym kierunku wynikającym ze strategii i polityki prowadzonej przez państwo, ustanawiane są: ulgi, dotacje, dofinansowanie itp., które mają przyspieszyć skuteczność realizowanej polityki jak i też być np. instrumentem w osiągnięciu większej niezależności od dostawców zewnętrznych w obszarze bezpieczeństwa energetycznego. Brak

ujmowania w ocenie ekonomicznej wszystkich istotnych składników może prowadzić do dużych błędów i w konsekwencji rozczarowań w zakresie oczekiwanych zysków.

4. WNIOSKI

- Dotychczasowy udział energii pochodzącej z biomasy kształtuje się w skali kraju na ok. 2%. Jest to dalece niewystarczający poziom ze względu na zakładany 20% udział energii odnawialnej w 2020 r w państwach UE.
- W Województwie Podkarpackim powierzchnię odłogowanych gruntów szacuje się na ok. 200 000ha. Potencjalnie można większość tych areałów wykorzystać pod produkcję roślin energetycznych.
- Duże rozdrobnienie rozłogów oraz kurczący się rynek taniej siły roboczej, powodują konieczność mechanizacji prac związanych z uprawami roślin. Specjalistyczne środki produkcji powinny być dostosowane do wielkości areałów oraz hipsografi terenu.
- Wzrastający problem z zagospodarowaniem komunalnych osadów ściekowych można złagodzić, stosując je na plantacjach roślin energetycznych i przemysłowych. Osady stosowane na plantacjach upraw roślin nie przeznaczonych do produkcji żywności lub pasz są tanim sposobem odzyskania składników pokarmowych zawartych w osadach oraz nie stanowią zagrożenia dla ludzi i zwierząt, ponieważ są wyprowadzone z ich łańcucha troficznego.

Uzupełnieniem referatu są prezentacje audiowizualne nowych środków technicznych zaprojektowanych i wyprodukowanych dla potrzeb mechanizacji prac na małych i średnich plantacjach roślin energetycznych.

5. LITERATURA

[1] Skoczowski T. Energooszczędne technologie energetyczne. Energetyka Cieplna i Zawodowa. Nr 2. 2007 r. str. 79-81.

[2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 19.12.2005r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawiania do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczania opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii. Dz.U. Nr 261, poz. 2187.

[3] Niemiec W. Nowe maszyny do utylizacji osadów ściekowych i innych odpadów organicznych w uprawach roślin energetycznych. Ekologia i Technika Nr 5. 2007. str. 168--172.

[4] Kaniuczak J. i inni Wybrane właściwości osadów ściekowych zastosowanych do aglomeracji odłogu piaszczystego. Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej. Uniwersytet Rzeszowski Rzeszów 2005. str. 63-76.

[5] Niemiec W. Technologia agromelioracji odłogu piaszczystego przy użyciu osadów ściekowych. Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej. Uniwersytet Rzeszowski Rzeszów 2005. str. 129-154.

[6] Niemiec W., Zamorska J. Zarys technologii zagospodarowania niebezpiecznych odpadów organicznych. Ekologia i technika Nr 6.2006. str.224-228.

[7] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dn. 27.04.2001. Dz.U. Nr62.poz 627. z późniejszymi zmianami

[8] Ustawa o odpadach z dn. 27.04.2001r. Dz.U. Nr 62, poz. 628.

[9] Ustawa z dn. 29.07.2005 o zmianie ustawy o odpadach oraz zmianie niektórych innych ustaw. Dz. U. Nr 175, poz. 1458.
[10] Ustawa prawo wodne z dn. 18.07.2001 Dz.U. Nr 115, poz.1229.
[11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 1.08.2002, w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz.U. Nr 134, poz. 1140.
[12] Karwasz Z. Biomasa jako źródło wytwarzania energii odnawialnej w Polsce. Czysta Energia. Nr 7-8 2007r.
[13] Kołodziej Z. I inni Wierzbowe plantacje energetyczne – możliwości i zagrożenia. Czysta Energia Nr 2 2007.
[14] Ustawa z dn. 15.09.2000 o grupach producentów rolnych i ich związkach oraz o zmianie innych ustaw. Dz. U. Nr 88 poz. 983.
[15] Niemiec W. Nowe maszyny do utylizacji osadów ściekowych i innych odpadów organicznych w uprawach roślin energetycznych. Ekologia i Technika Nr 5 2007 str. 168--172.
[16] Niemiec W., Puchała J., Urządzenie do wprowadzania cieczy pod powierzchnię gleb i łąk. Wzór użytkowy Nr 58336.
[17] Niemiec W., Urządzenie do iniekcyjnego dawkowania do gleby sypkich nawozów organicznych i mineralnych. Zgłoszenie patentowe Nr 382062.(2007r.)
[18] Niemiec W. i inni, Sieczkarnia do drewna. Wzór użytkowy Nr W 116926. (2007r.)
[19] Niemiec W. Urządzenie do zbierania i pomiaru infiltrującej wody w warunkach polowych. Wzór użytkowy, zgłoszenie W 116896.(2007r.).
[20] Niemiec W. Wybrane problemy upraw roślin energetycznych na małych plantacjach. Nowa Energia. Nr 1 2008. Str. (71-74).
[21] Niemiec W. i inni. Urządzenie do produkcji zrzezów. Zgłoszenie patentowe. P 384427.(2008).
[22] Karnowski St. Doświadczenia ciepłowni w spalaniu biomasy. Nowa Energia Nr 1 2008. Str.(58-60)

TECHNOLOGY OF ENERGETIC PLANTS PRODUCTION BY USING MANUCIPAL WASTEWATER

SUMMARY

Technology of bringing into cultivation a municipal sewage sludge by use of new production means was presented. The technology was developed for energetic and industrial plants production. Adopted technical tools serve a work mechanization according to environmental protection rules.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Tadeusz NOCH, doc.

Gdańska Wyższa Szkoła Administracji
ul. Wydmy 3, 80-656 Gdańsk
e-mail: gwsa@gwsa.pl

ZASTOSOWANIE POMP CIEPŁA W ENERGETYCE CIEPLNEJ

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono zastosowanie pomp ciepła w energetyce cieplnej. Uwzględniono podział i wykorzystanie pomp ciepła. Scharakteryzowano źródła ciepła niskotemperaturowego. Zaprezentowano ekonomiczną efektywność układów ogrzewania z pompą ciepła.

1. WPROWADZENIE

Głównym źródłem energii cieplnej są procesy spalania paliw. Do produkcji ciepła stosowane są paliwa stałe tj. węgiel kamienny i brunatny oraz płynne olej opałowy i gaz. W produkcji energii cieplnej największym źródłem emisji zanieczyszczeń degradujących środowisko naturalne jest węgiel. Z tego względu wskazane jest ograniczyć zużycie wspomnianego paliwa na rzecz oleju opałowego i gazu, a przede wszystkim odnawialnych źródeł energii. Taka energia jest energią promieniowania słonecznego, geotermalna, biomasy oraz pomp ciepła. Pompy ciepła powodują znaczne oszczędności energii. Osiąga się to poprzez wykorzystanie źródła energii odnawialnej jak i odpadowej. Wielkość emisji dwutlenku węgla w systemach grzewczych domu jednorodzinnego o zapotrzebowaniu na energię grzewczą 8,8 [kW] wynosi w przypadku:

- kotła olejowego – 5720 [kg/rok],
- kotła gazowego – 3400 [kg/rok],
- pompy ciepła – 600 [kg/rok] (na skutek poboru energii elektrycznej).

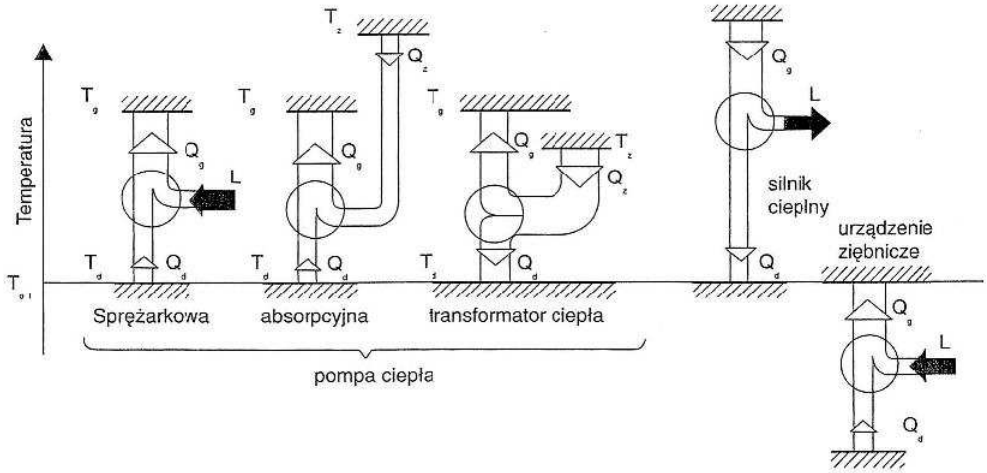
Przy zastosowaniu pompy ciepła uzyskuje się kilkukrotne zmniejszenie emisji tego szkodliwego gazu. W porównaniu z kotłem olejowym oscyluje około 10-krotne zmniejszenie tej emisji [1].

W Polsce potencjał odnawialnych źródeł energii stanowi od 60 do 90% zapotrzebowania na energię. Porównując udział energii odnawialnej w zużyciu energii pierwotnej, to w naszym kraju kształtuje się na poziomie 2,5%, a w krajach Unii Europejskiej wynosi 6%. Czynione są przedsięwzięcia, zapisane w Białej Księdze jako cel strategiczny krajów UE, pt. „Energia dla przyszłości: odnawialne źródła", uzyskać do 2010 roku wzrost udziału tej energii do poziomu 12%. Natomiast w przyjętej przez rząd Polski w 2000 roku „Strategii rozwoju energetyki odnawialnej" zakłada się zwiększenie udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Planowany wzrost jest w bilansie paliwowo-energetycznym kraju do poziomu 7,5% w 2010 roku i do 14% w 2020 roku w strukturze zużycia nośników pierwotnych [2].

2. PODZIAŁ POMP CIEPŁA

Urządzenia ziębnicze stosowane jako pompy ciepła są parowe z odprowadzaniem i skraplaniem czynnika roboczego. Para może być sprężona mechanicznie, termicznie lub na zasadzie efektu strumiennicowego, Także występują urządzenia ziębnicze gazowe: sprężarkowe lub oparte na efekcie Ranque'a oraz urządzenia oparte na efekcie termoelektrycznym. Stosowane są również pompy ciepła wykorzystujące ciepło reakcji chemicznych, oparte na efekcie elektrodyfuzji, magnetyczne.

Urządzenia sprężarkowe, napędzane energią mechaniczną, dostarczaną bezpośrednio na wał sprężarki są urządzeniami, które wykorzystują obieg parowy. Natomiast pompy ciepła sorpcyjne, napędzane energią cieplną, która zostaje zamieniona na pracę, a następnie wykorzystana do sprężania czynnika roboczego. Ideę działania pomp ciepła i ich porównanie z silnikiem cieplnym i urządzeniem ziębniczym pokazuje rysunek 1.



Rys. 1. Idea działania pomp ciepła [3]
Fig. 1. The idea of working the heat pumps [3]

Różnice pomiędzy pompą ciepła a urządzeniem ziębniczym stanowi funkcja, jaką te urządzenia pełnią i polega na różnych parametrach pracy. W zakresie temperatur niższych działa urządzenie ziębnicze. Natomiast pompa ciepła działa w zakresie temperatur wyższych od temperatury otoczenia. Silnik cieplny napędzany jest energią cieplną Q_g, to efektem jego działania jest energia mechaniczna L. W przypadku sprężarkowej pompy ciepła i urządzenia ziębniczego energią napędową jest energia mechaniczna L, a energią użyteczną energia cieplna Q_g – dla pompy ciepła lub Q_d – dla urządzenia ziębniczego.

3. WYKORZYSTANIE POMP CIEPŁA

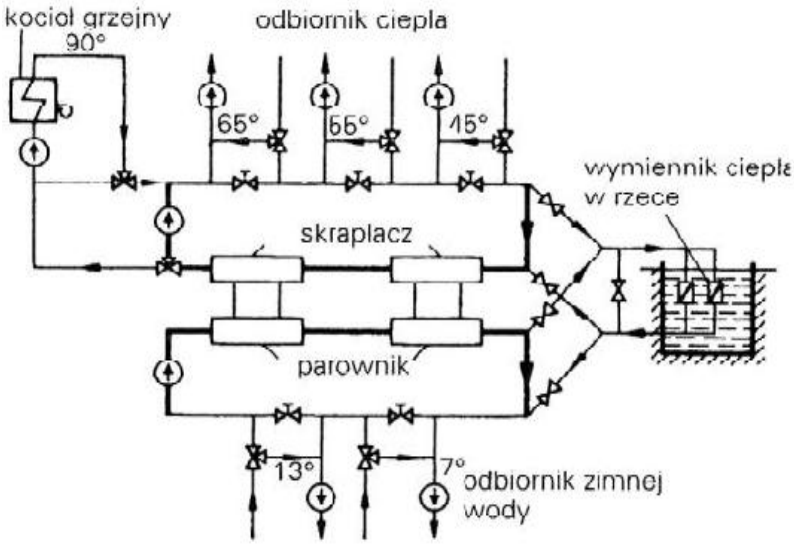
Ciepło zewnętrznych warstw ziemi, mających niższą temperaturę, może być efektywnie wykorzystane za pomocą pompy ciepła kosztem dodatkowej energii mechanicznej, cieplnej lub elektrycznej [4]. Do transformacji tj. pompowania ciepła z niższego poziomu energetycznego tzw. o niższej temperaturze na wyższy poziom tzw. o wyższej temperaturze służy pompa ciepła. Przepompowuje ona powietrze lub wodę kosztem dodatkowej energii potrzebnej do napędu pompy. Wspomniane pompy ciepła przepompowują ciepło w kierunku przeciwnym do naturalnego biegu. Można określić, że pompy te nie są źródłem energii, tylko przemieszczają ją w miejsce, gdzie jest efektywnie wykorzystana [5].

Pompy ciepła duże zastosowanie mają jako urządzenia grzewcze lub klimatyzacyjne domów jednorodzinnych i niewielkich pomieszczeń. W sezonie grzewczym pełnią rolę pompy ciepła. Natomiast w sezonie letnim są klimatyzatorami pracującymi w cyklu odwrotnym. Wydajność cieplna tych urządzeń kształtuje się od kilku do kilkunastu kilowatów. Występują głównie jako urządzenia sprężarkowe. Źródłem ciepła dla nich jest najczęściej powietrze atmosferyczne lub grunt. Szczególne znaczenie mają niskotemperaturowe systemy ogrzewania. Do nich zalicza się systemy powietrzne lub wodne, płaszczyznowe tj. podłogowe, sufitowe i ścienne. Badania dowodzą, że mniej wydajne jest ogrzewanie pojedynczych budynków w stosunku do układu dla większej ilości odbiorców ze stosowaniem skrajnych systemów grzewczych. Pompa ciepła typu powietrze-powietrze w ciągu roku zabezpiecza wymagania odbiorcy na ciepło do ogrzewania pomieszczeń i ciepłą wodę użytkową w przypadku budynków wielorodzinnych – 70-80%. Natomiast dla zespołu budynków jednorodzinnych – 60-70% oraz domków jednorodzinnych wolnostojących – 50%. Stwierdza się, że urządzenia o wydajności rzędu kilku kilowatów zaliczane do małych urządzeń stosowane są do przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Stosowane pompy ciepła o wydajności cieplnej od kilkunastu do około stu kilowatów w klimatyzacji lub ogrzewaniu większych pomieszczeń są wspomagane z dodatkowym ogrzewaniem energią elektryczną lub gazem. Używane są głównie w restauracjach, magazynach i biurach oraz do podgrzewania wody w basenach kąpielowych. W tych urządzeniach dolnym źródłem ciepła jest powietrze atmosferyczne lub wody powierzchniowe i gruntowe. Z tego względu wykorzystuje się źródło ciepła o niskich temperaturach. Zastosowanie mają duże urządzenia o wydajności od kilkudziesięciu kilowatów do kilku megawatów w instalacjach klimatyzacyjnych biurowców i domów towarowych. Także w systemach ziębniczo-grzejnych mleczarni, zakładów mięsnych i browarów. Również występują jako urządzenia wykorzystujące ciepło odpadowe w pralniach, suszarniach i hotelach oraz w różnych przemysłowych procesach technologicznych. Ponadto pompy ciepła wykorzystuje się w procesach odparowania roztworów oraz zagęszczania soków, mleka i farmaceu-

tyków. Moce tych instalacji dochodzą do wielu megawatów. Poza tym pompy ciepła mają zastosowanie w instalacjach destylacyjnych przeznaczonych do otrzymywania wody pitnej. W tym przypadku mogą to być urządzenia zarówno bardzo duże jak i małe o wydajności kilku litrów na godzinę [1].

Przy zapotrzebowaniu na ciepło i zimno w niektórych przypadkach występują różnice, gdyż pompa ciepła obu wymagań nie jest w stanie spełnić. W takich przypadkach niezbędne jest zastosowanie dodatkowego źródła wytwarzania ciepła. Wiąże się to z instalacją dodatkowego kotła, zwłaszcza po stronie ogrzewania [6]. Schemat układu połączeń instalacji pomp ciepła dla grzania i chłodzenia ilustruje rysunek 2.



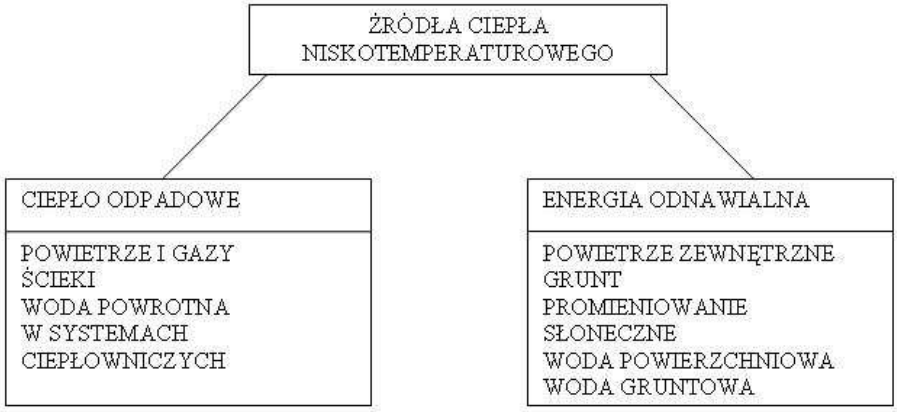
Rys. 2. Układ połączeń instalacji pomp ciepła dla grzania i chłodzenia [6].
Fig. 2. The installation system of heat pumps for heating and cooling [6].

4. ŹRÓDŁO CIEPŁA NISKOTEMPERATUROWEGO

Ciepło niskotemperaturowe pozyskane ze źródła jest potrzebne do odparowania czynnika roboczego w parowaczu pompy ciepła. Źródło to powinno charakteryzować się określonymi cechami. Do takich cech zalicza się:

- duża pojemność cieplna,
- wysoka i stała temperatura,
- brak zanieczyszczeń powodujących korozję elementów instalacji,
- brak zanieczyszczeń powodujących powstawanie osadów,
- łatwa dostępność i niskie koszty instalacji służącej do pozyskiwania i transportu ciepła.

Blokowy schemat klasyfikacji źródeł ciepła niskotemperaturowego do zasilania parowaczy pomp ciepła przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Klasyfikacja źródeł ciepła niskotemperaturowego do zasilania parowaczy pomp ciepła [7]

Fig. 3. Classification of the sources of low – temperature heat for feeding of the heat pumps evaporators [7]

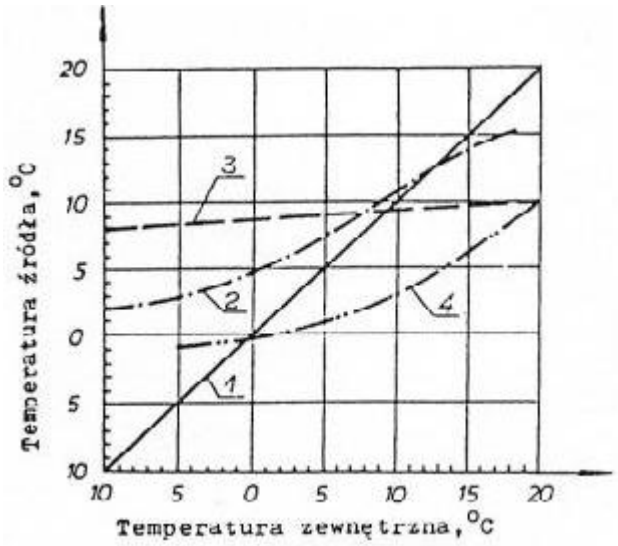
Dokonany na schemacie podział źródeł ciepła niskotemperaturowego jest wykorzystany do zasilania parowaczy pomp ciepła. Wyszczególnione na rysunku 3 źródła mogą być wykorzystywane pojedynczo jako układy monowalentne. Również często są tworzone układy zasilane z wielu źródeł, tj. układy biwalentne. Stosowane są, gdy jedno źródło ma niewystarczającą moc lub jego temperatura ulega zbyt dużym zmianom w czasie. Ma to wpływ na współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła. Występuje zależność: im temperatura źródła wyższa, tym większa jest sprawność pompy ciepła.

Charakterystykę źródeł ciepła niskotemperaturowego, które są wykorzystywane do zasilania parowaczy pomp ciepła pokazuje tabela 1.

Tabela 1: Charakterystyka źródeł ciepła niskotemperaturowego w pompach ciepła [7]
Table 1: The characterization on the low – temperature heat sources in the heat pumps [7]

Lp	Rodzaj źródła Wyszczególnienie	Grunt	Słońce	Pow. zewn.	Woda	
					grunt.	pow.
1	2	3	4	5	6	7
1.	Temperatura, °C	8÷12	20÷80	4÷15	8÷12	5÷15
2.	Spadek temp. K	-	-	4÷6	4÷5	4÷5
3.	Jednostkowa moc pobierana ze źródła	15÷30 W/m^2	30÷480 W/m^2	1,4÷2,2 $W/m^3 \cdot h^1$	4500÷5900 $W/m^3 \cdot h^1$	4500÷5900 $W/m^3 \cdot h^1$
4.	Jednost. wzgl. koszt pozysk. 1 kW mocy	4÷5	-	1	3÷5	-

Zmienność temperatury źródeł ciepła niskotemperaturowego w zależności od temperatury zewnętrznej stanowi rysunek 4. Na rysunku tym uwzględniono powietrze zewnętrzne, wody powierzchniowe i gruntowe oraz grunt na głębokości 1,8 m.



Oznaczenia:
1-powietrze zewnętrzne, 2-wody powierzchniowe, 3-wody gruntowe, 4-grunt na głębokości 1,8 m.

Rys. 4. Zmienność temperatury źródeł ciepła niskotemperaturowego w zależności od temperatury zewnętrznej [7]

Fig.4. Temperature lability of the low – temperature heat sources according to the outdoor temperature [7]

Moc cieplną Q_0, którą należy pozyskać ze źródła ciepła niskotemperaturowego oblicza się ze wzoru (1):

$$Q_0 = Q_g \cdot \frac{\varphi - 1}{\varphi}, \text{ kW} \tag{1}$$

gdzie:

Q_0 – moc cieplna, kW

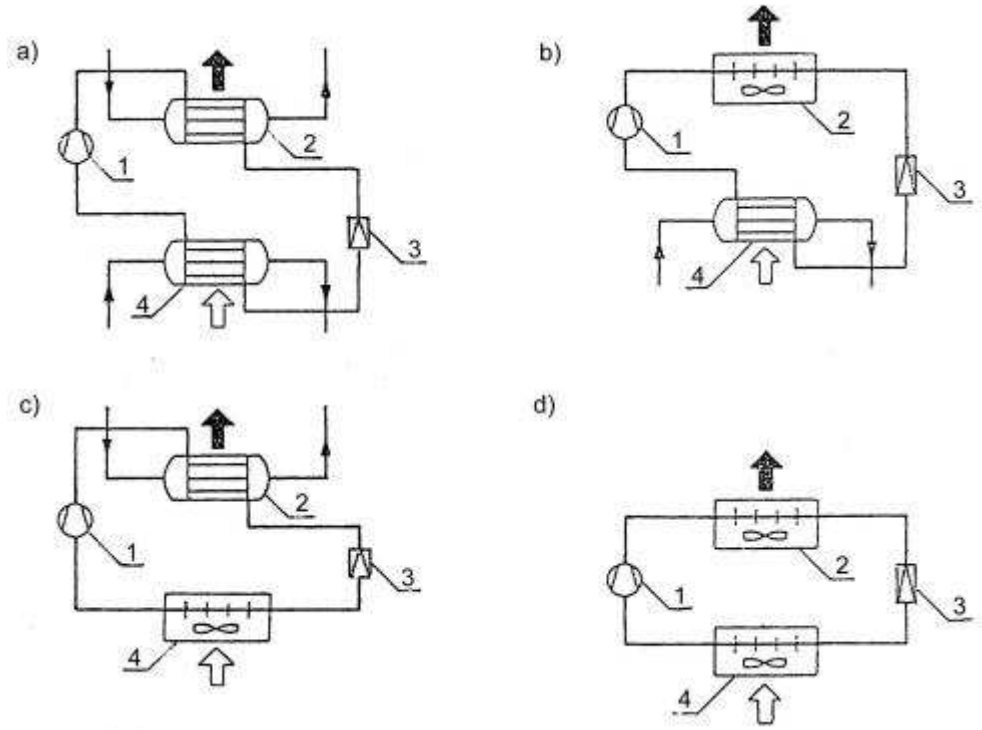
Q_g – moc grzejna pompy ciepła (moc oddawana w skraplaczu), kW

φ – współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła podany przez jej producenta.

5. WPŁYW RODZAJU ŹRÓDŁA CIEPŁA NISKOTEMPERATUROWEGO NA POMPĘ CIEPŁA

Duży wpływ na konstrukcję elementów i parametry pracy pompy ciepła wywierają fizyczne właściwości nośnika ciepła. Od rodzaju źródła ciepła niskotemperaturowego zależy konstrukcja wymienników ciepła, tj. parowacza i skraplacza. Parowacz i skraplacz budowane są jako wymienniki płaszczowo-rurowe tj. spiralne i płytowe, gdy w skraplaczu podgrzewana jest woda. W tym przypadku nośnikiem ciepła niskotemperaturowego jest ciecz, tzn. woda, solanka oraz wodny roztwór glikolu. Spotyka się, że parowacz i skraplacz

wykonane są jako zespół równoległych wężownic połączonych kolektorami, gdy nośnikiem ciepła dla nich jest powietrze. W tym przypadku wężownice od strony powietrza wyposażone są w żebra lamelowe lub nawijane. Podstawę klasyfikacji rozwiązań pomp ciepła stanowi rodzaj nośnika ciepła niskotemperaturowego, który podgrzewany jest w skraplaczu. Schematy systemów sprężarkowych pomp ciepła pokazane są na rysunku 5.



a) woda-woda (W-W); b) woda-powietrze (W-P); c) powietrze-woda (P-W); d) powietrze-powietrze (P-P)
1-sprężarka; 2-skraplacz; 3-zawór rozprężny; 4-parowacz; ⇧-pobieranie ciepła, ↑-oddawanie ciepła

Rys. 5. Systemy sprężarkowych pomp ciepła [7].
Fig. 5. The compressed – air heat pumps systems [7]

6. EKONOMICZNA EFEKTYWNOŚĆ UKŁADÓW OGRZEWANIA Z POMPĄ CIEPŁA

Pompy ciepła i inne źródła niekonwencjonalne posiadają dłuższy okres czasowy, kiedy występują zauważalne korzyści ekonomiczne. W tym przypadku przy obliczeniach mają zastosowanie metody dyskontowe. Do tych metod zalicza się metodę kosztów rocznych. Przy wyborze wariantów układu ogrzewania należy wybrać wariant o najniższych kosztach wytwarzania ciepła. Dla porównywalnych wariantów muszą być takie same efekty produkcyjne. Natomiast, gdy porównywalne są jednostkowe koszty produktu tj. ciepła, to wybiera się wariant o najniższych kosztach jednostkowych.

Metoda kosztów rocznych pozwala obliczyć koszty wytwarzania ciepła. Do nich zalicza się koszty bieżące, tj. eksploatacyjne oraz koszty zwrotu nakładów inwestycyjnych w okresie jednego roku. W skład kosztów rocznych wchodzą [8]:

- koszty rozszerzanej reprodukcji – K_{rrpc},
- koszty eksploatacyjne stałe – K_{estpc},
- koszty eksploatacyjne zmienne – K_{ezmpc} (koszty energii i materiałów ruchowych).

Koszty roczne instalacji pomp ciepła odnoszą się do okresu czasowego N lat. Poszczególne składniki w równaniu muszą spełniać ten warunek jako wartości średnie roczne. Przyjmując, że cena energii elektrycznej podczas eksploatacji obiektu ulega zmianie. Zakłada się, że będzie systematyczny wzrost wartości tej ceny.

Wzór (2) wyraża zależności przy uwzględnieniu tzw. „wzrostu ceny stałej", a wzrost wartości bieżących ceny jest zredukowany przez inflację. Ostateczna cena energii elektrycznej jest jako wartość średnia dyskontowa (tj. liczona z okresu N lat).

Koszty roczne instalacji pompy ciepła [8]

$$K_{rpc} = K_{rrpc} + K_{estpc} + K_{ezmpc} =$$
$$= K_{inwpc} \cdot (r + r_{ce}) + \left(\frac{Q_{ipc} \cdot T_{ipc}}{\varphi \cdot \eta_{sil}} \cdot k_{mr} + E_{elruch} \right) \cdot c_{el} \text{ , zł/a.} \qquad (2)$$

gdzie:

K_{rpc} – koszty roczne 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_{inwpc} – 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 ruchowych,
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 – wzór 3.

$$q_{pc} = \frac{K_{rpc}}{Q_{apc}} \text{, zł/GJ} \tag{3}$$

7. PODSUMOWANIE

Na ograniczenie stosowania pomp ciepła wpływ mają wysokie koszty inwestycyjne. Natomiast koszty eksploatacyjne są niższe od innych kosztów tradycyjnych urządzeń grzewczych. W Polsce niższe koszty eksploatacyjne pomp ciepła nie równoważą wysokiej ceny ich zakupu i montażu. Wynika to z bilansu kosztów przy istniejącym poziomie cen podstawowych nośników energii oraz ceny energii elektrycznej. Pompy ciepła są opłacalne ekonomicznie w systemach klimatyzacyjnych budynków usytuowanych w centrach miast. Także w systemach, gdzie nie jest wymagana wysoka temperatura nośnika ciepła, a do dyspozycji jest odpowiednie źródło ciepła niskotemperaturowego. W budynkach jedno- i wielorodzinnych pompy ciepła mają zastosowanie w systemach ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Efektywność wykorzystania pomp ciepła zależy od poziomu i różnicy temperatury źródła ciepła, dlatego systemy niskotemperaturowe, jak płaszczyznowe, tj. podłogowe, sufitowe oraz powietrzne zalicza się do najbardziej korzystnych systemów ogrzewania.

Najważniejsze czynniki decydujące o stosowaniu pomp ciepła, to [1]:

- niski koszt eksploatacji,
- wysoka trwałość, tj. ponad 30 lat,
- bezemisyjna praca,
- niski poziom głośności,
- możliwość współpracy z innymi odnawialnymi źródłami ciepła,
- wysoki komfort i całkowite bezpieczeństwo obsługi.

Popularność pomp ciepła będzie wzrastać wraz ze wzrostem cen paliw naturalnych. Również z wprowadzeniem nowych obostrzeń z zakresu ochrony środowiska.

Przedstawiona problematyka zastosowania pomp ciepła w energetyce cieplnej ma szczególne znaczenie na osiągnięcie efektów ekologicznych i ekonomicznych. Ponadto zastosowanie odnawialnych źródeł energii ma istotny wpływ dla rozwoju nowych technologii wdrażanych w energetyce cieplnej.

8. LITERATURA

[1] Zalewski W.: Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Wyd. IPPU „MASTA”, Gdańsk 2001.

[2] VDI – Wärmeatlas: Wärmeverlust von Wänden und Rohrleitungen (Eb), VDI – Verlag, Dusseldorf 1991.

[3] Czarnecki P.: Analiza ustalonej i nieustalonej wymiany ciepła w pionowych, gruntowych wymiennikach ciepła. Wyd. Politechnika Krakowska, Kraków 2001.

[4] Brodowicz K.: Pompy ciepła. Wyd. PWN, Warszawa 1990.

[5] Klugmann E., Klugmann-Radziemska E.: Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii. Wyd. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2005.
[6] Recknagel, Springer, Homnmann, Schramek: Poradnik. Ogrzewanie + Klimatyzacja. Wyd. EWFE, Gdańsk 1994.
[7] Rubik M.: Pompy ciepła. Poradnik. Wyd. Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej INSTAL, Warszawa 1996.
[8] Kusto Z.: Uwarunkowania ekonomicznej efektywności pomp ciepła. Wyd. Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2006.

THE USE OF HEAT PUMPS IN THERMAL ENERGETICS

SUMMARY

In the following paper it has been presented the use of heat pumps in thermal energetics. The partition and utilization of heat pumps has been included. The sources of low – temperature heat have been characterized. The economic effectiveness of heating systems with the heat pump has been introduced.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Jan M. OLCHOWIK[1,*], dr hab. inż. - prof. nadzw.;
Sławomir GUŁKOWSKI[1], mgr;
Robert TOMASZEWSKI[*], mgr;
Jerzy ADAMCZYK[1,*], dr inż.;
Grażyna OLCHOWIK[*,], dr hab. inż;**
Krystian CIEŚLAK[1], mgr

[1]Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: j.olchowik@pollub.pl
*PWSZ im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ul. Sidorska 95/97, 21-500, Biała Podlaska
** Uniwersytet Medyczny w Lublinie,
ul. Jaczewskiego 4

ANALIZA 4-LETNIEJ EKSPLOATACJI SOLARNYCH UKŁADÓW HYBRYDOWYCH INSTYTUTU FIZYKI POLITECHNIKI LUBELSKIEJ

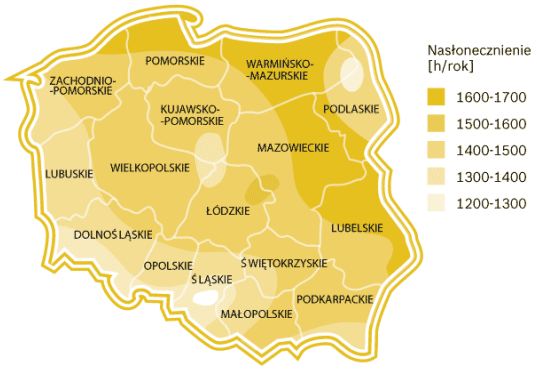
STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki czteroletniej analizy funkcjonowania systemu solarnego Instytutu Fizyki Politechniki Lubelskiej. System, składający się z 20 płaskich kolektorów słonecznych oraz 20 modułów fotowoltaicznych został zainstalowany na dachu auli Wydziału Zarządzania i Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej w 2004 roku. Analizowany układ solarny wykorzystuje współbieżnie dwa rodzaje konwersji – fototermiczną i fotowoltaiczną.

1. WPROWADZENIE

Energia odnawialna stanowi jeden z głównych priorytetów Unii Europejskiej. Przynależność Polski do wspólnoty państw europejskich wymusza na naszym kraju konieczność wypełnienia standardów w dziedzinie ograniczenia emisji do atmosfery szkodliwych substancji poprzez wdrażanie rozwiązań energetyki odnawialnej. Istotnym problemem jest też pytanie, czy warto, a jeśli tak, to w jaki sposób rozwijać i wdrażać konkretne

źródła „zielonej” energii w konkretnych warunkach geograficznych i klimatycznych. To właśnie położenie geograficzne poszczególnych obszarów wskazuje na wybór najbardziej racjonalnych rozwiązań. Jak wskazują wieloletnie badania klimatyczne, obszar Polski południowo-wschodniej charakteryzuje się największym średniorocznym nasłonecznieniem w porównaniu z innymi regionami (rys. 1), więc w tej części kraju racjonalnym rozwiązaniem jest coraz powszechniejsze wykorzystanie energii słonecznej. Energia generowana w Słońcu, w warunkach ziemskich może być przetwarzana na kilka sposobów. Bez udziału człowieka, anergia ta - w wyniku przemian fotochemicznych - gromadzi się w organizmach biologicznych, jakie występują na Ziemi. Jest to zazwyczaj tzw. energia biomasy. Nie ulega wątpliwości, że część tak zmagazynowanej energii można odzyskać i przy pewnych założeniach można biomasę uznać za energię odnawialną.



Rys. 1. Średnioroczne sumy usłonecznienia dla reprezentatywnych rejonów Polski [1]
Fig. 1. Insulation of various regions of Poland [1]

Najprostszym jednak sposobem wykorzystania energii Słońca jest konwersja fototermiczna, w której procesie promieniowanie słoneczne przetwarzane jest bezpośrednio na ciepło. Urządzeniami służącymi do tego celu są kolektory słoneczne. Współczesne kolektory pozwalają uzyskać temperatury w zakresie 300 K - 4000 K [2]. Uzyskanie jednak wysokich temperatur wymaga stosowania specjalnych zwierciadeł skupiających o dużych powierzchniach. Energia cieplna czerpana z kolektorów słonecznych jest stosowana zwykle do ogrzewania pomieszczeń bądź wody w basenach kąpielowych, jednak w naszym kraju odbywa się nadal na skalę pojedynczych gospodarstw domowych, czy pojedynczych przedsiębiorstw. W dobie współczesnej cywilizacji, najbardziej uniwersalną jest energia elektryczna, toteż problem uzyskania jej w wyniku konwersji światła słonecznego wzbudza największe zainteresowanie. Wśród procesów fizycznych bezpośrednio transformujących energię promieniowania elektromagnetycznego w energię elektryczną na uwagę zasługuje konwersja fotowoltaiczna, realizowana głównie w półprzewodnikach.

Ważnym zagadnieniem dla efektywnego wykorzystania półprzewodnikowych struktur baterii słonecznych jest umiejętność wyznaczania optymalnych warunków ich pracy podczas eksploatacji w specyficznych warunkach klimatycznych konkretnych obszarów naszego globu. Efektywność konwersji fotowoltaicznej w dużej mierze zależy od rodzaju materiału konwertera, widmowych charakterystyk energii słonecznej oraz temperatu-

ry pracy złącz półprzewodnikowych [3]. Temperatura pracy ogniw fotowoltaicznych, a ściślej mówiąc jej wzrost, negatywnie wpływa na sprawność przetwarzania energii fotonów w energię par elektron-dziura. Dlatego też w prowadzonych przez nas badaniach, w celu optymalizacji pracy fotomodułów, zostało wykorzystane połączenie dwóch rodzajów konwersji energii słonecznej: fototermicznej i fotowoltaicznej, tak, aby tworzyło hybrydowy system [4]. Połączenie takie pozwala na poprawę efektywności konwersji zarówno kolektorów słonecznych jak i modułów fotowoltaicznych. Wynika to stad, że płyn roboczy kolektorów w swym powrotnym obiegu, po oddaniu ciepła w odbiorniku, schłodzony powraca na wejście kolektora przez radiator, na którym umieszczony może być moduł fotowoltaiczny, przez co zostaje obniżona jego temperatura pracy. Obniżenie temperatury pracy półprzewodnikowych konwerterów PV zazwyczaj zwiększa ich wydajność kwantową, a jednocześnie ciepło odebrane przez radiator od modułu fotowoltaicznego, poprzez podwyższenie temperatury płynu roboczego na wejściu kolektora, podwyższa również wydajność cieplną kolektora słonecznego.

2. EKSPERYMENT

Jako bazę eksperymentalną wykorzystano funkcjonujący system solarny Instytutu Fizyki Politechniki Lubelskiej. System ten stanowi hybrydę (rys.2.), składającą się z 20 kolektorów słonecznych KS200 firmy HEWALEX oraz kompleksu baterii modułów PV firmy SOLAREX o mocy szczytowej1,8 kWp Do magazynowania energii służy bateria akumulatorów.

Rys.2. Widok systemu solarnego Politechniki Lubelskiej
Fig.2. View of solar system of Lublin University of Technology

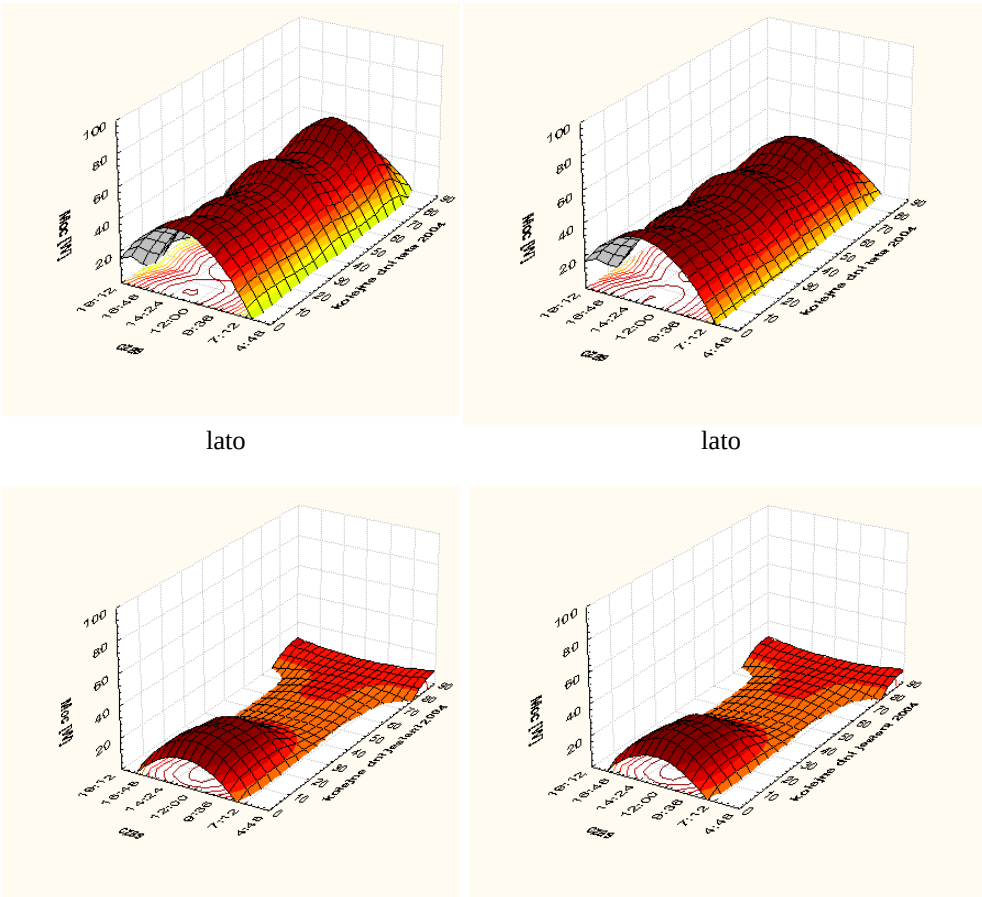
Dodatkowo, dla celów precyzyjnej analizy termodynamicznej funkcjonowania systemu, skonstruowano układ nawigacji za pozornymi ruchami Słońca z możliwością regulacji temperatury przy pomocy ogniw Peltier'a [3].

Do zmiany położenia układu zastosowano siłowniki satelitarne typu Star 15INCH, którymi steruje komputer PC. Parametry ogniw i kolektorów słonecznych były rejestrowane w sposób ciągły. Niniejsza praca przedstawia wyniki 4 letniej analizy pracy takich układów.

3. REZULTATY

Rezultaty badań przedstawiono na rys.3-5. Wyniki zostały przedstawiono w sekwencjach kwartalnych i opracowane zostały statystycznie z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów ważonych odległościami. Przeprowadzona analiza statystyczna obrazuje tendencje konwersji PV, zachodzącej w określonych warunkach. Nasze badania rozpoczęły się począwszy od lata 2004. W latach 2004 -2005 monitorowano pracę 100 Wp modułów PV. Rezultaty analiz przedstawione są na rys.3.

Panel obrotowy (2004) Panel stacjonarny (2004)



lato lato

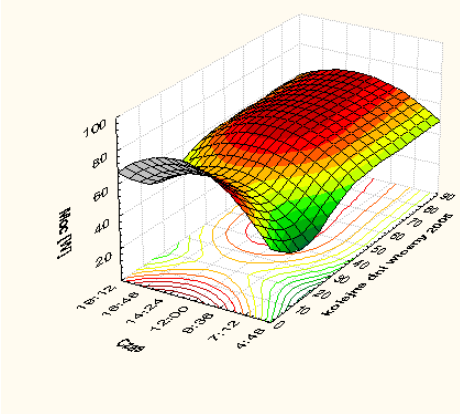
jesień jesień

(a) (b)

Rys. 3. Wykres mocy uzyskanej przez panele słoneczne w miesiącach letnich i zimowych roku 2004: (a) panel obrotowy, (b) panel stacjonarny

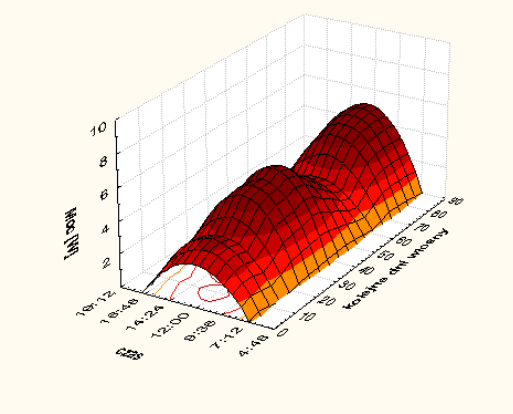
Fig. 3 . Plots of PV power obtained during summer and winter months in 2004: (a) rotated modules, (b) stationary modules

Panel obrotowy (2005)

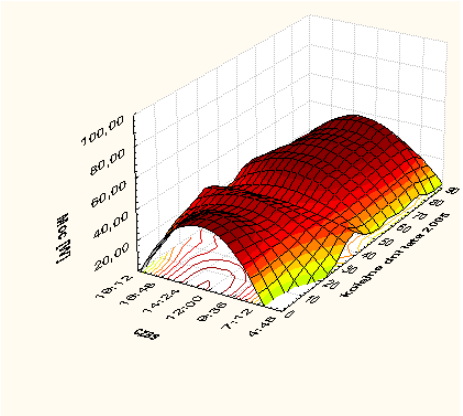


wiosna

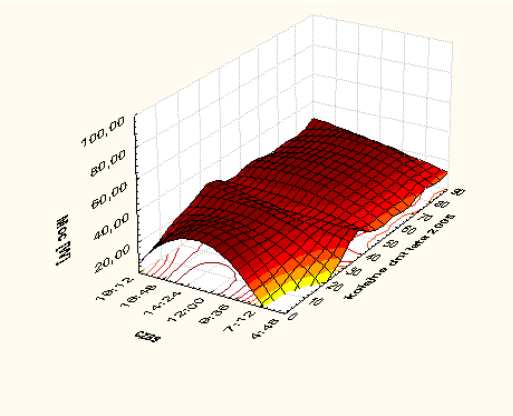
Panel stacjonarny (2005)



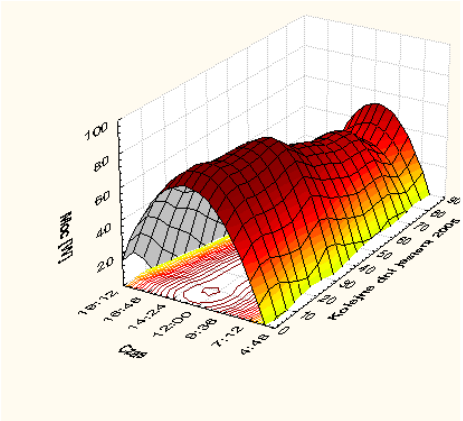
wiosna



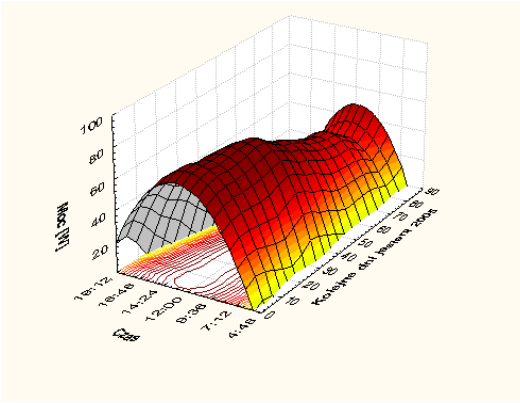
lato



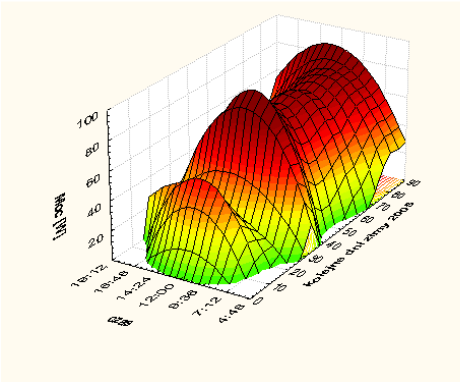
lato



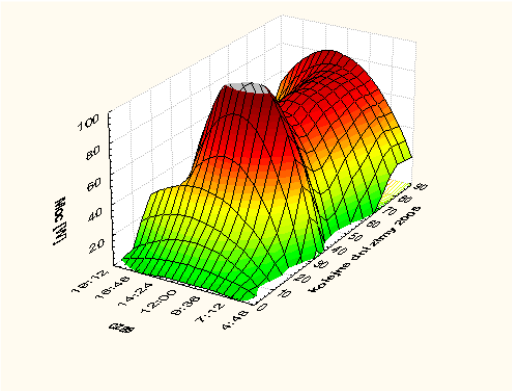
jesień



jesień



zima

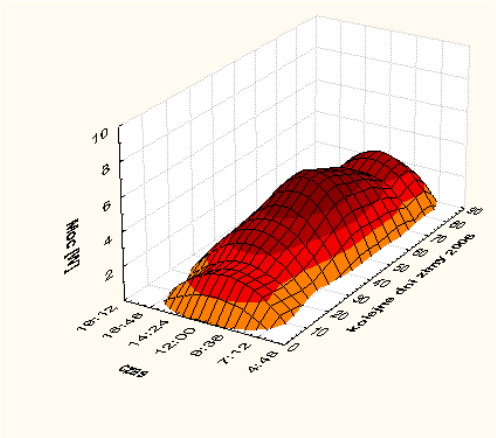


zima

Rys. 4. Wykres mocy uzyskanej przez panele słoneczne w miesiącach letnich i zimowych roku 2004 i 2005: (a) panel obrotowy, (b) panel stacjonarny
Fig. 4 . Plots of PV power obtained during summer and winter months in 2004 and 2005: (a) rotated modules, (b) stationary modules

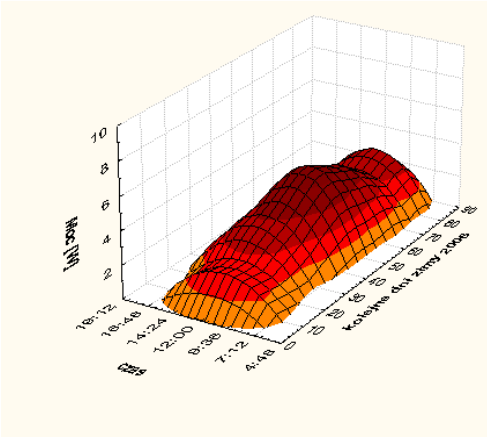
Jak widać z przedstawionych zależności, największe korzyści uzysku mocy przypadają na miesiące letnie, przy czym rok 2004 był rokiem korzystniejszym w pozyskiwaniu energii elektrycznej za pomocą konwersji energii światła słonecznego. Korzystnym rozwiązaniem jest też stosowanie systemów nadążnych, ale z sekwencyjnym przestawianiem pozycji. W naszych badaniach okres przesuwu wynosił 20 min. W takim przypadku konsumpcja energii na ten cel nie przekraczała 0.5% względem energii uzyskanej. Korzystnym efektem pracy kolektorów słonecznych było odbieranie ciepła od modułów fotowoltaicznych. Takie badania przeprowadzane były w latach 2006-2007. Wyniki tych analiz obrazują rys. 5.

Panel obrotowy 2006 (zima)

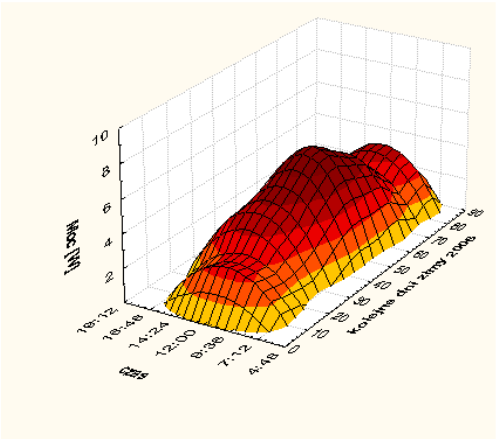


panel niechłodzony

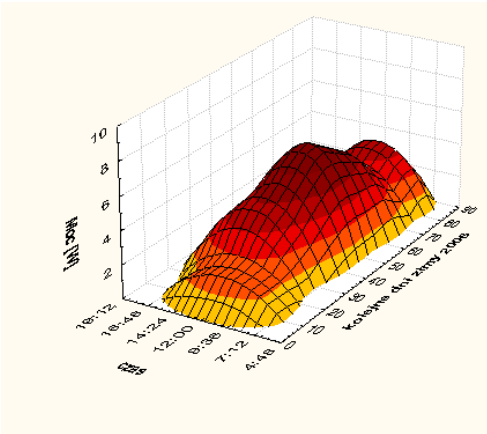
Panel stacjonarny 2006 (zima)



panel chłodzony

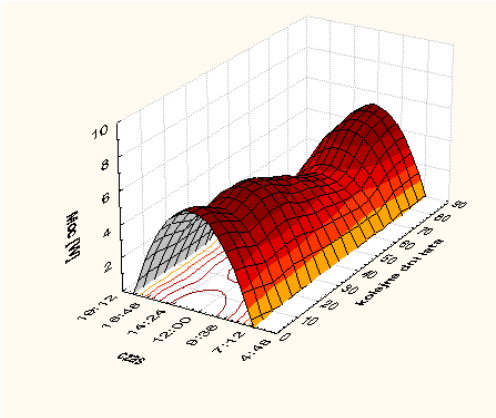


panel chłodzony

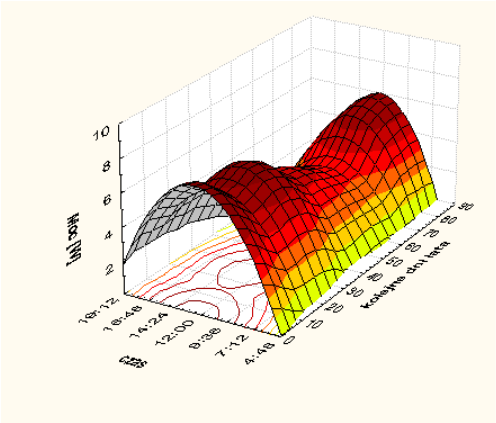


panel niechłodzony

Panel obrotowy 2006 (lato)

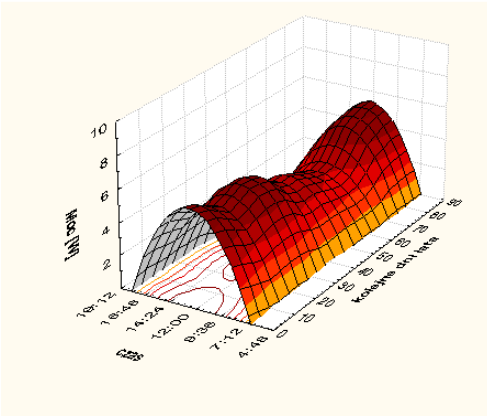


panel niechłodzony

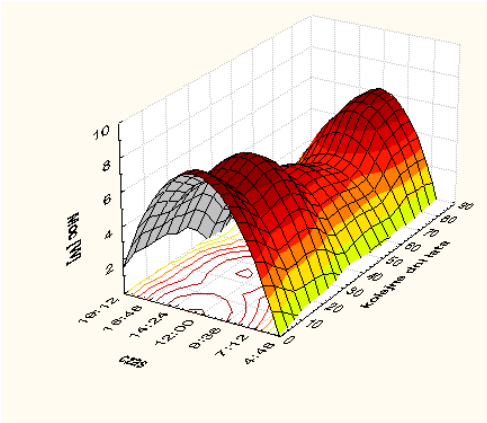


panel chłodzony

Panel stacjonarny 2006 (lato)

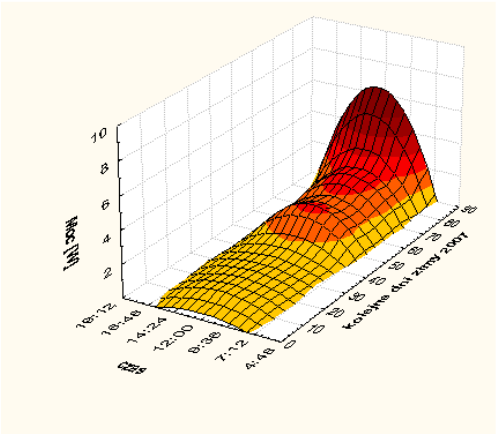


panel chłodzony

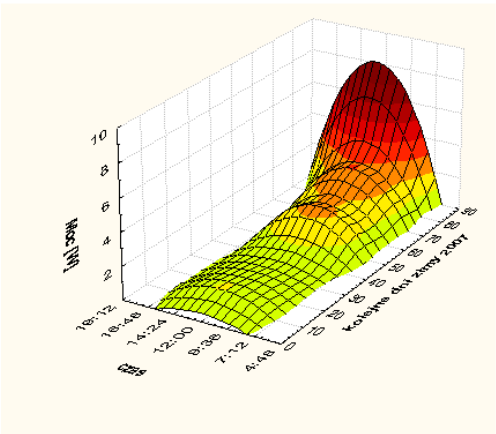


panel niechłodzony

Panel obrotowy 2007 (zima)

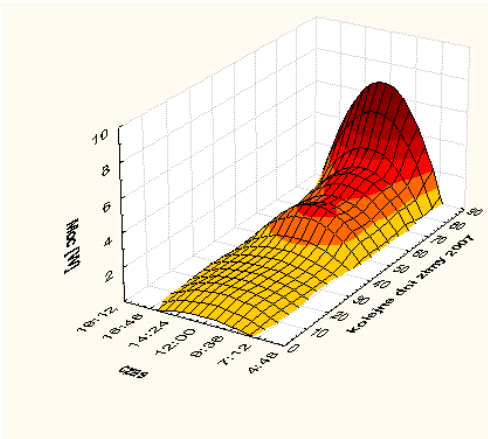


panel niechłodzony

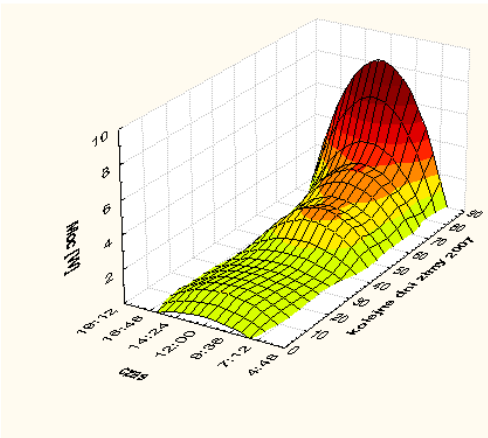


panel chłodzony

Panel stacjonarny 2007 (zima)

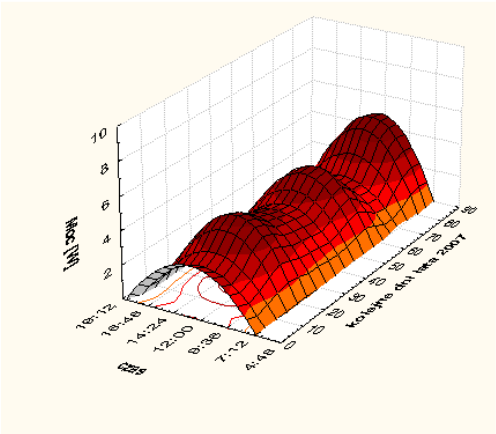


panel chłodzony

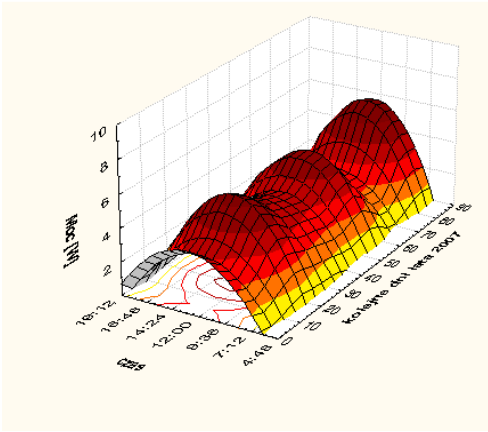


panel niechłodzony

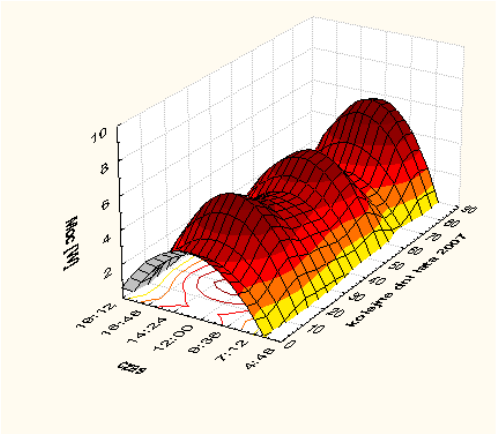
Panel obrotowy 2007 (lato) Panel stacjonarny 2007 (lato)



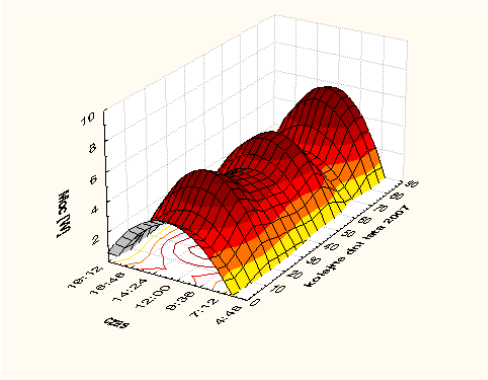
panel niechłodzony



panel chłodzony



panel chłodzony



panel niechłodzony

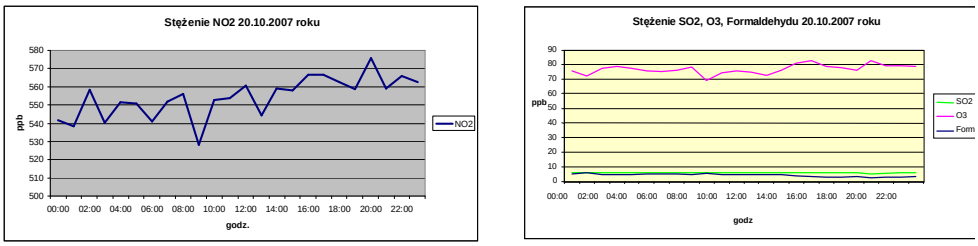
(a) (b)

Rys. 5. Wykres mocy uzyskanej przez panele słoneczne w miesiącach letnich i zimowych roku 2006 i 2007: (a) panel obrotowy, (b) panel stacjonarny

Fig. 5. Plots of PV power obtained during summer and winter months in 2006 and 2007: (a) rotated modules, (b) stationary modules

Z kolei chłodzenie baterii słonecznych w warunkach promieniowania rozproszonego wywoływało niewielki, aczkolwiek negatywny skutek na ich efektywność.

W analizowanym okresie nie stwierdzono zaistnienia procesów degradacyjnych charakterystyk baterii słonecznych, jednakże prowadzony monitoring w trybie ciągłym pozwala przeanalizować również ten aspekt. Analiza atmosfery, w której pracuje system fotowoltaiczny dokonywana była za pomocą systemu OPSIS. Na rys. 6 przedstawiono przykładowe wahania takich składników atmosfery, jak: NO_2 (rys.a), ozon, N0x, formaldehydy – rys.b.



(a) (b)

Rys. 6. Zapis czasowych zmian zawartości ditlenku azotu (a) oraz ditlenku siarki, ozonu i formaldehydów w powietrzu [5].

Fig.6. Plot of temporary changes of content of NO_2 (a) and So_2, O_3 as well as formaldehydes in atmosphere(b)

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone obserwacje wykazują dynamikę zmian efektywności konwersji fotowoltaicznej w warunkach Lublina za lata 2004-2007. Badania wskazują na celowość stosowania systemów nadążnych. Uzysk mocy pomiędzy analogicznymi modułami, z których jeden jest nieruchomy a drugi nadążny wynosi średnio 25% na korzyść systemu nadążnego. Stosowanie dodatkowego chłodzenia modułów PV nie zawsze jest celowe. Korzystnym jest ich stosowanie tylko podczas mocno nasłonecznionych dni. Wówczas uzysk moc przy chłodzeniu sięga 5%. Konwersja PV w oparciu o światło rozproszone, przy zastosowaniu chłodzenia może przynosić odwrotny skutek.

5. LITERATURA

1. http://www.junkers-solar.pl/cms,95,mapa_naslonecznienia.html
2. Lewandowski W.M., Proekologiczne źródła energii odnawialnej, WNT, Warszawa 2001.
3. Olchowik J.M., Cienkie warstwy w strukturach baterii słonecznych, wydanie drugie – zmienione i poszerzone, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej 2006 Bangkok.
4. Olchowik J.M., Jóźwik I., Tomaszewski R., Szymczuk D., Adamczyk J., Cieplak T., Zabielski K., Mucha J., Optimization of work conditions of solar cells in hybrid solar system under conditions of Southeast Poland, Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok, Thailand 26-30 January 2004, vol. I, p.495.

5. Adamczyk J., Tomaszewski R., Olchowik J.M., Automatyczny pomiar zanieczyszczeń powietrza, w „Przetwarzanie informacji w społeczeństwie informacyjnym” (T. Grudniewski, J.M. Olchowik - red.), Wydawnictwa Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Białej Podlaskiej, Biała Podlaska 2007, 105.

FOUR YEARS ANALYSIS OF EXPLOITATION OF SOLAR HYBRID SYSTEM OF INSTITUTE OF PHYSICS OF LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SUMMARY

This work presents the results of solar system analysis of Institute of Physics of Lublin University of Technology. The system consisted of 20 photocollectors and 20 solar modules was installed in 2004 on the roof of auditorium of the Faculty of Management and Base of Technology. The analyzed system, which is the hybrid system, used two form of solar energy conversion: photothermal (PT) as well as photovoltaic (PV).

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Jan M. OLCHOWIK[1,2], dr hab. inż. - prof. nadzw.;
Iwona JÓŹWIK[1],dr;
Sławomir GUŁKOWSKI[1], mgr;
Krystian CIEŚLAK[1],mgr;
Dariusz SZYMCZUK[1], dr;
Agata ZDYB[1], dr

[1]Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: j.olchowik@pollub.pl

[1,*]PWSZ im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

BADANIA KINETYKI WZROSTU KRZEMOWYCH WARSTW LATERALNYCH W GRADIENTOWYM POLU TEMPERATUROWYM DLA STRUKTUR BATERII SŁONECZNYCH

STRESZCZENIE

Praca poświęcona jest analizie wytwarzania cienkowarstwowych krzemowych warstw lateralnych dla zastosowań fotowoltaicznych. Zjawisko konwersji energii słonecznej odbywa się zazwyczaj w niewielkiej przypowierzchniowej części półprzewodnikowych struktur krystalicznych. Zatem dla celów użytecznych wykorzystywana jest zaledwie niewielka część materiału, natomiast znaczna jego część stanowi jedynie podstawę konstrukcyjną ogniwa słonecznego. Z uwagi na niski współczynnik absorpcji światła słonecznego dla Si, umieszczenie cienkiej krzemowej warstwy lateralnej pomiędzy dwoma dielektrykami daje możliwość zwielokrotnienia drogi optycznej fotonów, a tym samym pozwala konstruować wysokowydajne cienkowarstwowe struktury baterii słonecznych. Podstawową zaletą warstw lateralnych jest uniezależnienie struktury ich defektów od defektów podłoża. Zatem takie rozwiązanie pozwala stosować w technologiach fotowoltaicznych podłoża

o słabej jakości, a więc czynić cały proces wytwarzania baterii słonecznych bardziej ekonomicznym.

Badania kinetyki wzrostu krzemowych warstw lateralnych były prowadzane w różnych warunkach, z wykorzystaniem techniki epitaksji z fazy ciekłej (LPE) w wariancie poziomym i pionowym.

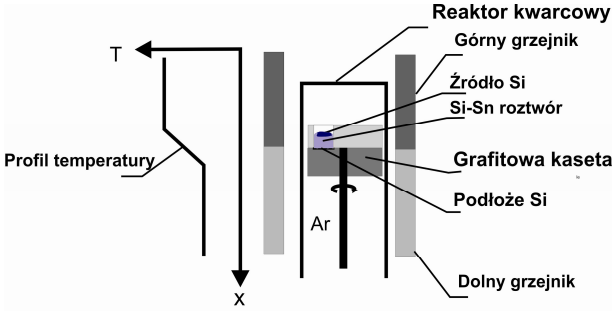
1. WPROWADZENIE

Współczesny świat stoi przed bardzo ważnym wyzwaniem – w jaki sposób zabezpieczyć dostępność i ciągłość dostaw energii dla utrzymania tempa rozwoju cywilizacji. Wiadomo już [1], że klasyczne surowce energetyczne, takie jak ropa naftowa, gaz ziemny czy węgiel już w niedługim czasie ulegną wyczerpaniu, a ponadto ich eksploatacja niesie za sobą szkodliwe skutki dla naturalnego środowiska człowieka. Wszystko to sprawia, że coraz powszechniej sięga się po rozwiązania alternatywne. Największy potencjał energetyczny w naszym układzie astronomicznym posiada Słońce, a jego wpływ na nasz glob przejawia się głownie światłem, ciepłem. Odkryte jeszcze w XIX wieku przez francuskiego fizyka – A.C. Becquerela zjawisko fotowoltaiczne, polegające na bezpośredniej przemianie promieniowania słonecznego w prąd elektryczny w świetle wspomnianych wyżej faktów, zyskuje współcześnie coraz większe zainteresowanie. Dla upowszechnienia wykorzystania konstruowanych na bazie tego zjawiska baterii słonecznych, niezbędnym jest kompromis pomiędzy ceną wyprodukowania jednostki energii metodą tradycyjną (spalenie gazu, ropy naftowej, węgla), a kosztem jej pozyskania za pomocą konwersji fotowoltaicznej. Koszt wyprodukowania energii elektrycznej ze słońca zależy zarówno od kosztów procesów technologicznych, jak i od kosztów materiałów służących jako przetworniki promieniowania elektromagnetycznego na prąd elektryczny. Jak dotąd, najbardziej popularnym materiałem na przetworniki PV jest krzem. Ponad 70% światowej produkcji modułów słonecznych wykorzystuje właśnie ten surowiec [2]. Mimo, iż krzem zajmuje drugie miejsce pod względem zawartości w skorupie ziemskiej, to trudność sprawia jego przetwarzanie w odpowiednią klasę czystości, tak, że w chwili obecnej SGSi stał się bardzo deficytowym materiałem. Ponadto, należy dodać, że Si, jako półprzewodnik ze skośną przerwą energetyczną charakteryzuje się stosunkowo niskim współczynnikiem absorpcji dla światła słonecznego, co ogranicza jego wykorzystanie w klasycznych technologiach cienkowarstwowych. Pewnego rodzaju alternatywę dla takiego stanu rzeczy stanowić mogą rozwiązania z wykorzystaniem lateralnych warstw epitaksjalnych ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) [3-5].Wzrost lateralny warstw krzemowych może być realizowany na kilka sposobów, ale najbardziej ekonomiczną metodą jest epitaksja warstw z fazy ciekłej (LPE). To właśnie z ekonomicznego punktu widzenia, najbardziej racjonalne wydaje się stosowanie takiej technologii, która pozwalałaby uzyskiwać cienkie warstwy bardzo dobrej jakości na podłożach bazowych o niezbyt wyrafinowanych parametrach, a tym samym znacznie tańszych [5,6,7]. Przed procesem ELO powierzchnia podłoża bazowego jest pokrywana cienką warstwą dielektryka, ukształtowaną wg obranego wzoru za pomocą standardowego procesu fotolitografii. Proces krystalizacji warstw lateralnych odbywa się po uzyskaniu przesycenia roztworu nad otwartymi oknami. Wzrost warstwy epitaksjalnej zaczyna się w odsłoniętym „oknie” i postępuje w dwóch kierunkach: wzdłuż normalnej do podłoża oraz na boki, ponad warstwą dielektryka. Jeżeli odpowiednio dobrane zostaną warunki wzrostu, może nastąpić koalescencja sąsiadujących ze sobą „skrzydeł” warstw lateralnych i formowana może być

ciągła homogeniczna warstwa – w dużej mierze wolna od defektów podłożowych.. Klasyczne (horyzontalne – rys.1) sposoby krystalizacji warstw ELO z metalicznego rozpuszczalnika, jakim zazwyczaj jest cyna wymagają stosunkowo długich czasów wzrostu, z uwagi na niską rozpuszczalność Si w Sn dla typowych temperatur epitaksji (800-1000°C).

Rys.1 Poziome stanowisko LPE
Fig.1. Horizontal variant of LPE

Sytuacje tę można poprawić, realizując proces krystalizacji warstw w gradientowym polu temperatury z roztworu dwufazowego. Nadmiar krzemu w roztworze cyny daje w takiej sytuacji możliwość zapewnienia ciągłego strumienia atomów Si w kierunku powierzchni podłoża. Sytuacje tę obrazuje rys. 2.



Rys.2. Rozkład temperatury i schemat stanowiska do pionowej LPE.
Fig.2. Temperature profile and scheme of vertical variant of LPE

Zaletą metody LPE jest także możliwość wytwarzania warstw przy znacznie obniżonych temperaturach (w porównaniu z temperaturą topnienia), możliwość stosowania podłoży o znacznie gorszej czystości (a więc dużo tańszych), możliwość stosowania recyklingu wykorzystywanych w procesie materiałów [6]. Dodatkową zaletą stosowania warstw lateralnych do konstrukcji fotoogniw jest fakt, że konwersja PV zachodzi w obszarze pomiędzy dielektrycznym pokryciem podłoża (najczęściej jest to SiO2), a powierzchniową warstwą antyrefleksyjną (ARC). Obrazuje to rys. 3.

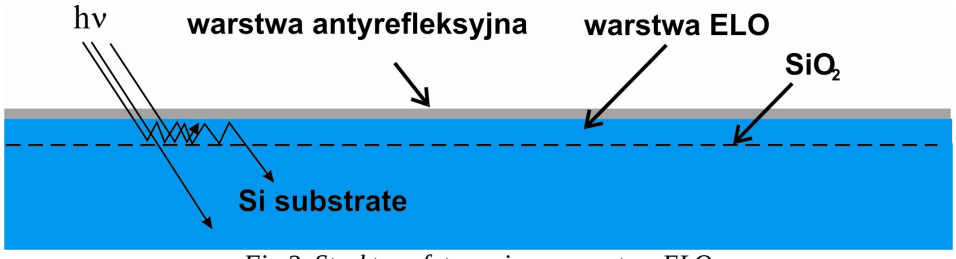


Fig.3. Struktura fotoogniwa z warstwą ELO
Fig.3. Structure of the ELO solar cell

Warstwa antyrefleksyjna ma za zadanie minimalizować straty energii padającego promieniowania słonecznego związane z odbiciem światła. Czysta (bez pokrycia) powierzchnia krzemu odbija w powietrzu ponad 30% padającego na nią promieniowania. Warstwa materiału o mniejszym współczynniku załamania i przezroczysta dla promieniowania może zmniejszyć straty związane z odbiciem do około 10% [7]. Najczęściej materiał, z którego wykonywana jest warstwa antyrefleksyjna jest dobierany tak, aby minimum odbicia zachodziło dla fali o długości 600 nm, dla której to natężenie promieniowania w widmie słonecznym jest największe. Bardzo często na skalę przemysłową jako ARC stosuje się związki takie jak TiOx, SiNx .

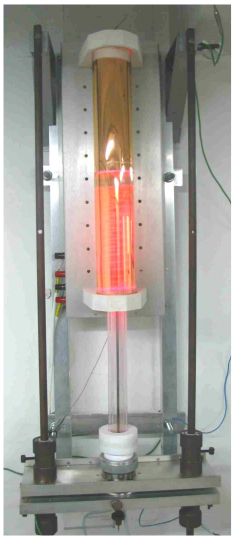
Umieszczenie krzemowej warstwy lateralnej pomiędzy dielektrycznym pokryciem podłoża z SiO2, a warstwą ARC daje możliwość wielokrotnego odbicia światła, co sprawia, że dla pełniejszej jego absorpcji wystarczy cienka warstwa krzemu [8-10]. Współczynnik odbicia światła od 100nm warstwy SiO_2 sięga 90% [11].

Niniejsza praca poświęcona jest rozważaniom na temat porównania kinetyki wzrostu warstw lateralnych Si, otrzymywanych metodą LPE w standartowym poziomym wariancie oraz w pionowym gradientowym polu temperaturowym.

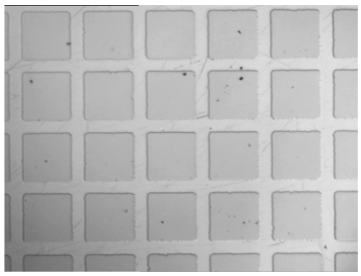
2. EKSPERYMENT

Eksperymenty prowadzone były za pomocą aparatury do poziomej (rys.1) oraz pionowej epitaksji warstw z fazy ciekłej (rys.4).

W eksperymencie wykorzystywano podłoża p-Si o orientacji powierzchni (111). Przed procesem syntezy warstw lateralnych podłoża krzemowe poddawane były utlenianiu przez okres 2 godz. w atmosferze tlenu przy temperaturze 1000°C. Na tym etapie podłoża pokrywały się 100nm warstwą SiO_2. Kolejnym krokiem było naniesienie metodami fotolitografii linii otwartych okien o szerokości 50 μm, oddzielonych dielektrykiem o szerokości 200 μm (Fig.5).



Rys.4. Zdjęcia stanowiska do poziomej epitaksji z fazy ciekłej.
Fig.4. View of the vertical LPE apparatus

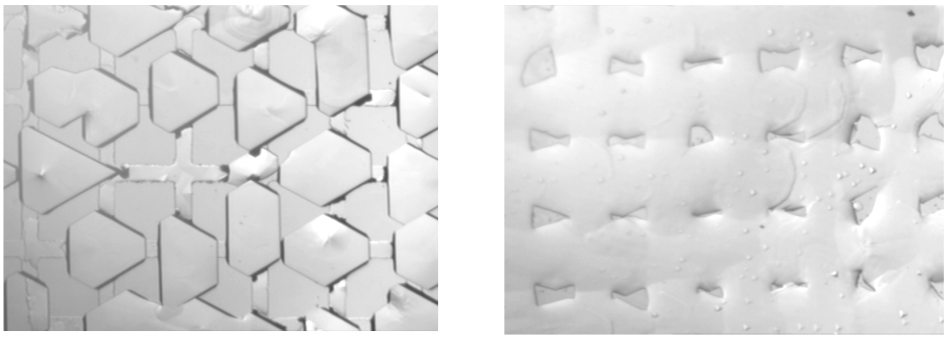


Rys.5. Powierzchnia podłoża Si z selektywnie maskowaną powierzchnią
Fig.5. The surface of the selective masked Si substrate

Tak przygotowane podłoża oraz płytki dosycające poddawane były chemicznej obróbce, poprzez kąpiel we wrzącym trójchloroetylenie i acetonie, a następnie umieszczane w kąpieli roztworu H_2SO_4:H_2O_2=2:1, po czym zanurzane były w 4% roztworze HF na około 10 sekund. Jako rozpuszczalnik wykorzystywana była cyna Sn (5N) z niewielkim dodatkiem (około 0,3%wg) aluminium (5N). Dodatek aluminium w roztworze epitaksjalnym zapewniał usunięcie naturalnego tlenku krzemu z odsłoniętych powierzchni podłoży dosycających i płytek bazowych, pojawiającego się na skutek nawet krótkotrwałego kontaktu z powietrzem [12]. Po takim przygotowaniu podłoży i roztworów, oba składniki umieszczano w reaktorze. Dla wariantu poziomego i pionowego LPE czas nasycania roztworu Sn atomami Si wynosił 60 min, po czym roztwór kontaktowano z podłożami przygotowanymi tak, jak pokazuje to rys. 5 i układy ochładzano z prędkością 0,5^{o}C/min w czasie 1 godz. W obu przypadkach proces przeprowadzano w atmosferze argonu. Dla stanowiska pionowego, w strefie krystalizacji gradient temperatury wynosił 8°C/cm.

3. REZULTATY I DYSKUSJA

W wyniku eksperymentów, na powierzchni Si(111) kształtowały się skrzydła warstwy lateralnej. Analizie poddawano parametry geometryczne warstw wytwarzanych klasyczną metodą LPE (wariant poziomy) oraz wytwarzanych w gradientowym polu temperaturowym. Wyniki eksperymentów przedstawia rys. 6.



(a) (b)

Rys.6. Obrazy powierzchni warstw lateralnych uzyskanych przy analogicznych warunkach w stanowisku poziomym (a) i pionowym (b)

Fig.6. Views of the ELO layers obtained at analogous conditions in horizontal (a) and vertical (b) variants

Jak zaobserwowano, morfologia powierzchni warstw epitaksjalnych znacząco różni się. Szerokość warstw lateralnych wytworzonych w gradientowym polu temperaturowym jest większa, niż w analogiczny sposób uzyskanych warstw w stanowisku poziomym (bez gradientu temperatury).

Warstwy lateralne rozpoczynają swój wzrost od krawędzi „otwarte okno Si – dielektryk SiO2", po czym zabudowa sieci krystalicznej odbywa się w dwóch kierunkach – lateralnym i vertikalnym. Proporcje szybkości wzrostu pomiędzy tymi kierunkami zależą od geometrii ułożenia atomów na powierzchni otwartych okien [4] oraz od warunków przebiegu procesu wzrostu [5,6]. Jeśli w rozwiązaniu klasycznym (wariant poziomy ze stopniowym przechłodzeniem), proces dostarczania atomów Si z roztworu do rosnącej warstwy jest z definicji zjawiskiem dynamicznym jako proces dążenia układu fizycznego do stanu chwilowej równowagi, dla którego energia swobodna Gibbsa

$$G = H - T \cdot \Delta S \tag{1}$$

jest minimalna [13]. W równaniu (1) H, T oraz ΔS oznaczają odpowiednio entalpię, temperaturę i zmianę entropii. W stanie równowagi termodynamicznej potencjały chemiczne poszczególnych składników graniczących faz układu są równe [13]:

$$\begin{gathered} \mu_i^1 = \mu_i^2 = \mu_i^3 = \ldots\ldots\ldots\ldots = \mu_i^f, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \mu_j^1 = \mu_j^2 = \mu_j^3 = \ldots\ldots\ldots\ldots = \mu_j^f, \end{gathered} \tag{2}$$

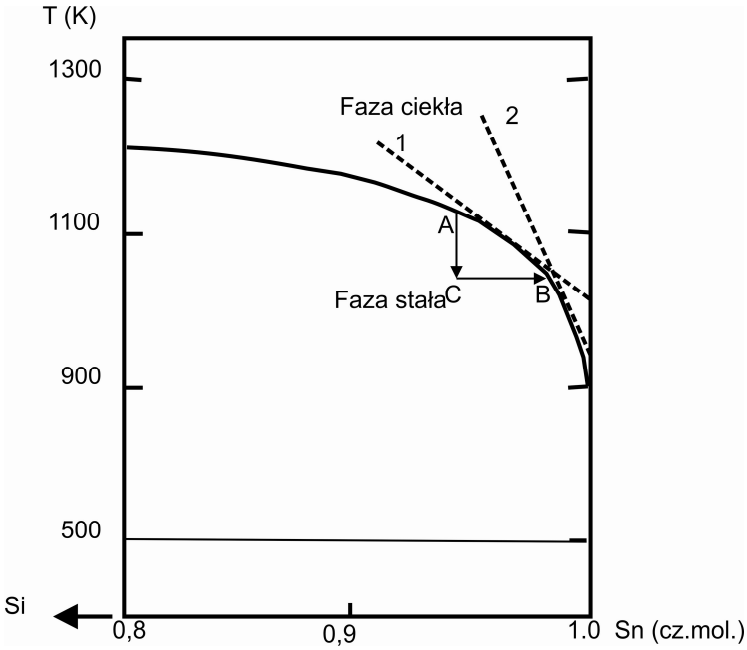
gdzie f – numer fazy, i, j – składnik, natomiast potencjał chemiczny zdefiniowany jest jako:

$$\mu_i = \left(\partial G / \partial n_i\right)_{n_j, T, P} . \tag{3}$$

Wzrost epitaksjalny z fazy ciekłej zachodzi, gdy pod wpływem wytworzonego celowo i w sposób kontrolowany stanu nierównowagi termodynamicznej, w fazie ciekłej znajduje się w nadmiarze składnik krystalizacyjny. Termodynamiczną siłą napędową epitaksji jest różnica potencjałów chemicznych układu [14]:

$$\Delta\mu_{AB} = \mu_B - \mu_A , \tag{4}$$

w jego dwu stanach: nierównowagowym μ_B oraz równowagowym μ_A .
Idea procesu krystalizacji warstwy epitaksjalnej Si z nasyconego roztworu Sn metodą LPE może być przedstawiona za pomocą diagramu fazowego tego układu (rys.7).



Rys.. 7. Diagram fazowy układu Si-Sn.
Fig. 7. The Si-Sn phase diagram

Punkt A opisuje stan równowagi pomiędzy fazą stałą i fazą ciekłą (roztwór o składzie x_A w temperaturze T_A. Punkt C reprezentuje stan układu po obniżeniu temperatury o ΔT (z T_A do T_C), który jest stanem nierównowagowym. Roztwór w tym stanie jest przesycony (przesycenie równe jest różnicy $x_B - x_C$). Układ, aby zmniejszyć swoją energię wewnętrzną spowoduje wykrystalizowanie nadmiarowej ilości atomów Si w postaci warstwy na powierzchni podłoża, która charakteryzuje się najmniejszą liczbą stopni swobody. Skład roztworu przesunie się do punktu B, który leży na krzywej liquidusu opisującej nową równowagę międzyfazową.

Na zainicjowanie procesu wzrostu mają wpływ wszelkiego rodzaju defekty występujące na powierzchni podłoża (tarasy, odchylenie od orientacji, dyslokacje, defekty punktowe) [15]. Wzrost lateralnej warstwy krzemowej natomiast rozpoczyna się od krawędzi dzielącej otwarte okno i warstewkę dielektrycznego pokrycia (patrz rys.3) i rozprzestrzenia się w dwóch kierunkach: lateralnym i vertikalnym [17].

Różnica w szybkości wzrostu pomiędzy tymi kierunkami zależy od wielu czynników: krystalograficznej orientacji powierzchni, rodzaju rozpuszczalnika, kierunku i kształtu otwartych okien, rodzaju dielektryka, warunków temperaturowo-czasowych (T-t) itd. [13,16,17]. Ważną rolę w procesie formowania warstwy lateralnej metodą LPE odgrywają również zjawiska transportu masy w roztworze. Jest to głównie proces dyfuzji, podczas którego nadmiarowe atomy substancji krystalizacyjnej przemieszczają się w kierunku granicy międzypowierzchni „faza stała/faza ciekła".

W przypadku epitaksji w wariancie poziomym, przesycenie fazy ciekłej wytwarzane było tylko za pomocą chłodzenia równowagowego, podczas którego układ „selektywnie maskowane podłoże Si(111)- faza ciekła Sn-Si" schładzano ze stałą szybkością $\alpha=0.5°Cmin^{-1}$.

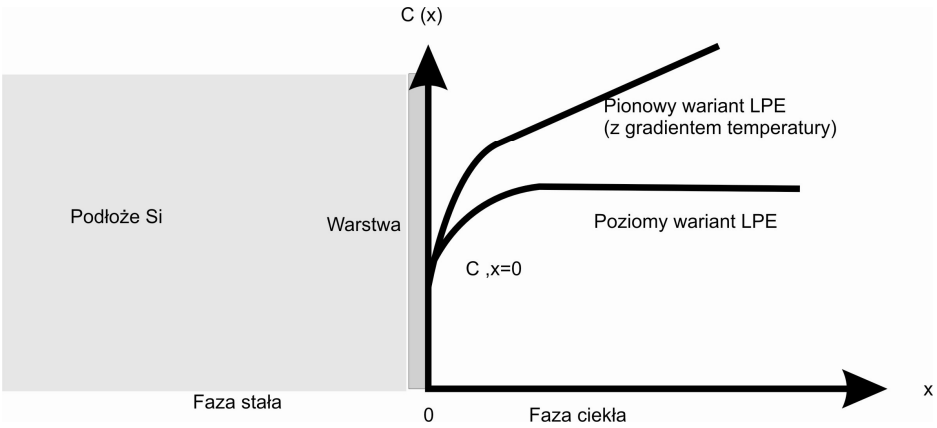
Podstawą zabudowy sieci krystalicznej rosnącej warstwy w tym przypadku jest dyfuzja atomów Si w kierunku międzypowierzchni „faza stała-faza ciekła" [18].
Transport masy składnika rozpuszczonego w roztworze opisują równania:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \upsilon\frac{\partial C}{\partial x}, \tag{5}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \upsilon\frac{\partial T}{\partial x}, \tag{6}$$

gdzie (5) jest równaniem dyfuzji składnika rozpuszczonego w roztworze w fazie ciekłej i stałej, natomiast wyrażenie (6) jest równaniem opisującym dyfuzję ciepła w fazie ciekłej i stałej; C – oznacza koncentrację składnika rozpuszczonego w roztworze, t – czas wzrostu, x – odległość od międzypowierzchni w kierunku prostopadłym do granicy kontaktu dwóch faz, stałej i ciekłej, D – współczynnik dyfuzji materiału rozpuszczonego w roztworze, T – temperaturę, υ – szybkość wzrostu, K – współczynnik przewodności cieplnej.

Rysunek 8 przedstawia poglądowo typowy profil koncentracji składnika krystalizatora rozpuszczonego w roztworze epitaksjalnym. W przypadku epitaksji warstwy w obecności gradientowego pola temperaturowego, transport masy pomiędzy podłożem dosycającym, a podłożem bazowym przebiega inaczej. Nie można w tym wypadku założyć homogeniczności roztworu, ponieważ w tym samym czasie różne części fazy ciekłej znajdują się w różnych temperaturach (rys.7.).



Rys. 8. Profil koncentracji składnika rozpuszczonego w roztworze epitaksjalnym
Fig. 8. Concentration profile of the liquid phase component

Zróżnicowaniu ulega więc dynamika transportu masy z głębi roztworu do podłoża (styczna 1 i 2 do krzywej liquidus na rys.7.), powodując zmianę profilu koncentracji atomów krzemu na międzypowierzchni „ciekły roztwór – podłoże".
Analityczne rozwiązanie drugiego prawa Ficka dla przypadku istnienia pola temperaturowego przedstawia wyrażenie [20]:

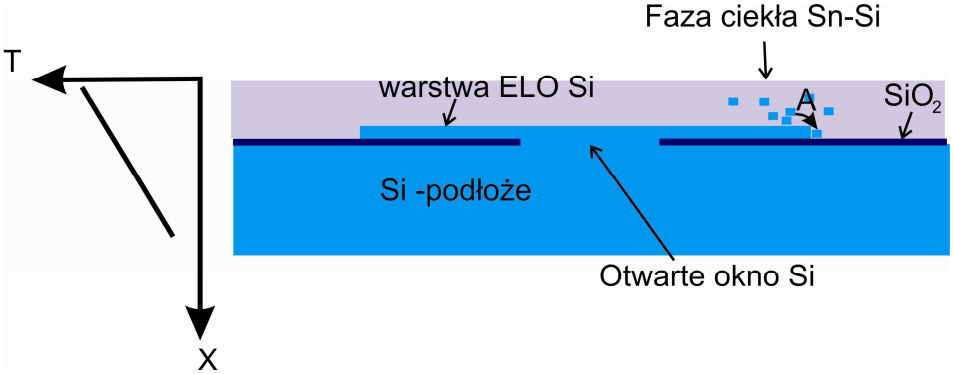
$$d(t) = \frac{C_L(T_2) - C_L(T_1)}{\pi^2 [C_S(T_1) - C_L(T_1)} L \sqrt{\frac{t}{\tau_D}}, \tag{7}$$

- dla dużych gradientów temperatury, a więc dużych prędkości transportu masy do międzypowierzchni (gdy $t << \tau_D$),

oraz $$d(t) = \int_0^t v(t)dt = \int_0^t \frac{D_L}{L} \frac{C_L(T_2) - C_L(T_1)}{C_T(T_1) - C_L(T_1)} dt, \tag{8}$$

jeśli czas procesu $t >> \tau_D$.

Jakościowo, nasze eksperymenty potwierdzają teoretycznie określoną tendencję zmian dynamiki wzrostu warstw lateralnych w gradientowym polu temperaturowym.
Dla stanowiska pionowego LPE, gradient temperatury powoduje minimalizowanie prędkości wzrostu vertikalnego, ponieważ wzrastająca wzdłuż normalnej do powierzchni temperatura zwiększa rozpuszczalność Si w roztworze Sn (rys.7.). Fakt ten działa na korzyść rozwijania składowej lateralnego wzrostu, ponieważ im bliżej powierzchni podłoża, tym niższa jest temperatura i tym większe jest prawdopodobieństwo rozrostu lateralnego warstwy. Schematycznie obrazuje to rys. 9.



Rys.9. Modelowy rozkład temperatury w strefie wzrostu warstwy lateralnej i migracji atomów Si w pobliżu powierzchni podłoża (strzałka A obrazuje mechanizm absorpcji atomów Si przez warstwę lateralną)

Fig. 9. Model of the ELO layer crystallizations near surface of Si substrate (A arrow shows a mechanism of Si atoms adsorption by laterally grown layer)

Najprawdopodobniej, z tego też powodu w naszych eksperymentach szerokości warstw ELO, wytwarzanych w gradientowym polu temperaturowym przy tych samych przechłodzeniach, co w wariancie poziomej epitaksji, osiągały większe szerokości (rys.6).

4. PODSUMOWANIE

Warstwy lateralne, uzyskiwane metodą LPE w gradientowym polu temperaturowym osiągały większe szerokości w porównaniu z wariantem klasycznej LPE (stanowisko poziome) przy zbliżonych warunkach przechłodzenia roztworu ciekłego Si-Sn. Minimalizowanie pionowej składowej szybkości wzrostu z wykorzystaniem wzrostu w gradiencie temperatury, pozwala na uzyskiwanie cienkich homogenicznych warstw lateralnych na znacznej powierzchni, czyniąc je przydatnymi dla zastosowań fotowoltaicznych. Wzrost lateralny warstw ogranicza wpływ podłoża na ich morfologię, a LPE, ze względu na niskie temperatury prowadzenia procesów krystalizacyjnych, minimalizują prawdopodobieństwo niekontrolowanej kontaminacji warstw. Daje to możliwość wykorzystywania do konstruowania struktur baterii słonecznych podłoży o gorszej jakości, a więc znacznie tańszych.

5. LITERATURA

1. Renewable Energy — Sources for Fuels and Electricity. Edited by: Johansson T.B., Kelly H., Reddy A.K.N., Williams R.H.; Washington, Island Press 1993.
2. Proceedings of „Conference on the Future of Energy in Enlarged Europe: Perspectives for R&D Co-operation", 7-8 October 2004, Warszawa.
3. Jóźwik I., Olchowik J.M., Multi-step crystallization of silicon epilayers under Ar atmosphere, Proc. of 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 4-8 September 2006, Dresden (Germany), 1005.
4. Jóźwik I., Olchowik J.M., Cieslak K.J., Effect of Ar Process Gas on Epitaxial Lateral Overgrowth of Si on SiO2 Coated Si Substrates, Proc. of 20th European Photovoltaic

Solar Energy Conference and Exhibition, 6-10 June 2005, Barcelona (Spain), (CD) p. 1329.
5. Jóźwik I., Olchowik J.M., The epitaxial lateral overgrowth of silicon by two-step liquid phase epitaxy, J. Cryst. Growth, 294 (2006) 367.; I. Jóźwik, J. M. Olchowik, Analysis of the processes of silicon epitaxial lateral overgrowth in Ar ambient gas, Materials Science, Vol. 24, No. 4, 2006, 968.
6. Jóźwik I., Olchowik J.M., Two-step liquid phase epitaxy growth of silicon on patterned silicon substrates in Ar atmosphere, IEEE 2006 Proc. of 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, 7-12 May 2006, 1304.
7. Bailey S., Raffaelle R., Space Solar Cells and Arrays in Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (ed. A. Luque, S. Hegedus), Wiley, West Sussex, 2003.
8. Olchowik J.M., Sposób zwiekszenia sprawności baterii słonecznych na bazie krzemu, Biuletyn Urzędu Patentowego, Nr 21 (725) 2001.
9. Dobrovolsky V.N., Litovchenko V.G.,. Skryshevsky V.A, Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 22-26 October 2001, Munich, Germany, p.208.
10. Olchowik J.M., Sposób wytwarzania płaskich warstw krawędziowych na powierzchni SiO2, Biuletyn Urzędu Patentowego Nr 21 (725) (2001) 20.
11. Campbell P.R., Light Trapping and Reflection Control in a Crystalline Solar Cell, PhD Thesis, University of New South Wales, June, 1989.
12. Bergmann R.,. Kurianski J, Mater. Lett., 17 (1993) 137.
13. Olchowik J.M., Wpływ międzypowierzchni na charakter syntezy wieloskładnikowych związków heteroepitaksjalnych AIIIBV z fazy ciekłej i jej teoretyczny model, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1995.
14. Herman M.A., Krystalizacja warstw epitaksjalnych: pojęcia i problemy podstawowe we: Wzrost kryształów (ed. K. Sangwal), Wyd. Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Częstochowie, Częstochowa, 1990.
15. Borkowski K., Epitaksja z fazy ciekłej we: Wzrost kryształów (ed. K. Sangwal), Wyd. Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Częstochowie, Częstochowa, 1990.
16. Olchowik J.M., Fave A., Semmache B., Laugier A., Kamiński A.,. Sadowski W, Crystallisation of Si Epitaxial lateral Overgrowth Layers for Photovoltaic structures, Proceedings of 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow,UK 1-5 May 2000 vol.II, (2000)1286-1288.
17. Zytkiewicz Z.R., Thin Solid Films, 412 (2002) 64.
18. Astles M.G., Liquid phase epitaxial growth of III-V compound semiconductor materials and their device applications, IOP Publishing Ltd., England, 1990.
19. Dost S., Kimura M., Qin Z., Int. Comm. Heat Mass Transfer, 23(8) (1996) 1143.
20. Rode D.L., J. Cryst.Growth, 20 (1973) 13.

INVESTIGATIONS OF GROWTH KINETIC OF LATERALLY GROWN LAYERS AT GRADIENT TEMPERATURE FOR SOLAR CELLS STRUCTURES

SUMMARY

This work presents an analysis of crystallization of the epitaxial lateral layers (ELO) for photovoltaic applications. Usually, main part of photovoltaic conversion is realized near surface of crystalline structures of semiconductors, therefore it needs only a little part of material. Because of very weak coefficient of light absorption in silicon, the thin ELO layer, placed between two dielectric coverings, gives the possibility of multiplications of optical way of photons and allows fabricating the Si solar cells by means of the thin films technology.

The main advantage of such approach is the fact that the masking film prevents from the defects propagation present in substrate into the ELO layer. Such a method of crystallization allows using the poor quality substrate in application to many electronic devices, especially for solar cells, diminishing the costs of their production.

The investigated Si-ELO layers were grown in various conditions: using standard horizontal LPE apparatus as well as vertical one with the temperature gradient.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Krystyna PAPRZYCA, dr inż. arch.

Politechnika Krakowska
Wydział Architektury
Instytut Projektowania Urbanistycznego
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego
ul. Warszawska 24, 31-049 Kraków
e-mail: krystyna.paprzyca@xl.wp.pl

INNOWACJA A TRADYCJA

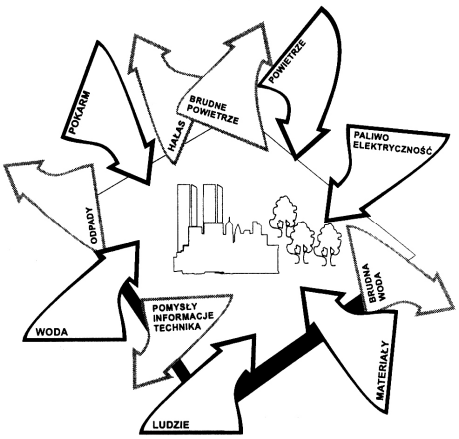
STRESZCZENIE

Z powodu wyczerpywania się tradycyjnych źródeł energii, zagrożenia katastrofą ekologiczną zmuszeni jesteśmy do poszukiwania rozwiązań technicznych i technologicznych innowacji, szczególnie ukierunkowanych na wykorzystanie energii odnawialnych. Wiele budynków budowanych w naszych czasach ma negatywny wpływ na środowisko i zużywa dużą ilość energii. Z tego powodu coraz bardziej istotnym staje się projektowanie budynków energooszczędnych, zdrowych, uwzględniających lokalne warunki klimatyczne miejsca, bazując na tradycyjnych sposobach budowania z innowacjami technicznymi i technologicznymi. Kreowanie energooszczędnych budynków przyczynia się do poprawy warunków życia i mieszkania.

1.WPROWADZENIE

Kontrola jakości naszego miejsca zamieszkania ma tysiącletnią tradycję. Prymitywne ludy składały cześć ziemi i poświęcały wiele uwagi ochronie naturalnych bogactw ziemi. W dawnych czasach budynki przy Nilu budowane były z ręcznie formowanych glinianych kostek z użyciem starej tradycyjnej metody budowania. Budynki powstawały i w miarę czasu rozsypywały się w przeciwieństwie do współczesnych nowoczesnych budynków w formie szklanych ogromnych stalowych czy betonowych, niezniszczalnych sekcji.

W wyniku rozwoju cywilizacyjnego, techniki i technologii, urbanizacji , wzrostu liczby ludności uległa zmianie relacja człowieka – miejsca zamieszkania do środowiska, kontekstu. Pojawiające się problemy powodują zagrożenie zdrowia człowieka choroby-nerwice, zawały serca, samobójstwa, wzrost nędzy, patologie społeczne, bezrobocie itp.



Rys.1. Miasto jako system.
Fig.1. City system
(H a g a n S., Taking shape a New Contract between architecture and Nature, Architectural Press)

Problemy współczesnych dzielnic są różnego rodzaju, a istota projektanta jest poszukiwanie takich rozwiązań, aby przyczynić się do zdrowego i przyjemnego miejsca zamieszkania. Powstaje pytanie o koncepcję środowiska mieszkaniowego człowieka żyjącego w czasach rozwoju technik i technologii a jednocześnie człowieka żyjącego w harmonii, zgodzie z naturą.

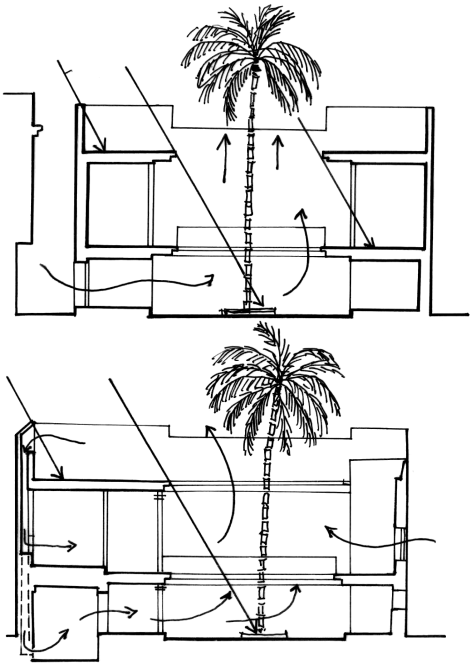
Nie możemy zapominać, że każdy budynek, zespół mieszkaniowy musi powstawać w relacji to środowiska , do kontekstu, wykorzystaniu potencjału miejsca (lokalizacja, strony świata, ukształtowanie terenu, nasłonecznienie, przewietrzanie, itp.) jakim on dysponuje. Kryteria związane z miejscem zamieszkania zawsze powinny być formowane poprzez kryteria człowieka.

2. TRADYCYJNE SPOSOBY BUDOWANIA

Wiele jest przykładów zespołów urbanistycznych , budynków powstałych w relacji do kontekstu, wykorzystujących możliwości danego miejsca dla poprawy jakości życia i mieszkania w danym środowisku. Wenecja jest jednym z przykładów miejskiego ekosystemu, który powstał na naturalnie ukształtowanej zatoce z zastosowaniem umocnień z drewnianych pali na jakich wznoszono budynki. Zostały wykorzystane naturalne walory miejsca zarówno w aspekcie malowniczości miejsca jak również miejsca doskonale położonego dla rozwoju handlu. Zwarty , wąski, zacieniony układ ulic w klimacie gorącym poprawiał warunki do zamieszkania.

Miejsce zamieszkania w różnorodnych klimatach i regionach zawsze podporządkowane były stworzeniu przez człowieka warunków do dalszego życia w relacji do warunków otoczenia. Człowiek budował domy które dzięki specyficznym rozwiązaniom technicznym miały zapewnić komfort i wygodę życia. Aby przeciwdziałać upałowi jaki panuje w klimacie gorącym w budynkach stosowano tzw ‘łapacze wiatru”, by powietrze poprzez otwarcia kierować w stronę centralnego holu, by tam ochładzane poprzez fontannę u zamożniejszych rodzin lub dzban z zimną wodą u biedniejszych rodzin, powietrze wędrowało do wyższych partii budynku w celu ich ochłodzenia , skąd było wyprowadzane na zewnątrz budynku. Na terenie Afryki efekt ochładzania i naturalnej wentylacji możliwy był dzięki oknom, które noszą nazwę *mashrabija*. Struktura muru i materiały, jakie zostały użyte do budowy domu, miały istotny wpływ na klimat wewnątrz budynku. Ściany budynków wykonane były z materiałów dostosowanych do strefy klimatycznej. Materiały dostępne w różnych kulturach były selekcjonowane pod kątem ich własności jak również użycia ich w konstrukcji, w relacji do klimatu i zmian wykorzystując ich termiczne właściwości. Forma budynku również miała istotny wpływ na zmiany klimatyczne. Filarowa struktura budynków występowała na terenach mórz, domy na palach miały ułatwić walkę z insektami, wężami, zwierzami, jak również poprawić wentylację w klimacie wilgotnym.

Określone techniki i technologie wytworzone przez wieki w naturalny sposób przystosowywały budynek do prawidłowego działania, funkcjonowania w zgodzie z naturą w harmonii ze środowiskiem, nie szkodząc nikomu.



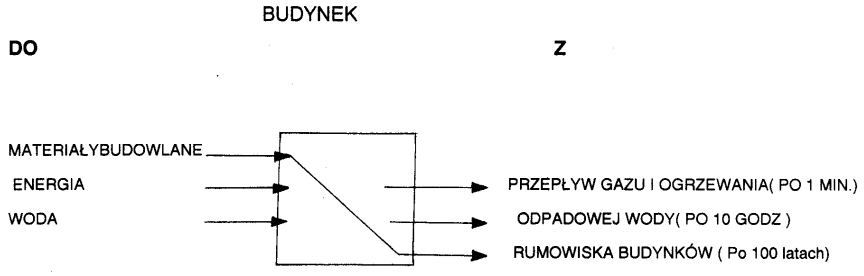
Rys. 2. Wentylacja w budynku arabskim
Fig. 2. Ventilation in an Arab building(Norbert Schoenaure; 6000 years of housing, W.W. Norton& Company, INC.500 Fifth Avenue, NY 10110)

3. ARCHITKTURA DLA ZRÓWNOWAŻONEGO ŚWIATA- INNOWACJE

W obliczu wyczerpywania się tradycyjnych źródeł energii oraz zagrożenia katastrofą ekologiczną, wzrostu konsumpcji, zmuszeni zostaliśmy do poszukiwania nowych rozwiązań dotyczących środowiska mieszkaniowego, wykorzystania cech kontekstu miejsca do poprawy jakości życia środowiska mieszkaniowego. Jest to warunek przystosowania świata przyrody do tempa rozwoju cywilizacyjnego, jest to warunek przetrwania ludzkości na ziemi. Era ekologiczna, w którą obecne wchodzimy wymaga nowego podejścia do projektowania w zakresie architektur jak i urbanistyki. Era w której żyjemy opierać się będzie na założeniach wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych, wykorzystania promieniowania elektromagnetycznego słońca, energii, wody, energii wiatru oraz biomasy. Efektywne wykorzystanie energii odgrywać będzie istotną rolę w kształtowaniu środowiska życia człowieka

Dzięki pewnym instrumentom technicznym, poprzez pewne zadania technologiczne można osiągnąć określony efekt technicznej interwencji, istnieje możliwość poprawy relacji budynek – środowisko już na etapie planowania obiektu.

Już na etapie powstawania projektu pojawia się szereg wątpliwości, które związane są z wyborem odpowiedniej lokalizacji, relacji nowego obiektu do przestrzeni i możliwości miejsca, potrzeb przyszłych użytkowników.



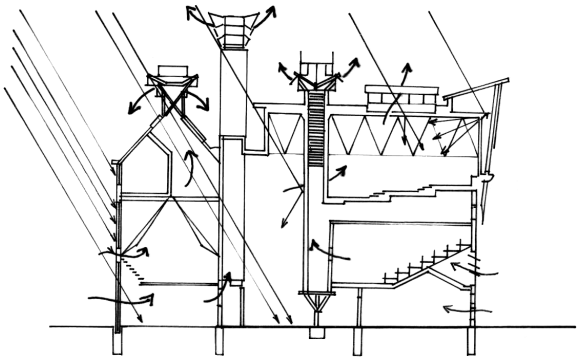
Rys3. Kees Duijvestein tzw. „ czarna skrzynka .
Fig.3 „ A black box" . Kees Duijvestein, Thinking in Systems, Desugning in Variants, Faculty of Architecture in the University of Technology in Delft, 1993

Podczas „cyklu życia budynku" występują relacje do zmieniających się aspektów środowiska. Przegrody zewnętrzne najbardziej wyeksponowane komponenty budynku determinują walory estetyczne budynku jak również mają wpływ na gospodarkę energetyczną budynku. Przegroda zewnętrzna dzisiaj ma a zadanie nie tylko chronić budynek przed nadmiernymi stratami ciepła lecz dodatkowo zapewnić zyski ciepła z zewnętrznych niekonwencjonalnych źródeł o charakterze odnawialnym. Przegrody również pośredniczą w dostarczaniu światła dziennego do pomieszczeń oraz chronią przed nadmiernym przenikaniem dźwięków z zewnątrz. Efektywność oświetlenia wewnątrz pomieszczeń światłem dziennym wiąże się z redukcją zużycia znacznej ilości energii elektrycznej. Temperatura wnętrza jest jednym z podstawowych elementów komfortu życia budynku. Minimalizacja strat ciepła w budynku może zostać osiągnięta poprzez rozwój nowych technologii i materiałów . Szczególny nacisk powinien być położony na wentylację.

DO	BUDYNEK	Z
	Inicjatywa Selekcja miejsca Projekt	
MATERIAŁY BUDOWLANE -		- ODPADY Z BUDYNKU
WODA	- Konstrukcja	- POZOSTAŁA WODA
ENERGIA	-	- NADMIAR ENERGII
ENERGIA -		- NADMIAR CIEPŁA
WODA -	Użytkowanie i zarządzanie	- POZOSTAŁA WODA
MATERIAŁY BUDOWLANE -		- ODPADY Z BUDYNKU
WODA	-	- POZOSTAŁA WODA
ENERGIA	- Odnowa	- NADMIAR ENERGII
ENERGIA	-	- NADMIAR CIEPŁA
WODA	- (re) użycie	- POZOSTAŁA WODA
ENERGIA	- zburzenie	- NADMIAR CIEPŁA
		- ŚMIECI, RUMOWISKO

Rys.4. Cykl życia a techniczne możliwości.
Fig.4 Life cycle and technical possibilities . Kees Duijvestein, Thinking in Systems, Desugning in Variants, Faculty of Architecture in the University of Technology in Delft, 1993

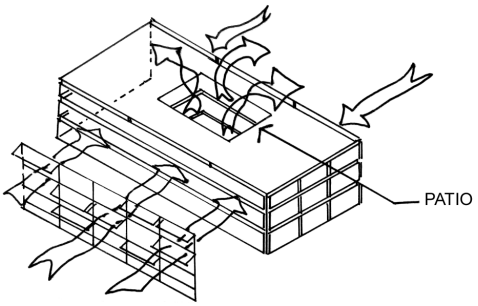
Wielu współczesnych architektów wraca do tradycyjnych technik, stosując najnowsze technologie. Formy budynków, zaprojektowane przez nich, powstały w relacji do lokalnych warunków klimatycznych. Wiatr jest decydujący dla naturalnej wentylacji. W projekcie Centrum Kultury im. J.M.Thibaon, Noemu, Nowa Kaledonia Renzo Piano & Partners wykorzystali lokalne warunki miejsca do systemu uchylnych paneli, które w zależności od prędkości wiatru regenerują poziom wentylacji. Kształt budynku utworzony został z potrzeby maksymalnej wentylacji w klimacie wilgotnym. Budynek Inland Revenue Headquarters, Michael Hopkins and Partners, Nottington, Anglia jest przykładem budynku biurowego, w którym szklane wieże ze schodami stanowią formę termicznych kominów (zasada zaczerpnięta z arabskich łapaczy wiatrów). Nairobi Tower, Nairobi, Kenia, Planning Systems Services stanowi inny przykład stosowania sytemu wentylacji dzięki czerpniom powietrza.



Rys. 5. Schemat naturalnej wentylacji w budynku Queens Building
Fig 5. Schema of ventilation in the Queens Building, De MontfortUniversity, Leicester (Eco-Tech, Sustainable Architecture and High Technology, Thames and Hudson, London, 1997)

W wielu współczesnych domach znalazła zastosowanie zasada "muru unieszkodliwiającego" propagowana przez Le Corbusiera w 1930 r . Norman Foster w Buissness Park w Duisburgu czy Renzo Piano w Cite Internationale, Lyon, Francja, zastosowali zasadę warstw poprawiając energetyczną skuteczność muru.
Przyszłościowy system projektowania bazuje również na idei "drugiej skóry". "Skóra budynku" ma na celu ochronę budynku przed przegrzaniem, stratą ciepła, przed blaskiem słońca oraz może umożliwiać zacienienie.

Architektura przyjazna środowisku staje się ważnym elementem badań i działań z kreowaniem przyjaznego człowiekowi zdrowego środowiska mieszkaniowego. Systemy słoneczne, innowacje techniczne i technologiczne promowane są w wielu krajach jako wymagany i oczekiwany przez projektantów nieodłączny element współczesnego projektowania.



Rys. 6. Schemat naturalnej wentylacji w budynku Iguzzini Illuminazione Headquarters
Fig 6. Schema of natural ventilation in the building of the Iguzzini Illuminazione Headquarters, Recanati, Italy (Eco-Tech, Sustainable Architecture and High Technology, Thames and Hudson, London, 1997)

4. PODSUMOWANIE

Projektowanie budynków zespołów mieszkaniowych wykorzystujących lokalne warunki, bazując na tradycyjnych sposobach budowania z innowacjami technicznymi i technologicznymi, materiałowymi mogą być podstawa do projektowania przyszłego środowiska mieszkaniowego. Architektura przyjazna środowisku jest ważnym elementem w obszarze badań, realizacji ,dotyczy kreowania środowiska życia i mieszkania człowieka, by mógł on czuć się w środowisku zamieszkania zdrowo i bezpiecznie. Jest to jeden z warunków przystosowania świata przyrody do rozwoju cywilizacyjnego, jest to warunek przetrwania ludzkości na ziemi.

5. LITERATURA

1. Hagan S., *Taking shape a New Contract between architecture and Nature*, Architectural Press.
2. Oliver P., *Dwellings*, Phaidon 2003.
3. *In detail Building Skins, concepts, Layers, Materials*, Detail, Birkhauser,2001
4. Eco-Tech, Suistanable Architecture and High Technology, Thames and Hudson, London 1997
5. Ryńska E.D., *Bioklimatyka a forma architektoniczna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001
6. Tjallingii S. *Ecopolis, strategies and guiding models for ecologically sound urban development*, Institute for Forestry and Nature Research, Dortrecht, 1994
7. Kees Duijvestein, *Thinking in Systems, Desugning in Variants*, Faculty of Architecture in the University of Technology in Delft, 1993]
8. Kees Duijvestein, *Denken in system ontwerpen in varianten*, Technische Universiteit Delft, 1993
9. Kees Duijvestein, *En ecological approach to building, Ecological building*, Delft University Press , 1993

INNOVATION AND TRADITION

SUMMARY

Due to exhaustion of traditional sources of energy and in danger of ecological disadter people are oblige to serach for New technical and technological innovationally solutions, especially directed to new potentials for Rusing solar energy. A lot of buildings chich are butli In our Times hale the negative influence on the environment and they use a lot of energy. Becouse of that it s important to design energy saling buildings, healthy buildings, Rusing local climatic conditions Jasing on traditional maethods of constructions, with technical and technological innovations. Creating energy – saling buildings Leeds to improve the quality of living conditions In ouer environment.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Janusz PEŁCZYŃSKI, dr inż.
Arkadiusz LEKKI

Politechnika Rzeszowska
Zakład Urbanistyki i Architektury
ul.Poznańska 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: jpe@prz.edu.pl

EKONOMICZNE I TERMICZNE EFEKTY WYBORU ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWYCH BUDYNKU NA PRZYKŁADZIE DOMU JEDNORODZINNEGO

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki symulacji cieplnych dla domu jednorodzinnego w pięciu wariantach rozwiązań przegród wraz z analizą ekonomiczną oraz charakterystyką warunków komfortu cieplnego poszczególnych wariantów.

1. WPROWADZENIE

Jedną z decyzji podejmowanych przy budowie domu jest wybór materiału, z którego wznoszone będą jego ściany. Decyzja o wyborze rozwiązania ścian budynku ma szereg konsekwencji. Wpływa na koszt, wielkość i właściwości użytkowe domu. Wybór technologii wznoszenia zależy do inwestora i jest zazwyczaj uwarunkowany szerzej niż samymi zagadnieniami technicznymi – może zależeć od tradycji, kryterium trwałości rozwiązań, zaufania do producenta czy szybkości wznoszenia domu. W wyniku wyboru technologii ścian i powiązanych z nią rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, inwestor uzyskuje budynek o różnym oporze cieplnym i różnej stabilności cieplnej [4]. Porównanie alternatywnych możliwości w kategoriach kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz komfortu cieplnego dostarcza czytelne i wymierne kryteria wyboru.
Celem artykułu jest przeprowadzenie analizy ekonomicznej oraz komfortu cieplnego dla budynku o stałej powierzchni zabudowy, dla wybranych rozwiązań konstrukcyjno – mate-

riałowych ścian zewnętrznych, dostępnych na rynku materiałów budowlanych. Poszczególne ściany różnią się grubością, oporem i pojemnością cieplną oraz ceną, tworząc alternatywne warianty kosztowe i techniczno-użytkowe budynku.

2. OPIS BUDYNKU I PRZYJĘTYCH WARIANTÓW ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWO-KOKSTRUKCYJNYCH

2.1. Program użytkowy budynku

Analizie został poddany wolnostojący dom jednorodzinny, przeznaczony dla 6 osób. Budynek jest obiektem parterowym, niepodpiwniczonym, z poddaszem użytkowym, z dachem wysokim o kącie nachylenia połaci 35°. Wysokość budynku wynosi 8,71m, wymiary zewnętrzne w rzucie 17,80 m x 13,39 m.
Program użytkowy parteru: wiatrołap, korytarz, kuchnia, pokój dzienny, łazienka, kotłownia, gabinet, garaż i pomieszczenie gospodarcze. Na poddaszu zlokalizowano korytarz, 5 pokoi, pomieszczenie gospodarcze, łazienkę i garderobę.

2.2. Dane materiałowo-konstrukcyjne wariantów przegród budynku

Do analizy przyjęto pięć dostępnych na rynku materiałów budowlanych rozwiązań konstrukcyjno – materiałowych ścian nośnych, które są podstawą popularnych rozwiązań budowlanych domów jednorodzinnych.
Grubość i opór cieplny ścian jednowarstwowych przyjęte zostały zgodnie z ofertą producentów rozpatrywanych systemów ściennych. W przegrodach dwuwarstwowych zastosowano ocieplenie styropianem gr. 15 cm, dla budynku szkieletowego przyjęto wypełnienie wełną mineralną gr. 17 cm.
Wariant 1, ozn. „**Sd**” – budynek w technologii szkieletu drewnianego, ściany zewnętrzne gr. 20 cm z wypełnieniem wełną mineralną gr.17 cm – opór cieplny ściany R = 3,81 (m2K)/W; ściany wewnętrzne i stropy szkieletowe, drewniane
Wariant 2 ozn. „**Max**” – ściany nośne z pustaka ceramicznego MAX gr. 18,8 cm, ocieplone styropianem gr. 15cm – opór cieplny ściany zewn. R = 4,06 (m2 K)/W, ściany działowe ceramiczne gr. 12 cm, strop płytowy żelbetowy.
Wariant 3 ozn. „**Silka**” – ściany nośne z bloczków silikatowych SILKA gr. 24 cm ocieplone styropianem gr. 15 cm – opór cieplny ściany zewn. R = 3,91 (m2 K)/W, ściany działowe ceramiczne gr. 12 cm, strop płytowy żelbetowy.
Wariant 4 ozn. „**Ytong**”- ściana jednowarstwowa wykonana z bloczka z betonu komórkowego YTONG gr. 40cm – opór cieplny R = 3,66 (m2 K)/W, ściany działowe gr. 12cm z bet. komórkowego, strop płytowy żelbetowy.
Wariant 5 ozn. „**Optiroc**” - ściana jednowarstwowa wykonana z bloczka keramzytowego OPTIROC gr. 36,5cm – opór cieplny ściany zewn. R =2,46 (m2 K)/W, ściany działowe ceramiczne gr. 12 cm, strop płytowy żelbetowy.
Pozostałe przegrody oraz stolarka są we wszystkich wariantach takie same.

2.3. Zestawienie powierzchni i kubatur budynku dla wariantów materiałowo-konstrukcyjnych przegród

Przy założeniu stałych wymiarów zewnętrznych budynku w rzucie (stałej powierzchni zabudowy), różnice w grubości przegród powodują różną wielkość kubatury

i powierzchni netto budynku. Wynika z tego różna wielkość powierzchni wymiany ciepła po wewnętrznej stronie przegród, oraz różna wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego.

Tabela 1. Wielkość powierzchni i kubatur budynku dla wariantów przegród
Table 1. Volume of surface and the cubatures of building for the variants of partitions

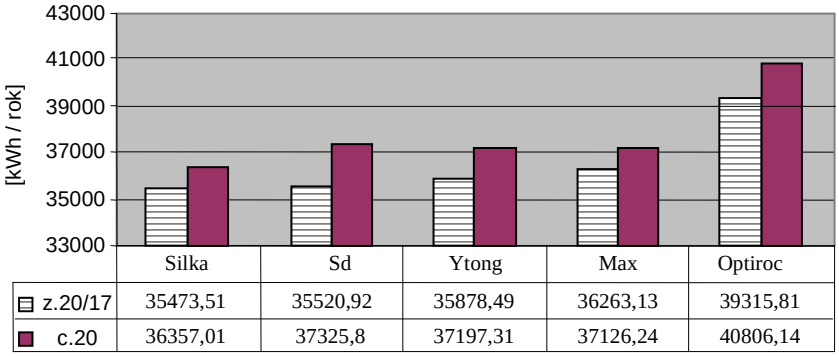
Parametry budynku wynikające z konstrukcji przegród	Warianty materiałowo-konstrukcyjne przegród				
	Sd	Max	Optiroc	Silka	Ytong
Powierzchnia netto [m^2]	336,62	319,69	317,42	314,81	314,15
Kubatura [m^3]	944,32	947,32	933,26	926,44	924,87

3. OPIS I WYNIKI SYMULACJI CIEPLNYCH

3.1. Narzędzie i założenia symulacji

Symulacje cieplne zostały wykonane dynamicznym, szczegółowym programem symulacyjnym BSim2000 [5][6]. Symulacje wykonane zostały dla lokalizacji Krakowa przy wykorzystaniu syntetycznych przebiegów zmiennych pogodowych wygenerowanych na podstawie rzeczywistych 30-letnich średnich miesięcznych wartości parametrów klimatu [1]. W przeprowadzonych symulacjach uwzględniono długofalową wymianę ciepła między powierzchniami wewnętrznymi, dynamiczne wyliczanie wielkości wewnętrznych oporów powierzchniowych, analizę przebiegu promieniowania słonecznego wewnątrz pomieszczeń, oraz radiacyjną wymianę ciepła budynku z nieboskłonem.
W budynku założono działanie wentylacji grawitacyjnej. Uwzględnione zostały zyski cieplne o zmiennym natężeniu pochodzące od ludzi i z pracy wyposażenia domowego.
Rozpatrzono dwa warianty pracy instalacji ogrzewania: ogrzewanie ciągłe przez całą dobę w temp. 20 ^{0}C, oraz z nocnym obniżeniem do temp. 17^{0}C w godzinach 24 – 6 rano.

3.2. Wielkość sezonowego zapotrzebowania na ciepło

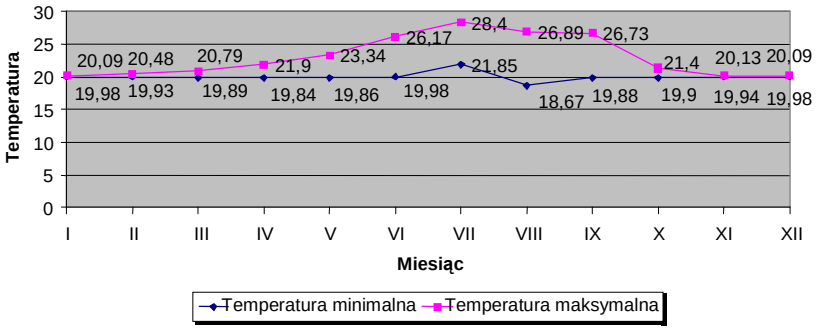


Rys. 1. Wielkość sezonowego zapotrzebowania na ciepło budynku dla wariantów przegród przy ogrzewaniu ciągłym (c.20) i z obniżeniem nocnym (z.20/17)
Fig. 1. The size of the seasonal heating demand for the variants of partitions by the continuous heating (c.20) and with night lowering (z.20/17)

Dla pierwszych czterech wariantów, przy ogrzewaniu ciągłym zapotrzebowanie na ciepło jest zbliżone i nie różni się więcej niż 2 %. Wyraźnie większe (ponad 10 %) jest dla wariantu Optiroc, którego ściana zewnętrzna ma znacząco mniejszy opór cieplny.
Pomimo, że opór cieplny ścian w wariancie pustaka Max jest nieco większy niż dla pustaka Silka, to ze względu na mniejszą grubość ściany i związaną z tym większą powierzchnię i kubaturę budynku dom w wariancie Silka ma mniejsze zapotrzebowanie na ciepło z powodu mniejszych strat na wentylację.
Zastosowanie nocnych obniżeń temperatury umożliwia zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło. Bezwładność cieplna poszczególnych wariantów budynku jest różna, co powoduje różną efektywność obniżeń temperatury, przekładającą się na inną niż w przypadku ogrzewania ciągłego kolejność wielkości zapotrzebowania na ciepło. Największa oszczędność występuje w budynku szkieletowym i wynosi 4,8 %, najmniejsza w budynku z silikatu 2,41%.

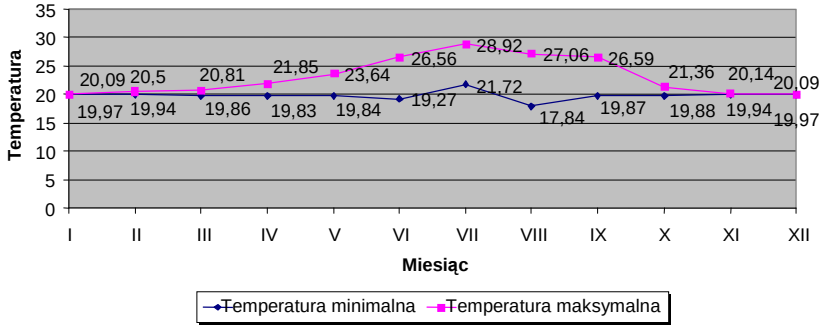
3.3. Temperatury odczuwalne

Doznanie komfortu cieplnego wewnątrz budynków jest wynikiem szeregu czynników, z których najważniejsze to temperatura i wilgotność powietrza wewnątrz budynku, temperatura wewnętrznych powierzchni przegród, prędkość ruchu powietrza, natężenie promieniowania cieplnego, szybkość zmian w czasie wartości wymienionych czynników, oraz ich zróżnicowanie w różnych pomieszczeniach budynku. Dla odczucia komfortu cieplnego istotna jest również temperatura zewnętrzna oraz bieżące warunki pogodowe [2][3].
W programie BSim2000 warunki komfortu cieplnego obrazowane są poprzez tzw. temperaturę odczuwalną w strefie, która jest średnią temperatury powietrza na wysokości 1,1 m i uśrednionej temperatury promieniowania otaczających przegród.
Na poniższych wykresach przedstawione zostały maksymalne i minimalne wartości tak określonej temperatury odczuwalnej w poszczególnych miesiącach dla rozpatrywanych wariantów budynku. Porównanie tych wartości pozwala zauważyć różnice warunków termicznych między wariantami wynikające z różnej ich stabilności cieplnej.



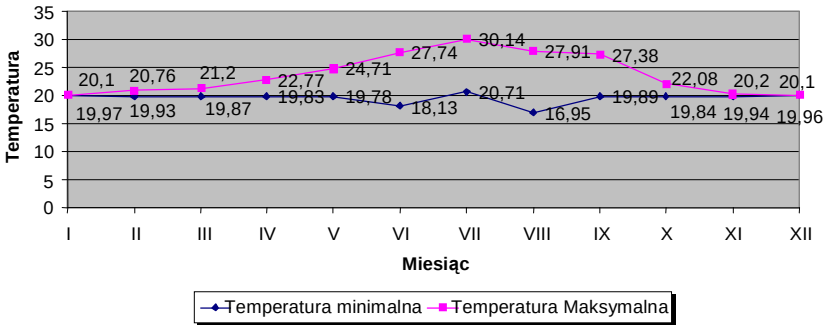
Rys.2. Maksymalne i minimalne temperatury odczuwalne w poszczególnych miesiącach dla wariantu Silka przy ogrzewaniu ciągłym

Fig. 2. Maximum and minimum perceptible temperatures in separate months for the variant silka by the continuous heating



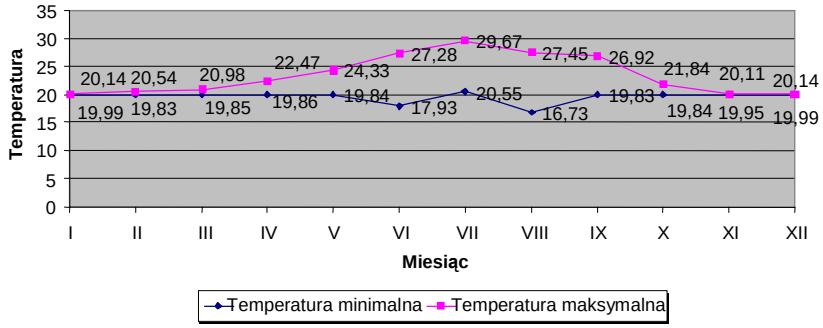
Rys. 3. Maksymalne i minimalne temperatury odczuwalne w poszczególnych miesiącach dla wariantu Max przy ogrzewaniu ciągłym

Fig. 3. Maximum and minimum perceptible temperatures in separate months for the variant Max by the continuous heating



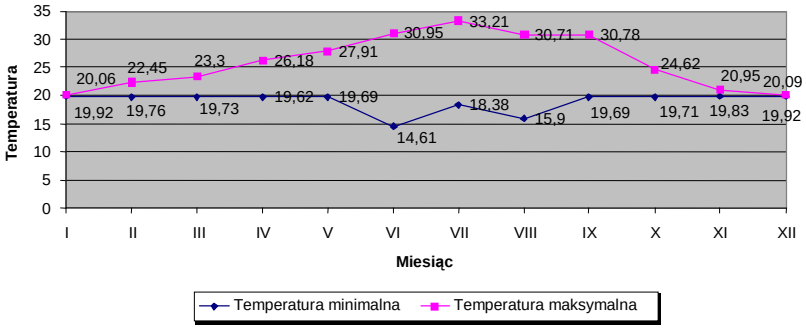
Rys. 4. Maksymalne i minimalne temperatury odczuwalne w poszczególnych miesiącach dla wariantu Ytong przy ogrzewaniu ciągłym

Fig. 4. Maximum and minimum perceptible temperatures in separate months for the variant Ytong by the continuous heating



Rys. 5. Maksymalne i minimalne temperatury odczuwalne w poszczególnych miesiącach dla wariantu Optiroc przy ogrzewaniu ciągłym

Fig. 5. Maximum and minimum perceptible temperatures in separate months for the variant Optiroc by the continuous heating



Rys. 6. Maksymalne i minimalne temperatury odczuwalne w poszczególnych miesiącach dla wariantu Sd przy ogrzewaniu ciągłym

Fig. 6. Maximum and minimum perceptible temperatures in separate months for the variant Sd by the continuous heating

Warianty charakteryzujące się mniejszą stabilnością cieplną uzyskują większe wartości temperatury maksymalnej i niższe temperatury minimalnej [4]. dłuższy jest także czas występowania temperatur ekstremalnych.

Największym tłumieniem wahań temperatury odznacza się dom z silikatu - silka, następnie max, ytong, optiroc, najmniejszą zaś dom w konstrukcji szkieletowej sd.

W domu o konstrukcji szkieletowej, może wystąpić efekt przegrzania pomieszczeń na skutek działania wysokich temperatur zewnętrznych oraz zysków ciepła pochodzących od słońca. W trakcie dnia, przy wysokim promieniowaniu słonecznym temperatura w budynku dla tego rozwiązania przekraczała 33^{0}C. Ponadto uzyskane wartości minimalne temp. odczuwalnej (14,61 ^{o}C w czerwcu) wskazują na możliwość wystąpienia konieczności dogrzewania części pomieszczeń tego budynku w chłodnych okresach poza sezonem grzewczym.

4. EFEKTY EKONOMICZNE WYBORU ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNO-MATERIAŁOWYCH BUDYNKU

Na podstawie wartości kosztorysowych budynku oraz wielkości zapotrzebowania na ciepło w sezonie grzewczym uzyskanych z programu Bsim2000 dokonano analizy opłacalności zastosowania alternatywnych materiałów budowlanych. Wartości kosztorysowe poszczególnych wariantów ustalone zostały na poziomie cen IV kwartału 2006 r. Koszt sezonu grzewczego ustalony został dla ogrzewania gazem ziemnym GZ 35 z ceną 0,143 zł/kWh.

Jak wynika z zestawienia w Tab. 2, najtańszym inwestycyjnie rozwiązaniem jest budowa z pustaka Max. Nie jest to jednak rozwiązanie o najniższym koszcie ogrzewania. Dla zobrazowania łącznych skutków ekonomicznych wyboru poszczególnych wariantów zsumowano koszty inwestycyjne i eksploatacyjne dla 25 lat użytkowania budynku, oraz sprowadzono je do chwili obecnej określając ich wartości zaktualizowane przy założeniu 8% stopy dyskonta (Tab. 3). Różnice w wielkości kosztów eksploatacyjnych pomiędzy pierwszymi czterema wariantami nie są duże i ostatecznie decydująca jest różnica w koszcie inwestycyjnym.

Tabela 2. Zestawienie kosztów budowy domu w stanie surowym dla analizowanych wariantów
Table 2. The comparison of the costs of the building of the house in the raw state or analysed variants

Warianty budynku	Ytong	Silka	Sd	Optiroc	Max
koszt budowy [zł]	291 760,97	284 267,97	282 608,00	267 389,56	265 065,11
koszt sezonu grzewczego przy ogrzewaniu ciągłym [zł]	5 282,02	5 162,70	5 300,26	5 794,47	5 271,93
koszt sezonu grzewczego przy og. z obniżeniami temp. [zł]	5 094,75	5 037,24	5 043,97	5 582,85	5 149,36

Tabela 3. Porównanie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych poszczególnych wariantów w odniesieniu do wariantu Max dla 25 lat użytkowania budynku
Table 3. Comparison of investment and exploational costs of individual variants in reference to variant Max for 25 years of the use of the building

	Ytong	Silka	Sd	Optiroc
OGRZEWANIE CIĄGŁE				
Prosta różnica kosztu ogrzewania w stosunku do Max	252,25	-2 730,75	708,25	13 063,50
Zaktualizowana wartość (PV) różnicy kosztu ogrzewania w stosunku do Max	107,71	-1 166,01	302,42	5 578,00
Prosta różnica kosztu inwestycyjnego i ogrzewania w stosunku do Max	26 948,11	16 472,11	18 251,14	15 387,95
Zaktualizowana wartość netto (NPV) różnicy kosztu inwestycyjnego i ogrzewania w stosunku do Max	24 818,12	16 700,79	16 523,43	7 317,08
OGRZEWANIE Z OSŁABIENIEM NOCNYM				
Prosta różnica kosztu ogrzewania dla 25 lat użytkowania w stosunku do Max	-1 140,17	-1 756,15	-2 419,95	10 986,51
Zaktualizowana wartość (PV) różnicy kosztu ogrzewania w stosunku do Max	-486,84	-749,86	-1 033,30	4 691,14
Prosta różnica kosztu inwestycyjnego i ogrzewania w stosunku do MAX	25 555,69	17 446,71	15 122,94	13 310,96
Zaktualizowana wartość netto (NPV) różnicy kosztu inwestycyjnego i ogrzewania w stosunku do MAX	24 267,61	17 086,11	15 286,66	6 495,92

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza pozwala jednoznacznie wskazać najkorzystniejszy pod względem ekonomicznym wariant rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego ścian budynku - jest to wariant oparty na pustaku Max. Wariant ten charakteryzuje się także wysokim komfortem cieplnym związanym z dużą stabilnością cieplną, która ogranicza wielkość wahań temperatury wewnętrznej.

Duża stabilność cieplna powoduje ograniczenie efektywności obniżeń temperatury. Pomimo tego, przy niewielkich różnicach w zapotrzebowaniu na ciepło między alternatywnymi rozwiązaniami, nie zmienia się wynik ekonomiczny analizy – decydująca jest różnica w koszcie inwestycji.

W sytuacji zmieniających się cen materiałów i usług budowlanych, oraz nośników cen energii, wyniki analizy mogą być różne w zależności od bieżącego stanu cen. Dlatego w praktycznych przypadkach powyższą analizę należy przeprowadzać w odniesieniu do konkretnych ofert rynkowych prezentujących bieżące uwarunkowania techniczno-cenowe.

6. LITERATURA

[1] Bzowska D, Kossecka E.: Analiza probabilistyczna dobowych danych pogodowych dla Warszawy. Prace IPPT 10/1992, Warszawa

[2] Baker N. Standeven M.: Thermal comfort for free – running buildings. Energy and Buildings Vol. 23 (1996), pp. 175-182

[3] Brager G.S.,de Dear R.J.: Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy and Buildings Vol. 27 (1998), pp. 83-96

[4] Kossecka E., Kośny J.: The effect of structure of insulation and mass distribution in exterior walls on the dynamic thermal performance of whole buildings. Comference Proceedings “Thermal Performance of the Exterior Envelopes of BuildingsVII”, Florida 1998

[5] Pełczyński J., Rybka A.: Symulacja procesów cieplnych w budynkach przy użyciu programu symulacyjnego Bsim2000. VII Vedecka Konferencja Stavebnej Fakulty, Koszyce 2002, 209-212.

[6] Wittchen K., Johnsen, K., Grau, K.: BSim2002 building simulation User's Guide, version 3.2.8.2. Danish Building Research Institute SBI. 1998-2002

THE ECONOMIC AND THERMAL EFFECTS OF THE CHOICE OF BUILDING MATERIAL SOLUTIONS ON THE EXAMPLE ONE-FAMILY HOUSE

SUMMARY

In the paper the results of thermal simulations for the one-family house in five variants of the solutions of external walls are presented together with economic analysis and the characterization of the conditions of the thermal comfort.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Joanna PIOTROWSKA, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Inżynierii Materiałowej
i Technologii Budownictwa
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: jpiotrowska@tlen.pl

Joanna KRASOŃ, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: jkras@prz.edu.pl

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYBRANYCH CECH TECHNICZNYCH CEGIEŁ PEŁNYCH NA PRZYKŁADACH OBIEKTÓW FORTECZNYCH TWIERDZY PRZEMYŚL

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej cech technicznych cegieł pełnych historycznych i współczesnych. Badania przeprowadzono na czterech reprezentatywnych obiektach, wchodzących w skład Twierdzy Przemyśl. Otrzymane wyniki mogą być przyczynkiem pomocnym w wyznaczeniu kierunków i sposobów napraw ceglanych obiektów Twierdzy Przemyśl.

1. WPROWADZENIE

Twierdzę Przemyśl jako zabytek i założenie urbanistyczne należy traktować jako całość. Tworzą ją wszystkie obiekty pierścienia wewnętrznego tzw. rdzenia, obiekty pierścienia zewnętrznego łącznie z infrastrukturą drogową, obiektami pomocniczymi oraz

dworcem kolejowym. Cechą wspólną większości dzieł fortecznych jest materiał budulcowy beton i cegła pełna.

Fot.1. Fort N XVIc „Trzy Krzyże”
Część zachodnia. Blokhauz –widok z zaplecza
Fot.1. Fort N XVIc „Trzy Krzyże”
Western part. Blockhouse – view from the back

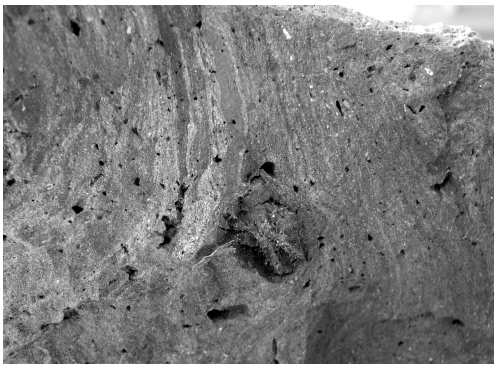
Fot.2. Fort IV „Optyń”. Fort pierścienia zewnętrznego. Zachowane fragmenty kaponiery szyjowej
Fot.2. Fort IV „Optyń”. Fort of outside ring. Remains fragments of neck arch fire point

Stan zachowania ceglanych budowli fortecznych Twierdzy jest bardzo zróżnicowany, od obiektów w zadowalającym stanie technicznym (np. blokhauz fortu N XVIc „Trzy Krzyże” (fot.1)) do budowli zagrażających bezpieczeństwu (kaponiera szyjowa fortu pancernego IV „Optyń”(fot.2)).
Przyczyny ich niszczenia wynikają między innymi z właściwości cegieł i zapraw użytych do budowy [1], usytuowania budowli w terenie, klimatu, długiego przeszło półwiecznego okresu rozbudowy Twierdzy oraz braku systematycznej dbałości o nią w czasach współczesnych.
Określenie cech zewnętrznych i wybranych parametrów fizycznych np. wytrzymałościowych cegieł, może być przyczynkiem pomocnym w wyznaczeniu kierunków i sposobów napraw ceglanych obiektów Twierdzy Przemyśl.

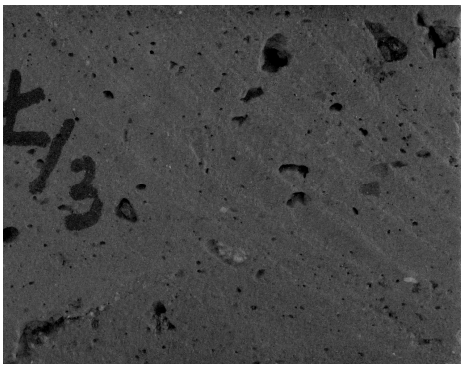
2. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH OBIEKTÓW TWIERDZY

Imponująca ilość ceglanych obiektów Twierdzy o urozmaiconej formie architektonicznej i zróżnicowanym stanie technicznym sprawia, że nie sposób przedstawić ich wszystkich jednocześnie.
Wybrano cztery reprezentatywne obiekty w celu porównania właściwości materiałowych: Fort III „Łuczyce”, Fort VIII „Łętownia”, budynek wartowni przy ul. Przemysława 25 i ruiny stajni dla chorych koni przy ul. Mogielnickiego. Z każdego obiektu pobrano losowo 3 cegły. Na pobranych próbkach wykonano przełomy w kierunku poprzecznym, prostopadłym do najdłuższego boku. Wyodrębniono dwa typy cegieł: typ I i typ II.
Typ I to cegły o barwie brunatnej z beżowymi wtrąceniami. Cechują się niejednorodnością struktury wewnętrznej. Masa ceramiczna jest niejednolita, porowata. Sprawia wrażenie źle

wyrobionej. W próbkach mogą występować zanieczyszczenia obce np. fragmenty liści, patyków (fot.3).
Typ II to cegły o barwie jednolitej, jednorodnej strukturze wewnętrznej ze znikomymi wtrąceniami obcymi (fot.4). Rodzaj i wyniki przeprowadzonych badań zestawiono w tabelach 1-4.



Fot.3. Przełom cegły typu I
Fot.3.Brick fracture type I

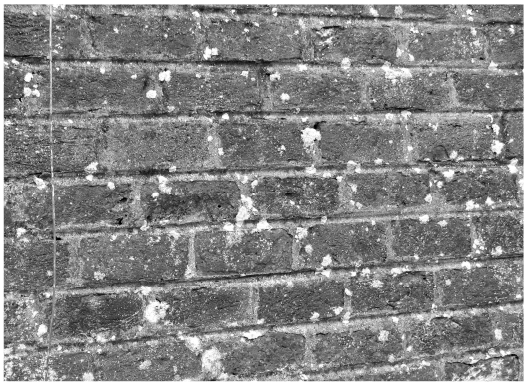


Fot.4. Przełom cegły typu II
Fot.4. Brick fracture type II

2.1. Fort III „Łuczyce”

Fort główny artyleryjski, jednowałowy pierścienia zewnętrznego, wybudowany w latach 1883-1886, zmodernizowany około1900 r.
Obiektem reprezentatywnym do badań były koszary szyjowe (fot.5). Badaniu poddano trzy losowo wybrane cegły. Próbki zachowują pierwotną zwięzłość, spoistość, nie kruszą się i nie rozwarstwiają. W murze nie występują w sposób luźny. Lico cegły nie złuszcza się (fot.6). Z pobranej próby dwie cegły Ł1 i Ł3 reprezentowały typ I (fot.3), jedna, Ł2 o barwie intensywnie pomarańczowej typ II (fot.4).

Fot.5. Koszary szyjowe fortu III „Łuczyce”. Widok ogólny
Fot.5. Neck barracks fortu III „Łuczyce”. General view



Fot.6. Koszary szyjowe fortu III „Łuczyce”. Zwarta struktura muru
Fot.6. Neck barracks fortu III „Łuczyce”. Brick dense structure

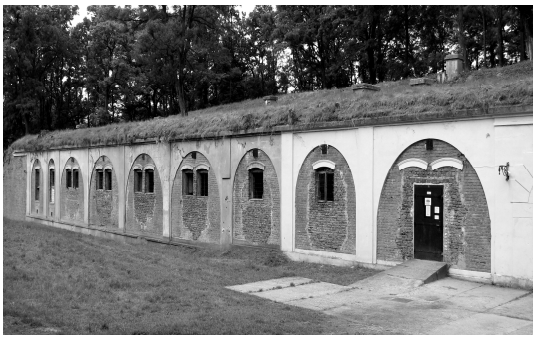
Wyniki przeprowadzonych badań zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników dla cegieł z koszar szyjowych fortu III „Łuczyce”
Table 1. Comparing results for neck barracks bricks of fort III „Łuczyce”

Numer próbki	Nasiąkliwość [%]	Ciężar objętościowy [g/cm^3]	Ciężar właściwy [g/cm^3]	Porowatość [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Ł1	12,67	1,93	2,67	27,7	18,6
Ł2	16,73	1,83	2,63	30,7	9,7
Ł3	13,87	1,91	2,66	28,2	11,6
Obliczona wartość średnia (błąd graniczny średniej dla $t_{(0,05;2)}$)					
Ł śr.	14,42 ± 5,2	1,89± 0,1	2,65± 0,1	28,87± 4,0	13,3± 11,6
Dopuszczalne wartości normowe					
	6÷22	1,00÷2,00 (1,8÷1,95)[4]	2,7 [4]	-	9,3÷18,5

2.2 Fort VIII „Łętownia”

Fort główny artyleryjski jednowałowy pierścienia zewnętrznego. Wybudowany w latach 1881-1882. Fort betonowy, w którym łukowe sklepienia od strony zapola były wypełnione cegłami. W wypełnieniach tych znajdowały się otwory okienne i drzwiowe (fot.7). Obecnie ubytki zabytkowego muru wypełniane są cegłą współczesną, która pełni jedynie rolę tymczasowego zabezpieczenia przed czynnikami zewnętrznymi (fot.8).



Fot.7. Koszary szyjowe Fortu VIII „Łętownia”. Widok ogólny
Fot.7. Neck barracks Fortu VIII „Łętownia”. General view

Fot.8. Łukowe, betonowe sklepienie Fortu VIII „Łętownia” z wypełnieniem ceglanym.
Fot.8. Arc, concrete vault Fortu VIII „Łętownia” with brick fill.

Pobrano trzy próbki. Dwie L1, L2 typu I, o barwie brunatnej ze szczątkowymi wtrąceniami obcymi o zwartej porowatej, strukturze. Jedna cegła L3 typu II posiadała barwę brunatną i jednolitą strukturę. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników dla cegieł z koszar szyjowych fortu VIII „Łętownia”
Table 2. Comparing results for neck barracks bricks of fort VIII „Łętownia”

Numer próbki	Nasiąkliwość [%]	Ciężar objętościowy [g/cm^3]	Ciężar właściwy [g/cm^3]	Porowatość [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
L1	15,21	1,99	2,58	22,9	13,8
L2	18,10	1,97	2,62	24,9	10,2
L3	15,53	1,99	2,59	23,2	18,5
Obliczona wartość średnia (błąd graniczny średniej dla $t_{(0,05;2)}$)					
L śr.	16,28±3,9	1,98±0,0	2,59±0,1	23,66±2,7	14,16±10,3
Dopuszczalne wartości normowe					
	6÷22	1,00÷2,00 (1,8÷1,95)[4]	2,7 [4]	-	9,3÷18,5

2.3. Wartownia przy ulicy Przemysława 25 w Przemyślu

Parterowy obiekt pomocniczy Twierdzy, obecnie w złym stanie technicznym (fot.9). Po wojnie został zaadaptowany do celów mieszkalnych [2]. Obiekt ten jak i wiele innych budynków pomocniczych tak istotnych z punktu widzenia właściwego funkcjonowania Twierdzy obecnie popadają w ruinę i zapomnienie.

Fot.9. Budynek wartowni. Obiekt pomocniczy. Widok ogólny
Fot.9. Watch room building. Subsidiary object. General view

Fot.10. Cegły z budynku wartowni
Fot.10. Watch room building bricks

Z budynku wartowni pobrano trzy próbki. Wszystkie zaliczono do typu II. Różniły się barwą, dwie z nich intensywnie pomarańczowe (W1, W2), jedna brunatna (W3) (fot.10). Parametry materiałowe zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie wyników dla cegieł z budynku wartowni
Table 3. Comparing results for watch room bricks

Numer próbki	Nasiąkliwość [%]	Ciężar objętościowy [g/cm^3]	Ciężar właściwy [g/cm^3]	Porowatość [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
W1	19,8	1,66	2,82	41,3	14,0
W2	20,25	1,67	2,82	41,3	14,3
W3	24,76	1,54	2,65	41,4	15,2
Obliczona wartość średnia (błąd graniczny średniej dla $t_{(0,05;2)}$)					
W śr.	21,6±6,8	1,62±0,2	2,76±0,2	41,33±0,1	14,5±1,6
Dopuszczalne wartości normowe					
	6÷22	1,00÷2,00 (1,8÷1,95)[4]	2,7 [4]	-	9,3÷18,5

2.4. Pozostałości stajni dla chorych koni przy ul. Mogielnickiego w Przemyślu

Wśród zachowanych fragmentów budynku pomocniczego Twierdzy widoczne są pozostałości ceglanych, poprzecznych ścian konstrukcyjnych [2]. (fot.11).

Fot.11. Pozostałości stajni. Widoczne boksy dla koni
Fot.11. Remains of the stable. Boxes for horses

Badania wykonano na trzech próbkach. Zaliczono je do typu II. Zestawienie wyników podano w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie wyników dla cegieł ze stajni
Table 4. Comparing results for stable bricks

Numer próbki	Nasiąkliwość [%]	Ciężar objętościowy [g/cm^3]	Ciężar właściwy [g/cm^3]	Porowatość [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
S1	18,11	1,73	2,64	34,5	18,6
S2	17,78	1,74	2,68	35,0	13,2
S3	18,22	1,72	2,63	34,6	20,2
Obliczona wartość średnia (błąd graniczny średniej dla $t_{(0,05;2)}$)					
S śr.	18,04±0,6	1,73±0,0	2,65±0,1	34,7±0,7	17,33±9,1
Dopuszczalne wartości normowe					
	6÷22	1,00÷2,00 (1,8÷1,95)[4]	2,7 [4]	-	9,3÷18,5

3. WNIOSKI

Wartości średnie (błąd graniczny średniej dla $t_{(0,05;2)}$) dla cegły historycznej i współczesnej zestawiono w tabeli 5.

Wartości średnie dla cegły współczesnej określono dla 3 próbek pobranych losowo z partii 100 cegieł, produkowanych maszynowo. Cegły posiadały spękania powierzchniowe

i liczne zadziory na krawędziach. Charakteryzowały się jednolitą strukturą i jednolitą barwą przełomu.

Tabela 5. Zestawienie wyników średnich dla cegieł z wybranych obiektów i cegły współczesnej
Table 5. Comparing average results for bricks from select buildings and contemporary brick

Numer próbki	Nasiąkliwość [%]	Ciężar objętościowy [g/cm^3]	Ciężar właściwy [g/cm^3]	Porowatość [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Ł śr.	14,42 ± 5,2	1,89± 0,1	2,65± 0,1	28,87± 4,0	13,30± 11,6
L śr.	16,28±3,9	1,98±0,0	2,59±0,1	23,66±2,7	14,16±10,3
W śr.	21,60±6,8	1,62±0,2	2,76±0,2	41,33±0,1	14,50±1,6
S śr.	18,04±0,6	1,73±0,0	2,65±0,1	34,70±0,7	17,33±9,1
Obliczone wartości średnie dla cegły współczesnej (błąd graniczny średniej dla $t_{(0,05;2)}$)					
Współ.	17,16±2,3	1,76±0,1	2,67±0,1	34,03±4,9	17,33±14,9
Dopuszczalne wartości normowe					
	6÷22	1,00÷2,00 (1,8÷1,95)[4]	2,7 [4]	-	9,3÷18,5

Otrzymane wyniki, szczególnie badanie wytrzymałości cegieł na ściskanie, cechują się dużym rozrzutem. Prawdopodobnie ma to związek z różnorodnym składem mineralnym gliny użytej do produkcji cegieł i różnorodnością technologii stosowanych przez lokalnych producentów w długim przeszło półwiecznym okresie rozbudowy Twierdzy.
Stwierdzono, że wyodrębnione typy cegieł I i II nie mają istotnego wpływu na wyniki wytrzymałościowe. Dodatkowo nie istnieje wyraźna zależność pomiędzy ciężarem objętościowym, a wytrzymałością na ściskanie.
Określenie wytrzymałości cegieł na ściskanie powinno być przeprowadzone na większej ilości próbek, ponieważ wyniki otrzymane z trzech cegieł są niemiarodajne. W przypadku cegły historycznej wiąże się to z koniecznością niszczenia zabytkowej tkanki.
Rozbieżność wyników pomiędzy badanymi obiektami Twierdzy wskazuje na konieczność indywidualnego podejścia do każdego z nich z osobna.
Na koniec należy stwierdzić, że cegła historyczna pomimo upływu czasu posiada zadowalające parametry techniczne porównywalne z cegłą obecnie produkowaną.

4. PODSUMOWANIE

Warunkiem skutecznej ochrony Twierdzy Przemyśl będzie jej właściwe użytkowanie i udostępnianie publiczne, co wymusza bieżącą konserwację i remonty [3]. Działania te muszą być kompleksowe i powinny dotyczyć wszystkich obiektów wchodzących w skład Twierdzy. Zmagania te warto poprzedzić badaniami materiałowymi cegieł i za-

praw. Mają one służyć polepszeniu i/lub przywróceniu pierwotnych właściwości oryginalnych materiałów i zabezpieczeniu ich przed dalszym niszczeniem.

Niestety w wielu obiektach zachowały się szczątki lub nie zachowały się wcale ceglane wypełnienia (fot.12). Stan ten wymusza prowadzenie badań również nad cegłą współczesną jako materiałem umożliwiającym uzupełnienia lub/i odtworzenia pierwotnego wyglądu obiektów objętych ochroną konserwatorską.

Fot.12. Fort V „Grochowce". Koszary szyjowe prawego skrzydła
Fot.12. Fort V „Grochowce". Right wing neck barracks

5. LITERATURA

[1] Domasłowski W., Kęsy-Lewandowska M., Łukaszewicz J.W.; Badania nad konserwacją murów ceglanych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń 2004 r.
[2] Gosztyła M., Lichołai L.; Techniki realizacyjne obiektów budowlanych Twierdzy Przemyśl. Zeszyty Naukowe PRz, nr 246, Rzeszów 2007 r.
[3] Kozarski P., Molski P.; Zagospodarowanie i konserwacja zabytkowych budowli. Towarzystwo Przyjaciół Fortyfikacji. Warszawa 2001 r.
[4] Lichołai L., Szalach A.; Materiały budowlane i ich badania laboratoryjne. Politechnika Rzeszowska. Rzeszów 2005.
[5] PN-B-12050 Wyroby budowlane ceramiczne. Cegła pełna.
[6] PN-70-B-12016 Wyroby ceramiki budowlanej. Badania techniczne.
[7] PN-EN-772-1 Metody badań elementów murowych. Cz.1: Określenie wytrzymałości na ściskanie.
[8] PN-EN-772-13 Metody badań elementów murowych. Cz.13: Określenie gęstości netto i gęstości brutto elementów murowych w stanie suchym.
[9] PN-EN-771-1 Wymagania dotyczące elementów murowych. Cz.1: Elementy murowe ceramiczne.

[10] PN-76-B-06714 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczania gęstości w kolbie Le Chateliera.

Fotografie 9, 10, 11 – autor: dr hab. inż. Lech Lichołai, prof. PRz.
Fotografie 1-8, 12 – autor: mgr inż. Joanna Piotrowska

COMPARATIVE ANALYSIS OF CHOSEN TECHNICAL STAMPS OF SOLID BRICK ON EXAMPLES OF FORTRESS OBJECTS OF THE STRONGHOLD PRZEMYŚL

SUMMARY

The article shows results of the historical and contemporary comparative analysis of technical stamps of solid brick. Examinations were carried out on four representative objects composing the Stronghold Przemyśl.

Received results can be a helpful base in appointing directions of ways of objects of the Stronghold Przemyśl brick repairs.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Vyacheslav PISAREV dr hab. inż.
Michał KOMENDA

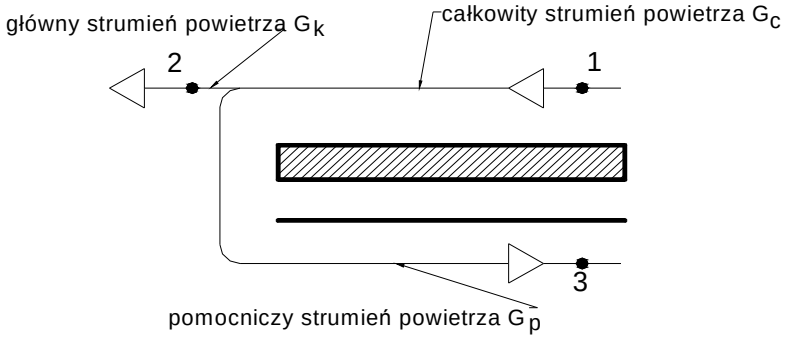
Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
ul. Wincentego Pola 2. 35-959 Rzeszów

SPLIT-SYSTEM Z URZĄDZENIEM CHŁODZĄCYM Z ODPAROWANIEM POŚREDNIM

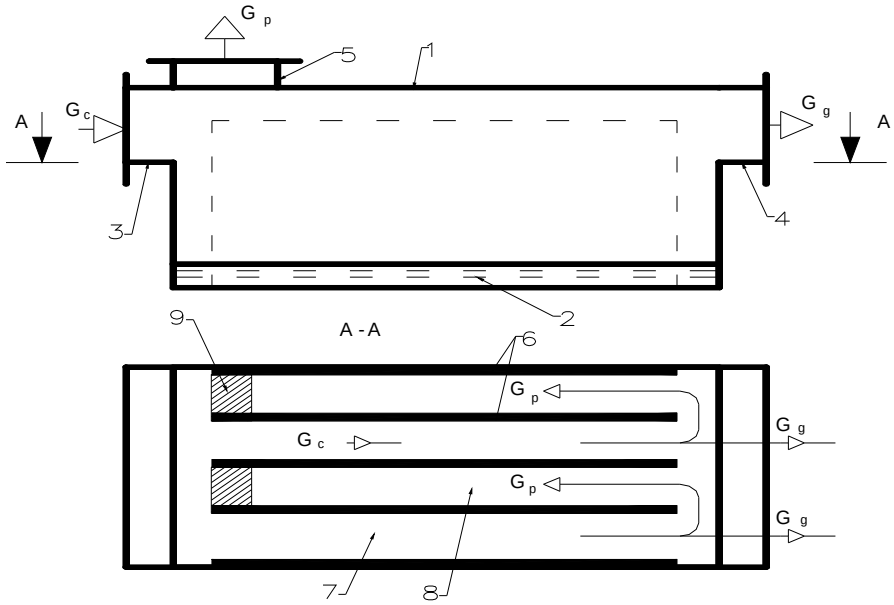
W referacie przedstawiono analizę współpracy klimatyzatora typu split z urządzeniem chłodniczym z odparowaniem pośrednim do celów wentylacji pomieszczeń domku jednorodzinnego lub stworzenia mikroklimatu zewnętrznego.

1. WSTĘP

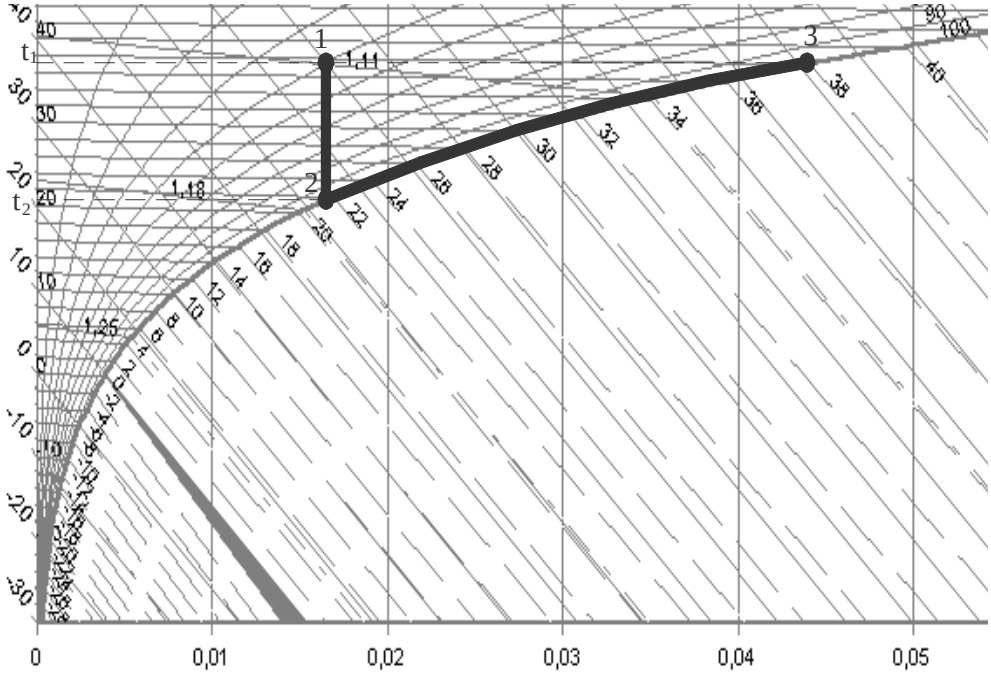
W urządzeniach chłodzących z odparowaniem pośrednim źródłem do wytwarzania chłodu jest stan nierównowagi termodynamicznej w systemie powietrze-woda. Stan ten określa różnica temperatur (t_s-t_m), gdzie t_s - temperatura suchego termometru, t_m - temperatura wilgotnego termometru. Dla realizacji procesów transportu ciepła i wilgoci, przy ochładzaniu z odparowaniem pośrednim, niezbędne jest dysponowanie dwoma strumieniami: strumieniem powietrza całkowitego oraz strumieniem pomocniczym. Strumień, od którego ciepło jest odprowadzane drogą konwekcji przez rozdzielającą strefy ściankę wymieniającą ciepło w wyniku bezpośredniego kontaktu z wodą, to strumień całkowity. Natomiast strumień pomocniczy to strumień, do którego w skutek ciepła jakie jest odprowadzane przez ściankę rozdzielającą oba te strumienie, zostaje odparowana woda. Działanie urządzenia z zastosowaniem regeneracji ciepła (za pomocą regeneracyjnej chłodnicy powietrza z odparowaniem pośrednim – RCP) polega na tym, że całkowity dopływający strumień G_c ochładza się w kontakcie z suchą powierzchnią ścianki, po czym jedna jego część (strumień główny – G_k), wykorzystywana jest zgodnie z jego przeznaczeniem. Druga część strumienia (pomocniczy strumień – G_p) przepływa w przeciwprądzie, po drugiej stronie ścianki wymieniającej ciepło, która jest zwilżona przez odparowującą wodę [1]. Sposobem realizacji takiego procesu są schematy pokazane na rys. 1 i rys. 2, na rys. 3 [1] przedstawiono procesy zmiany stanu powietrza na wykresie i-x.



Rys.1. Schemat urządzenia RCP [1]
Fig.1. The schema RCP



Rys.2. Schemat urządzenia RCP z wilgotnym kanałem, 1 - korpus, 2 - wanna z wodą, 3 - króciec na dopływie na dopływie strumienia całkowitego, 4 - króciec na wyjściu głównego strumienia powietrza, 5 - króciec na wyjściu pomocniczego strumienia powietrza, 6 - ścianki wymieniające ciepło, 7 - suchy kanał, 8 - mokry kanał, 9 - zaślepka [1]
Fig.2. The schema RCP with the moist channel, 1 - corps, 2 - the bath with water, 3 - stub pipe on the inflow of the entire stream, 4 - stub pipe on the exit of main the air stream, 5 - stub pipe on the exit of auxiliary the air stream, 6 - sides exchanging warmly, 7 - the dry channel, 8 - the wet channel, 9 - obturator [1]



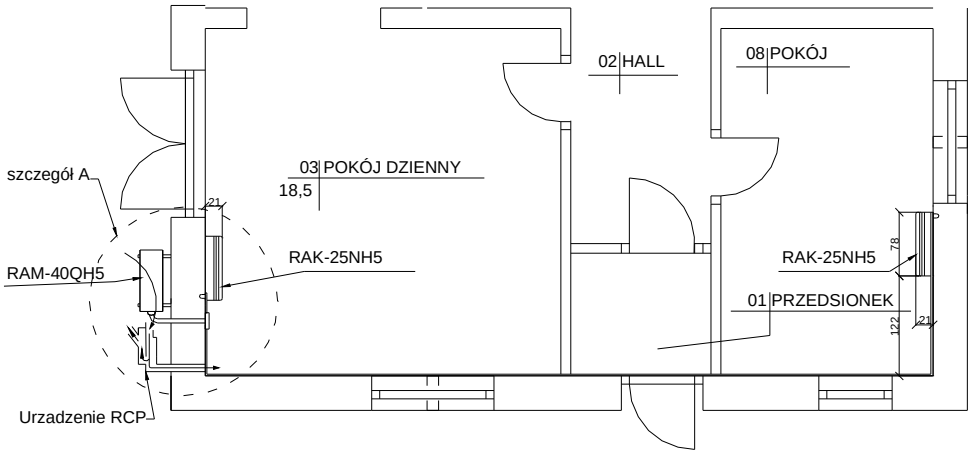
Rys.3. Schemat procesu uzdatniania powietrza podczas odparowania pośredniego: t_1-temperatura strumienia po opuszczeniu skraplacza, t_2-temperatura strumienia kierowanego z powrotem do pomieszczenia, punkty 1-3 odpowiadają punktom 1-3 na rys.1
Fig.3. The schema of the process qualifying of air: t_1-temperature of stream after the condenser, t_2-temperature of stream lead to room, the points 1-3 answer points 1-3 on fig.1

2. DANE WSTĘPNE DO MODERNIZACJI SPLIT-SYSTEMU POMIESZCZENIA

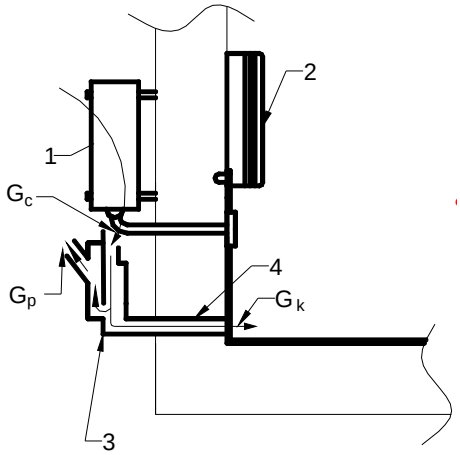
System klimatyzacji split-system zastosowano dla pomieszczeń w domku jednorodzinnym. Powierzchnia klimatyzowanych pomieszczeń wynosi 29.58m^2, są to 2 pokoje, w których założono temperaturę obliczeniową 23°C w lecie wg [2]. Parametry powietrza zewnętrznego przyjęto dla lata T_z=30°C i φ=45% wg [3].

Dla pokoi znajdujących się na parterze zastosowano jedną jednostkę zewnętrzną firmy HITACHI model RAM-40QH5 [4], na moc chłodniczą, obliczoną zgodnie z metodami [5], 2.15kW, obsługującą dwie jednostki wewnętrzne po jednej w każdym pokoju, model RAK-25NH5 [4]. Jednostka zewnętrzna z wewnętrznymi połączona jest przewodami gazowym i cieczowym w znajdującymi się w kanale osłonowym z PVC. Urządzenie RCP znajduje się za skraplaczem jednostki zewnętrznej w sposób przedstawiny na rys. 4.

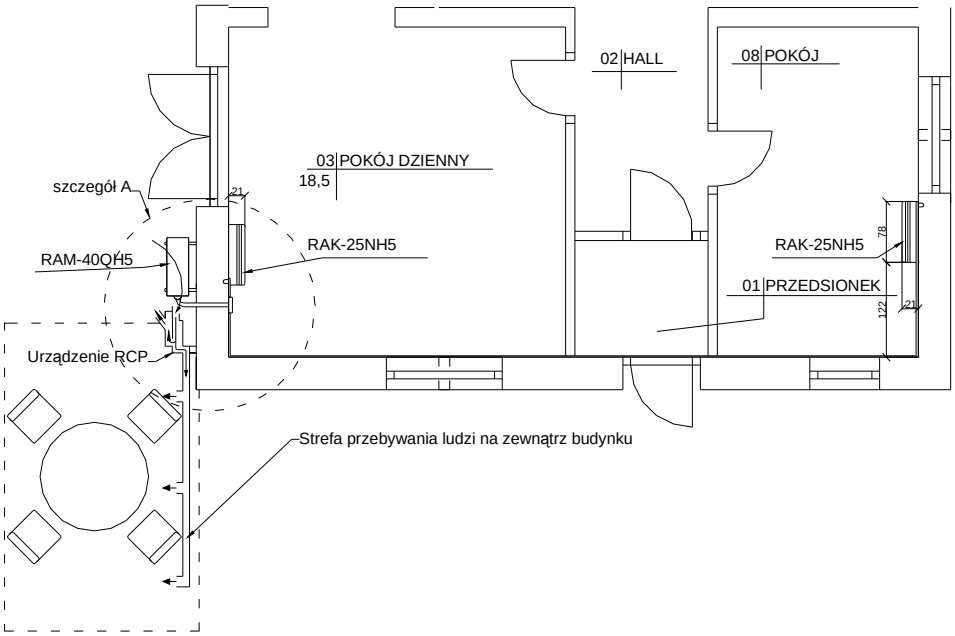
Rozpatrzono dwie możliwości wykorzystania głównego strumienia powietrza wychodzącego z regeneracyjnej chłodnicy powietrza z odparowaniem pośrednim, mianowicie wykorzystanie strumienia do wentylacji pomieszczenia, rys. 4 i rys. 5, oraz w celu stworzenia strefy komfortu cieplnego, na zewnątrz budynku, w miejscu przebywania ludzi, rys. 6 i rys. 7.



Rys.4. Schemat instalacji split-systemu z wykorzystaniem urządzenia chłodniczego z odparowaniem pośrednim dla celów wentylacji pomieszczenia
Fig.4. The schema of instalation of split system with indirect evaporative cooling unit for room ventilation

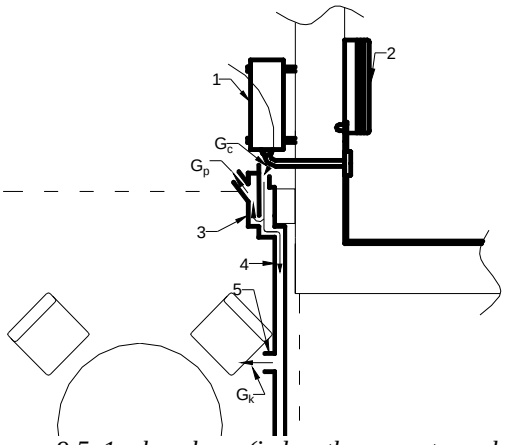


Rys.5. Szczegół A z rys.4, 1 - skraplacz, (jednostka zewnętrzna klimatyzatora split), 2 - parownik, (jednostka wewnętrzna klimatyzatora split), 3 - regeneracyjna chłodnica powietrza z odparowaniem pośrednim- RCP, 4 - przewód doprowadzający uzdatnione powietrze do pomieszczenia
Fig.5. The detail A from fig.4. 1 - condenser, 2 - Evaporator, 3 - indirect evaporative cooling unit-RCP, 4 - pipe for bring air to the room



Rys.6. Schemat instalacji split-systemu z wykorzystaniem urządzenia chłodniczego z odparowaniem pośrednim dla celów stworzenia komfortu cieplnego na zewnątrz budynku, w miejscu przebywania ludzi

Fig.6. The schema of instalation of split system with indirect evaporative cooling unit for outside area ventilation



Rys.7. Szczegół A z rys. 9.5, 1- skraplacz, (jednostka zewnętrzna klimatyzatora split), 2 - parownik, (jednostka wewnętrzna klimatyzatora split), 3 - regeneracyjna chłodnica powietrza z odparowaniem pośrednim - RCP, 4 - przewód doprowadzający uzdatnione powietrze do strefy przebywania ludzi na zewnątrz pomieszczenia, 5 - nawiewnik

Fig.7. The detail A from fig.4. 1 - condenser, 2 - Evaporator, 3 - indirect evaporative cooling unit-RCP, 4- pipe for bring air to the outside area, 5 - inlet grill

3. ANALIZA WYKORZYSTANIA REGENERACYJNEJ CHŁODNICY POWIETRZA Z ODPAROWANIEM POŚREDNIM

Stosując urządzenie chłodnicze z odparowaniem pośrednim w połączeniu ze skraplaczem klimatyzatora split-system, można zmniejszyć wydajności systemu wentylacji w pomieszczeniu lub stworzyć strefę komfortu cieplnego na zewnątrz budynku, w miejscu przebywania ludzi.

Stosunek głównego strumienia powietrza G_k i pomocniczego strumienia powietrza G_p można obliczyć z bilansu cieplnego urządzenia RCP [1]:

$$(i_1-i_2)*G_k=(i_3-i_1)*G_p, \quad (1)$$

skąd:

$$G_k/G_p=(i_3-i_1)/(i_1-i_2), \quad (2)$$

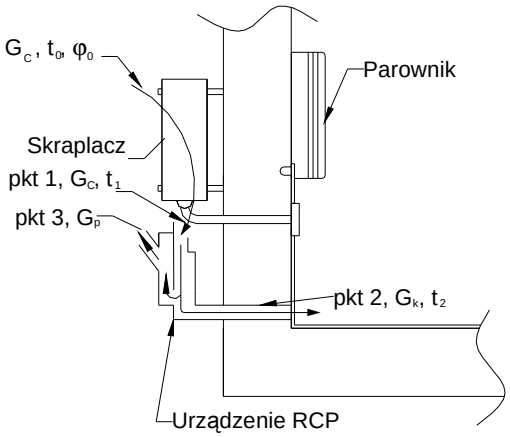
gdzie:

i_1-entalpia w punkcie 1 (za skraplaczem, przed urządzeniem RCP) [kJ/kg] (rys.3),

i_2-entalpia w punkcie 2 (powietrza kierowanego do pomieszczenia, głównego strumienia) [kJ/kg] (rys.3),

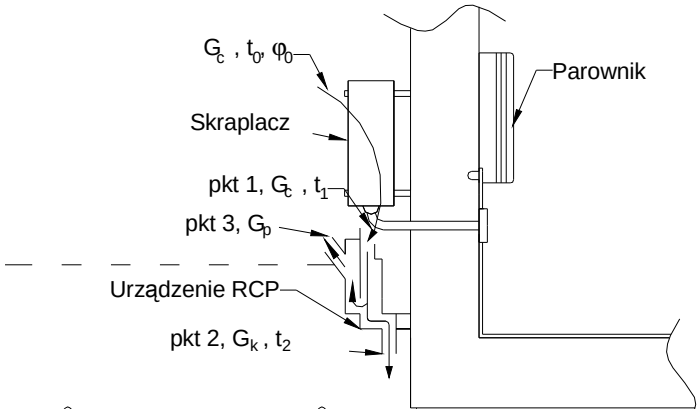
i_3-entalpia w punkcie 3 (pomocniczego strumienia powietrza) [kJ/kg] (3).

Na podstawie schematu obliczeniowego (rys.8, rys.9), rozpatrzono cztery przypadki zmiany parametrów powietrza oraz odpowiadającym im zmianą strumienia powietrza w urządzeniu RCP.



Rys.8. Schemat obliczeniowy split-systemu z wykorzystaniem urządzenia chłodniczego z odparowaniem pośrednim dla celów wentylacji pomieszczenia. Punkty 1-3 odpowiadają punktom na rys.1, G_c- strumień całkowity, G_p- strumień pomocniczy, G_k - strumień główny, t_o - temperatura powietrza zewnętrznego, φ_o- wilgotność powietrza zewnętrznego, t_1 - temperatura powietrza na wyjściu ze skraplacza, t_2 - temperatura strumienia głównego

Fig.8.The schema of instalation of split system with indirect evaporative cooling unit for room ventilation , the points 1-3 answer points 1-3 on fig. 2, G_c-the transfluent air stream the condenser, G_p- the auxiliary stream, G_k-the main stream, t_o-the temperature of outside air, φ_o- the relative humidity of outside air, t_1-the temperature of air after the condenser, t_2 - temperature of the main stream



Rys.9. Schemat obliczeniowy split-systemu z wykorzystaniem urządzenia chłodniczego z odparowaniem pośrednim dla celów stworzenia komfortu cieplnego na zewnątrz budynku, w miejscu przebywania ludzi. Punkty 1-3 odpowiadają punktom na rys.1, G_c- strumień całkowity, G_p- strumień pomocniczy, G_k- strumień główny, t_o- temperatura powietrza zewnętrznego, φ_o- wilgotność powietrza zewnętrznego, t_1- temperatura powietrza na wyjściu ze skraplacza, t_2- temperatura strumienia głównego

Fig.9. The schema of instalation of split system with indirect evaporative cooling unit for outside area ventilation , the points 1-3 answer points 1-3 on fig. 2, G_c-the transfluent air stream the condenser, G_p- the auxiliary stream, G_k-the main stream, t_o-the temperature of outside air, φ_o- the relative humidity of outside air, t_1-the temperature of air after the condenser, t_2- temperature of the main stream

Obliczenia wielkości G_p i G_k wykonano dla jednostki zewnętrznej firmy HITACHI model RAM-40QH5 [4], o przepływie powietrza przez skraplacz wg [4] $G_c = G_p + G_k = 22[m^3/min] = 1620[m^3/h]$ i pracującej w zakresie mocy chłodniczych 1-4,5 kW.

I wariant:

Dla powietrza zewnętrznego napływającego do skraplacza o temperaturze $t_{o1}=27^oC$ i wilgotności $\varphi_{o1}=60\%$:

a) powietrze w skraplaczu ogrzewa się do temperatury $t_1=40\ ^oC$ i zgodnie z wykresem Molliera (rys.10), otrzymano: $\varphi_1=29\%$, $i_1=74{,}7kJ/kg$, $i_2=52{,}6kJ/kg$, $i_3=165{,}9kJ/kg$, temperatura powietrza nawiewanego do pomieszczenia $t_2=18{,}5^oC$, podstawiając do wzoru (2) otrzymano:

Gk/Gp=4,127.

Z poniższego układu równań obliczone zostały wartości G_p i G_k:

$$\begin{cases} G_k + G_p = 1620[m^3/h] \\ \dfrac{G_k}{G_p} = 4{,}127 \end{cases}$$

G_p =316,0[m^3/h]; G_k=1304,0 [m^3/h].

b) powietrze w skraplaczu ogrzewa się do temperatury $t_{1'}$=45 ^oC i zgodnie z wykresem Molliera (rys.11), otrzymano: $\varphi_{1'}$=22,3 %, $i_{1'}$=79,8kJ/kg, $i_{2'}$=52,6kJ/kg, $i_{3'}$=213kJ/kg, temperatura powietrza nawiewanego do pomieszczenia $t_{2'}$=18,5^oC, podstawiając do wzoru (2) otrzymano:

Gk/Gp=4,897.

Z poniższego układu równań obliczone zostały wartości G_p i G_k:

$$\begin{cases} G_k + G_p = 1620[m^3/h] \\ \dfrac{G_k}{G_p} = 4{,}897 \end{cases}$$

G_p =274,7[m^3/h]; G_k=1345,3[m^3/h].

II wariant:

Dla powietrza zewnętrznego napływającego do skraplacza o temperaturze t_{o2}=32^oC i wilgotności φ_{o2}=80%:

c) powietrze w skraplaczu ogrzewa się do temperatury t_1=40 ^oC i zgodnie z wykresem Molliera (rys.12), otrzymano: φ_1=51,6%, i_1=102,7kJ/kg, i_2=90,3kJ/kg, i_3=165,9kJ/kg, temperatura powietrza nawiewanego do pomieszczenia t_2=28,1 ^oC, podstawiając do wzoru (2) otrzymano:

Gk/Gp=5.097.

Z poniższego układu równań obliczone zostały wartości G_p i G_k:

$$\begin{cases} G_k + G_p = 1620[m^3/h] \\ \dfrac{G_k}{G_p} = 5{,}097 \end{cases}$$

G_p =265,7 [m^3/h]; G_k=1354,3 [m^3/h].

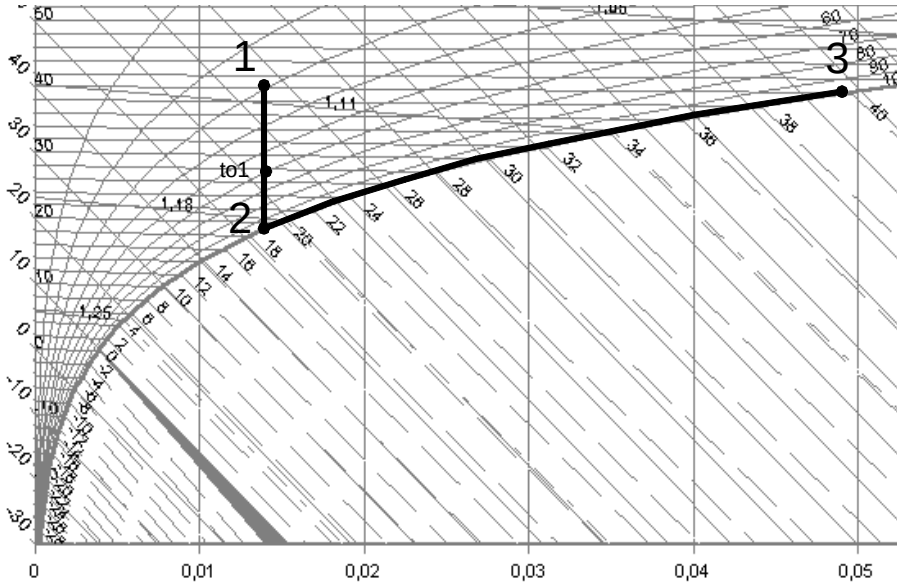
d) powietrze w skraplaczu ogrzewa się do temperatury $t_{1'}$=45^oC i zgodnie z wykresem Molliera (rys.13), otrzymano: $\varphi_{1'}$=39,8%, $i_{1'}$=108kJ/kg, $i_{2'}$=90,3kJ/kg, $i_{3'}$=213kJ/kg, temperatura powietrza nawiewanego do pomieszczenia $t_{2'}$=28.1^oC, podstawiając do wzoru (2) otrzymano:

Gk/Gp=5,932.

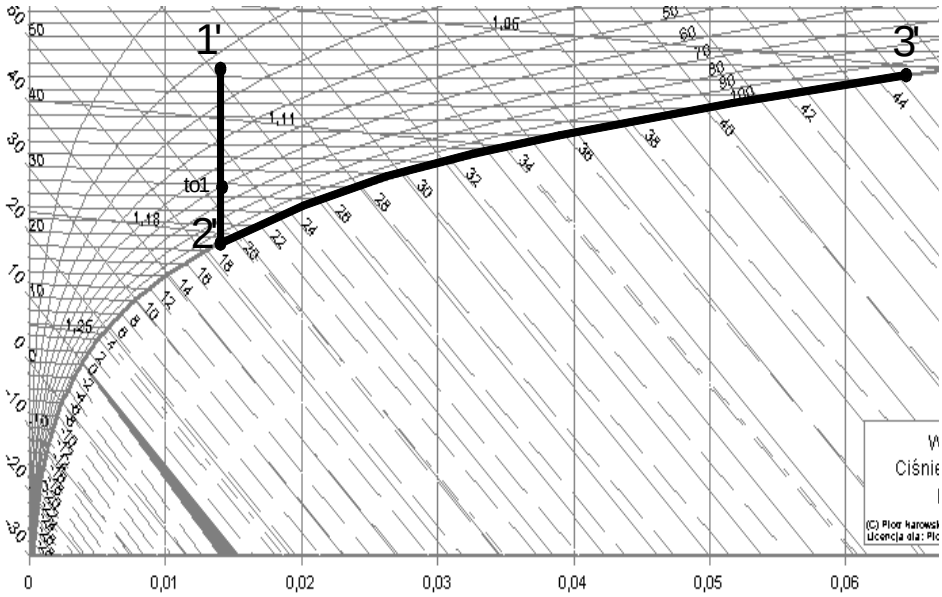
Z poniższego układu równań obliczone zostały wartości G_p i G_k:

$$\begin{cases} G_k + G_p = 1620[m^3/h] \\ \dfrac{G_k}{G_p} = 5{,}932 \end{cases}$$

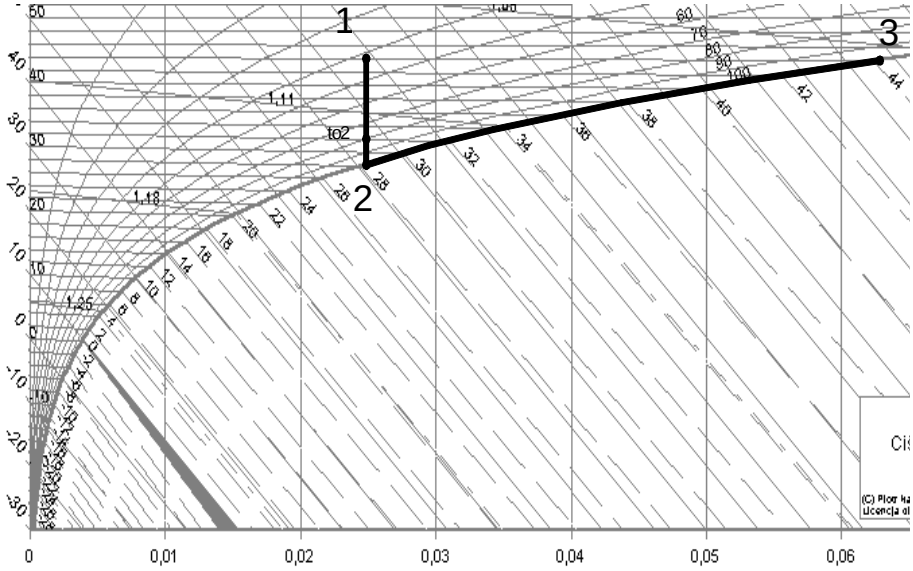
G_p =233,7[m^3/h]; G_k=1386,3 [m^3/h].



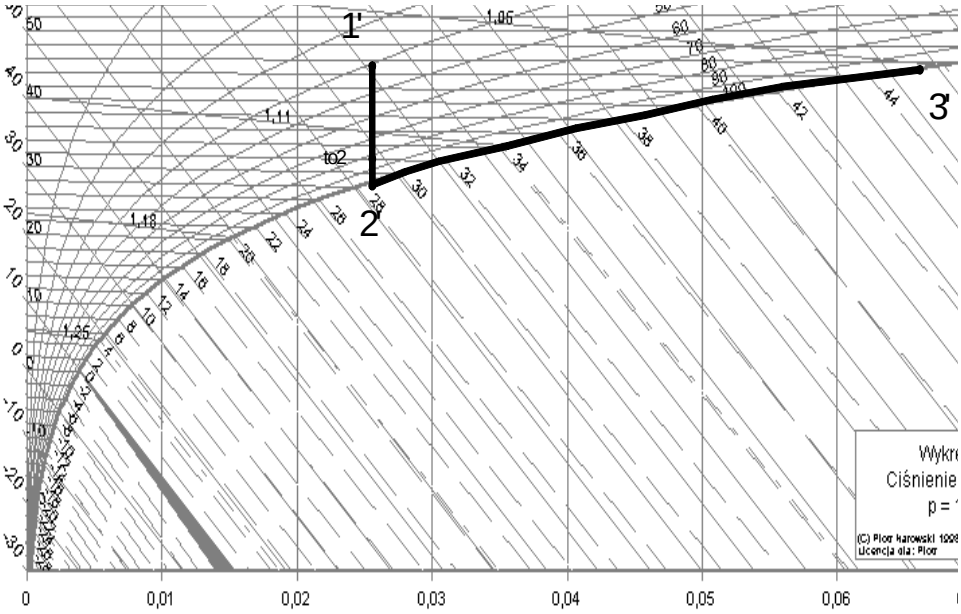
Rys.10. Proces uzdatniania powietrza dla parametrów podpunktu a)
Fig.10. The process of the process qualifying of air, for point a)



Rys.11. Proces uzdatniania powietrza dla parametrów podpunktu b)
Fig.11. The process of the process qualifying of air, for point b)



Rys.12. Proces uzdatniania powietrza dla parametrów podpunktu c)
Fig.12. The process of the process qualifying of air, for point c)



Rys.13. Proces uzdatniania powietrza dla parametrów podpunktu d)
Fig.13. The process of the process qualifying of air, for point d)

W tab.1 zebrano wyniki obliczeń wielkości strumienia pomocniczego G_p oraz strumienia głównego G_k, dla powyższych przypadków.

Tab.1. Zestawienie G_P I G_K dla różnych przypadków
Tab.1. Compare G_P I G_K for difrents accidents

wariant		t_o/φ_o-temperatura/ wilgotność powietrza napływającego do skraplacza	t_1- temperatura całkowitego strumienia powietrza za skraplaczem	t_2- temperatura głównego strumienia powietrza kierowanego do pomieszczenia	t_3- temperatura pomocniczego strumienia powietrza	G_k/G_p	G_c - całkowity strumień powietrza [m^3/h]	G_k- główny strumień powietrza kierowany do pomieszczenia [m^3/h]	G_p- pomocniczy strumień powietrza [m^3/h]
I	a)	27°C/60%	40°C	18,5°C	40°C	4,127	1620	1304,0	316,0
	b)	27°C/60%	45°C	18,5°C	45°C	4,897	1620	1345,3	274,7
II	c)	32°C/80%	40°C	28,1°C	40°C	5,097	1620	1354,3	265,7
	d)	32°C/80%	45°C	28,1°C	45°C	5,932	1620	1386,3	233,7

4. WNIOSKI

Z obliczeń wynika ze zastosowanie regeneracyjnej chłodnicy powietrza przy jednostce zewnętrznej klimatyzatora typu split pozwoli na skierowanie do pomieszczenia znacznej ilości powietrza. Obliczony główny strumień powietrza, dla rozpatrywanego klimatyzatora zmienia się w granicach od 1304 m^3/h do 1386,3 m^3/h, z 1620m^3/h - całkowitego strumienia. Są to zbyt duże wielkości, w porównaniu z wymaganą ilością (tzw. minimum higienicznym) powietrza wentylacyjnego na przykładzie klimatyzowanego pomieszczenia mieszkalnego, w którym znajdują się 2 osoby, obliczoną wg [6] i równą 80m^3/h. Więc w przypadku rozpatrywanego klimatyzatora, nie można wykorzystać całego strumienia powietrza głównego do wentylacji pomieszczenia. Ochłodzony strumień powietrza można wykorzystać do stworzenia komfortu cieplnego na zewnątrz budynku w miejscu przebywania ludzi np. w ogrodzie lub na tarasie (rys.6).

Zalety zastosowanego rozwiązania:

- możliwość wentylacji pomieszczenia powietrzem o temperaturze niższej niż temperatura zewnętrzna,
- możliwość stworzenia mikroklimatu w strefie przebywania ludzi na zewnątrz budynku np. na tarasie, w ogrodzie,
- małe zużycie energii przez samo urządzenie RCP,
- nieuciążliwa i tania eksploatacja instalacji,
- łatwość montażu i obsługi,
- technologia przyjazna dla środowiska.

Wady zastosowanego urządzenia:

- za duży strumień powietrza używanego do wentylacji pomieszczenia i związana z tym konieczność zastosowania instalacji rozdzielającej strumień powietrza do kilku pomieszczeń,
- wielkość strumienia powietrza zawracanego do pomieszczenia zależna od wydajności wentylatora skraplacza klimatyzatora split,
- hałas.

5. LITERATURA

[1] „Klimatyzatory przenośne współpracujące z urządzeniami chłodniczymi z odparowaniem pośrednim" dr hab. inż. Vyacheslav Pisarev prof. PRZ, Marzena Adamczyk, Pierwsza Międzynarodowa Konferencja Energii Słonecznej i Budownictwa Ekologicznego, ENERGIA ODNAWIALNA, Innowacyjne idee i technologie dla budownictwa, Solina 2006.

[2] PN-78/B-03421 „Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrzawewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi".

[3] PN-76/B-03420, „Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego".

[4] *www.tempcold.com.pl/hitachi/index2.html*, Karta katalogowa klimatyzatorów HITACHI.

[5] Malicki M. - Wentylacja i klimatyzacja, Wyd.3. Warszawa, PWN, 1980.

[6] System air „Wentylacja- materiały pomocnicze".

SPLIT- SYSTEM WITH INDIRECT EVAPORATIVE COOLING UNIT

SUMMARY

The paper contains calculation analysis cooperation of split-system air conditioner with indirect evaporative cooling units for room and outside area ventilation.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Aleksandra PROKOPSKA, dr hab.inż.arch.
Politechnika Rzeszowska
Zakład Urbanistyki i Architektury
ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów

Joanna PIOTROWSKA, mgr inż.
Politechnika Rzeszowska
Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów

WYBRANE PROBLEMY MATERIAŁOWE I ARCHITEKTONICZNE PROCESU REWITALIZACJI TWIERDZY PRZEMYŚL

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono aktualne problemy architektoniczne i materiałowe rewitalizacji Twierdzy Przemyśl. Fortyfikacyjne budowle tego historycznego kompleksu niszczeją i wymagają pilnej ochrony, odnowy i systematycznej rewitalizacji. Celem pracy jest zasygnalizowanie zróżnicowanych problemów materiałowych przedstawionych na przykładach fragmentów murów ceglanych (mikrostruktur) fortów Twierdzy Przemyśl.

1. WPROWADZENIE

Zgodnie ze strategią zrównoważonego rozwoju problemy rewitalizacyjne[1)] we współczesnych gospodarkach państw europejskich, dotyczą rewitalizacji tkanki miejskiej

---

[1)] Rewitalizacje to element rozwoju społecznego. Zakres pojęciowy jest szeroki, a cele związanych z nią działań zróżnicowane. Nie istnieje ścisły opis sztywnych reguł postępowania rewitalizacyjnego jako gwarancja na optymalną realizację procesów rewitalizacyjnych. W myśl projektu 'Ustawy o programach rewitalizacji' celem rewitalizacji jest doprowadzenie do rozwoju obszarów 'kryzysowych' poprzez realizację zarządzanych przez sektor publiczny programów i projektów.

jak również historycznych kompleksów militarnych i zajmowanych przez nie obszarów. Problematyka rewitalizacji Twierdzy Przemyśl jest aktualna i wymaga kompleksowego ujęcia wielu problemów składających się na funkcjonowanie zrewitalizowanego obiektu. Podobnie jak Twierdza Ulm[2)] (Rys.1) [1] w Niemczech, XIX-wieczna pierścieniowa Twierdza Przemyśl jest elementem dziedzictwa kulturowego Europy [2]. Podstawowymi materiałami Twierdzy Przemyśl, budowanej w latach: 1854-1914, był beton i cegła [1,2].

Rys. 1. Zrewitalizowany fort Twierdzy Ulm w Niemczech [Zdjęcie T. Idzikowski]
Fig.1. Stronghold Ulm in Germany [Picture T.Idzikowski]

Fortyfikacyjne budowle tego militarnego kompleksu niszczeją i wymagają pilnej ochrony, odnowy i systematycznej kompleksowej rewitalizacji. Miasto Przemyśl w ramach lokalnego planu rewitalizacji na lata 2005-2013 ujmuje Twierdzę Przemyśl w priorytetach działań rewitalizacyjnych. Konsekwencją tego jest powstały w 2007 roku program Planu Ochrony Zespołu Parków Kulturowych Krajobrazu Warownego Twierdzy Przemyśl [1] (Rys.2). Celem niniejszej pracy jest zasygnalizowanie wybranych problemów materiałowych w powiązaniu z problemami architektonicznymi tego kompleksu budowli militarnych.
Problemy i procesy rewitalizacji historycznych budowli oraz obszarów, w jakich się one znajdują są zróżnicowane i dotyczą wielu dziedzin wiedzy, między innymi: architektonicznej (w tym architektury krajobrazu) urbanistyki, konserwatorskiej, budowlanej, materiałowej, ekologicznej, społecznej, ekonomicznej, prawnej i wielu innych. Podejmowanie i realizacja programów rewitalizacji Twierdzy Przemyśl to sprawa szczególnie istotna ze względu na poprawę warunków życia w mieście i jego okolicach oraz jakości przestrzeni publicznej. Planowane i częściowo podejmowane prace rewitalizacyjne Twierdzy Przemyśl podobnie do innych działań tego typu będą się wiązać ze zmianami w układzie urbanistycznym i zagospodarowania tego historycznego założenia przestrzennego. Rewitalizację rozległego obszaru Fortów Twierdzy można analizować w dwóch aspektach: przestrzenno-urbanistycznym oraz techniczno-ekonomicznym, jako dotyczącym m.in. materiałów.

---

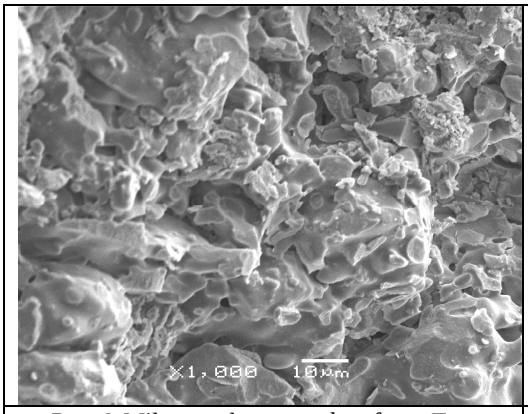
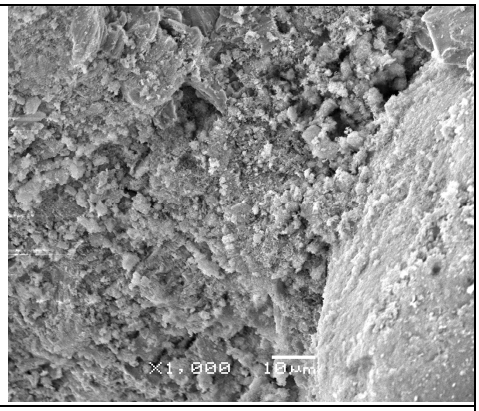
2) Całość zabudowy fortecznej twierdzy Ulm (Rys. 1) jest terenem spacerowym mieszkańców miasta. Budowle dawnych obiektów militarnych zostały zrewitalizowane i częściowo odbudowane oraz zaadaptowane do nowych funkcji.

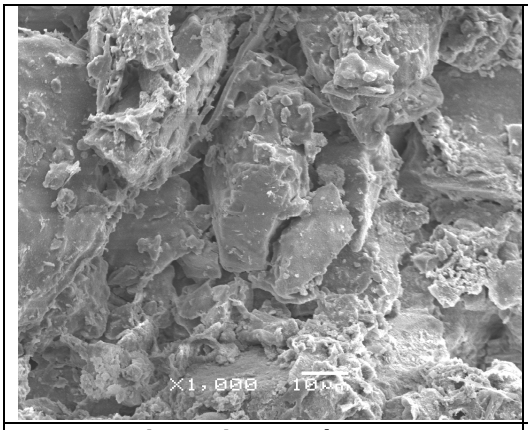
Rys. 2 Twierdza Przemyśl Fort Łuczyce (zdjęcie J. Piotrowska),
[http://republika.pl/twierdza11/his/historia. html, http://fort8.republika.pl
Twierdza Przemyśl.
Fig. 2. Fort Łuczyce Przemyśl Stronghold (picture J. Piotrowska),
[http://republika.pl/twierdza11/his/historia. html, http://fort8.republika.pl
Twierdza Przemyśl.

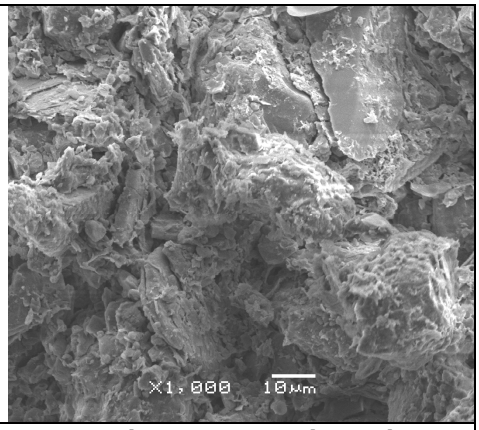
2. WZAJEMNIE UWARUNKOWANE PROBLEMY ARCHITEKTONICZNE I MATERIAŁOWE TWIERDZY PRZEMYŚL

W projekcie rewitalizacji tej historycznej Twierdzy i jej zróżnicowanego pod wieloma względami obszaru (krajobrazu warownego) związanego i niepowtarzalnością topografii terenu i roślinności, należy rozważyć wprowadzenie do zabytkowych budynków Twierdzy nowych funkcji. Wiąże się to działanie z odnową i rewitalizacją obiektów Twierdzy. Działania takie zmieniają temperaturę poszczególnych wnętrz, wymianę powietrza, wilgoci, czyli generalnie środowisko wewnętrzne budowli podnosząc, komfort wnętrz. W przyszłym projekcie rewitalizacji Twierdzy Przemyśl najprawdopodobniej ze względów konserwatorskich i architektonicznych nie będzie możliwe ocieplenie murów jej obiektów od strony zewnętrznej. Być może, że przyszłe zabiegi modernizacyjne zostaną ograniczone przykładowo do następujących działań: oczyszczenia zewnętrznego lica ściany poprzez mechaniczne usunięcie warstwy zewnętrznej, uzupełnienie brakujących fragmentów muru, uzupełnienie brakujących cegieł, zabezpieczenie muru wybranymi środkami impregnującymi. Aby takie zadania wykonać koniecznym wydaje się podjęcie badania i określenia stanu istniejącego (stanu technicznego) konkretnych materiałów konkretnych budowli i stanu technicznego całości budowli oraz ich konstrukcji. Ściany, które ze względu na swą grubość nie spełniają współczesnych wymogów należą do najliczniejszych w tym historycznym kompleksie obiektów militarnych. Być może, że ze względu na oryginalny charakter tego złożonego kompleksu budowli Twierdzy życzeniem architektów i konserwatorów będzie pozostawienie naturalnej struktury murów głównie ceglanej i betonowej podobnie jak to się stało przy rewitalizacji ceglanych murów Manufaktury w Łodzi [3,4]. Stan istniejący struktury cegieł murów fortyfikacji zabytkowej Twierdzy Przemyśl jest widoczny na zamieszczonych w pracy rysunkach: 3,4,5,6,7. Zdjęcia te obrazują strukturę fragmentów murów ceglanych wybranych obiektów Twierdzy. Szczegółowe badanie stanu technicznego murów budowli Twierdzy umożliwi podjęcie niezbędnych technicznych działań, których efektem będzie m.in. właściwe trwałe zabezpieczenie murów, a przez to wnętrz

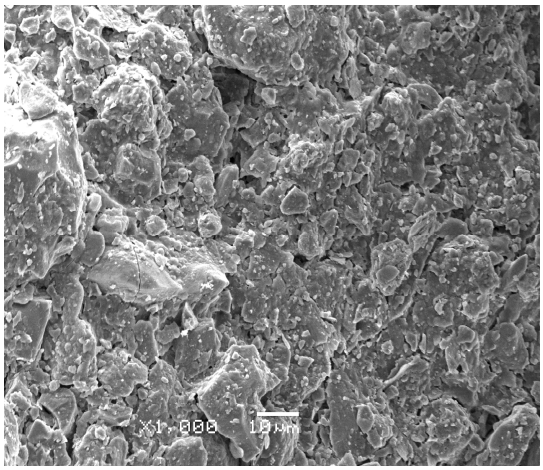
budowli. Bazując na zbadaniu i opisie stanu technicznego można zastosować nowoczesną wiedzę jak również wykorzystać w sposób optymalny dotychczasowe doświadczenia w tym zakresie wielu firm budowlanych i ośrodków naukowych podejmujących skutecznie rewitalizacje historycznych budowli na terenie Polski i Europy. W tym celu na bazie opisu istniejącego stanu technicznego materiałów budowli wraz z ich konstrukcją należy dokonać doboru technologii [5,6]do materiałów (np. cegły) o zbadanych właściwościach fizycznych i chemicznych zapewniających spełnienie warunków granicznych stanów nośności oraz użytkowalności [3,4] przez każdą z części rewitalizowanego obiektu układu fortyfikacji Przemyskich. Stopień komplikacji tego zadania jest duży i związany z aktualną destrukcją murów (Rys.3,4,5,6,7) oraz długotrwałym i złożonym procesem budowy Twierdzy. Cegły użyte do budowy pochodziły z różnych okolicznych bardziej lub mniej odległych od Twierdzy cegielni. Nie można także zapominać o istotnej roli spoin w transporcie wilgoci w głąb muru. Badanie spoin ceglanych stanowi niezbywalny element badania stanu technicznego murów

	
Rys. 3 Mikrostruktura cegły z fortu Trzy Krzyże. Widoczna jest zwarta mikrostruktura o relatywnie małej porowatości. Powiększenie x1000.	*Rys.4. Zwarta mikrostruktura styku ziarna piasku zaczynu cementowego w spoinie muru Fortu Trzy Krzyże. Powiększenie x1000.*
Fig.3. Microstructure of brick from fort Trzy Krzyże. Magnification x1000.	*Fig.4. Microstructure of bond between sand grain/cement paste in mortar from fort Trzy Krzyże. Magnification x1000.*





Rys. 5. Mikrostruktura cegły z muru Fortu Optyń o dużej porowatości. Powiększenie x1000.	*Rys. 6. Silnie porowata mikrostruktura cegły z muru Fortu Łuczyce. Powiększenie x1000.*
Fig. 5. Microstructure of brick from fort Optyń. Magnification x1000.	*Fig. 6. Microstructure of brick from fort Łuczyce. Magnification x1000.*



Rys. 7. Mikrostruktura cegły z Fortu Łuczyce o zwartej budowie. Powiększenie x1000.
Fig. 7. Microstructure of brick from fort Łuczyce. Magnification x1000.

ceglanych obiektów Twierdzy. Badanie, analiza i określenie stanu technicznego materiałów poszczególnych budowli Twierdzy Przemyśl to trzy etapy umożliwiające optymalizację podejmowanych w przyszłości działań rewitalizacyjnych i prawidłowych decyzji technicznych [7,8]. Stwarza to działanie możliwości trwałych uzupełnień istniejących murów nową cegłą. Przykład udanej rewitalizacji Manufaktury w Łodzi wskazuje na to, iż jest możliwy sukces przyszłej odnowy i rewitalizacji obiektów Twierdzy oraz zachowania jej specyficznej architektury wraz z niepowtarzalną atmosferą miejsca.

3. PODSUMOWANIE

Rewitalizacja materiałów budowlanych stanowi jeden z podstawowych problemów rewitalizacji Twierdzy Przemyśl.. Sukces rewitalizacyjny murów ceglanych i betonowych Twierdzy Przemyśl może zapewnić właściwy dobór parametrów technicznych wybranych do stosowania technologii, dostosowanych do cech, struktury i składu rewitalizowanego materiału. Renowacja i rewitalizacja murów Twierdzy jest szczególne uwarunkowana, dotyczy (w różnym stopniu) kompleksu specyficznych zagłębionych w ziemi obiektów militarnych. Badania stanu technicznego struktury murów poszczególnych obiektów Fortów Twierdzy mogą się stać podstawą dla podejmowania dalszych realistycznych decyzji w złożonym procesie odnowy i rewitalizacji.

Z architektonicznego punktu widzenia można stwierdzić, że prawidłowo zrewitalizowane historyczne mury Twierdzy, czyli np. mury ceglane będą decydować o przyszłym efekcie architektonicznym i plastycznym tego kompleksu. Prowadzące do tego celu określenie uwarunkowań materiałowych, na bazie wcześniejszego określenia ich stanu technicznego, to określenie technicznych możliwości odnowy materiałów. Właściwe określenie materiałowych uwarunkowań rewitalizacyjnych Twierdzy może stać się w przyszłości istotnym czynnikiem trwałej odnowy Twierdzy Przemyśl, realizowanej zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju i przekształceń terenów zdegradowanych.

4. LITERATURA

[1] Prokopska A., Piotrowska J., Wybrane problemy rewitalizacji Fortów Twierdzy Przemyśl. Konf. Naukowa „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce", Łódź-Słok 2007, t. 2.

[2] Raport z budowy fortu „Optyń", Statistischer Baubericht űber den Bau des Gűrtel-Hauptwerkes IV "Optyń", Wien 1901.

[3] Witczak K., Gawin D., Konf. Naukowa „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce", Łódź--Słok 2007, t. 2.

[4] Krawczyński S., Heim D., Grunwald J., Cieplno-wilgotnościowa ocena przegród zewnętrznych o budowie niejednorodnej-zabytkowe ściany ceglane, Konferencja Naukowa: Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź-Słok 2007, t. 2.

[5] Rokiel M., Krystaliczne zaprawy uszczelniające. Izolacje 2/2007 (113).

[6] Gasewicz J., Renowacja i ochrona betonu Izolacje 2/2007 (113).

[7] Dzieniszewski W., Procesy cieplno-przepływowe w budynkach. KILiW PAN, Łódź 2005.

[8] Idzikowski P., Technologia osuszania murów. Atlas budowlany, wrzesień/październik 2006.

MATERIALS AND ARCHITECTURAL PROBLEMS OF REVITALIZATION PROCESS OF TWIERDZA PRZEMYŚL

SUMMARY

The presented work concerns the problems architectural and building material of revita-lization of historical military object: Twierdza Przemyśl. Fortifications of this historical military object are requiring protection, renovate, regeneration and revitalization. Purpose of this work is signal diversified problems revitalization masonry of this historical fortification on example picture of microstructure brick.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Grzegorz PROKOPSKI, dr hab. inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: grzeprok@prz.edu.pl

WSPÓŁCZESNE TENDENCJE W TECHNOLOGII BETONÓW

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono współczesne trendy w wykonywaniu betonów cementowych. Scharakteryzowano podstawowe cechy, jakim powinny odpowiadać betony cementowe nowej generacji, o znacznie większej trwałości oraz rolę domieszek polimerowych w uzyskiwaniu tych betonów.

1. WPROWADZENIE

Współczesna nauka o materiałach (inżynieria materiałowa) stawia sobie kilka zasadniczych celów, spośród których można wyróżnić:
- opracowywanie nowych lub ulepszanie przez modyfikację istniejących materiałów, które będą zaspokajały potrzeby na obecnym poziomie rozwoju cywilizacyjnego,
- analizowanie właściwości materiałów, przy uwzględnieniu ich mikrostruktury,
- przewidywanie zachowań materiałów podczas eksploatacji,
- określanie przydatności materiałów do spełniania stawianych im wymagań.

Inżynieria materiałowa rozpatruje zagadnienie projektowania materiałów z uwzględnieniem struktury. Analiza ta obejmuje związki między strukturą materiałów, a ich właściwościami.

Badania właściwości mechanicznych materiałów inżynierskich (metali, betonów i innych materiałów z matrycą cementową, drewna i jego kompozytów) są w ostatnich trzydziestu latach coraz częściej prowadzone z zastosowaniem parametrów mechaniki pękania. Wynika to z faktu, iż wytrzymałość materiału jest zależna od wytrzymałości naj-

słabszego miejsca, w którym znajduje się, np. najdłuższa bądź najostrzejsza szczelina pierwotna, propagująca pod obciążeniem zewnętrznym, niższym niż nośność materiału bez defektu i mogąca spowodować zniszczenie elementu i/lub konstrukcji.

Tradycyjne parametry wytrzymałościowe pozwalają określić naprężenia średnie, jakie może przenieść element, podczas gdy zniszczenie może wystąpić wskutek niekontrolowanej propagacji szczeliny, znajdującej się w materiale, przy naprężeniach znacznie poniżej tej wartości. Badania z zastosowaniem parametrów mechaniki pękania mają duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza wówczas, gdy dotyczą budowli szczególnie odpowiedzialnych, takich jak: reaktory jądrowe, platformy wiertnicze do wydobywania ropy naftowej z dna mórz, mosty, zapory, budynki wysokie i wiele innych spektakularnych budowli, których zniszczenie wskutek katastrofy może pociągnąć za sobą bardzo duże straty materialne i ludzkie [1].

Nauka o materiałach zajmuje się wszechstronną analizą wzajemnych zależności pomiędzy głównymi jej aspektami: technologią, obejmującą kształtowanie materiałów z komponentów w taki sposób, aby uzyskać odpowiednią mikrostrukturę, gwarantującą oczekiwane właściwości, których miarą będzie użyteczność materiału w konkretnych warunkach zastosowania.

Nauka o materiałach tym różni się zasadniczo od wcześniejszego podejścia (relacji technologia-właściwości), że traktuje te aspekty kompleksowo, określając wzajemne relacje między nimi, podczas gdy tradycyjne ujęcie kwestii materiałów polega na traktowaniu ich odrębnie, przy opisie prostych dwustronnych relacji. Analizowanie przez inżynierię materiałową wielostronnych powiązań prowadzi do powstawania i stosowania wiedzy dotyczącej składu, struktury i wytwarzania (technologii) materiałów w taki sposób, aby przy ekonomicznym uzasadnieniu, uzyskiwały one oczekiwane właściwości.

Badania struktury mogą być skutecznie prowadzone z wykorzystaniem parametrów stereologicznych, definiujących strukturę liczbą i jednostką miary. Badania te stanowią istotną część inżynierii materiałowej, do której nie należy jednak bezpośrednio technologia materiałów, zajmująca się kształtowaniem z materiałów elementów konstrukcyjnych.

Dotychczas, tradycyjnie, zagadnienia materiałowe były rozpatrywane głównie w aspekcie fenomenologicznym, gdzie materiał traktowano jako jednorodną całość, reagującą na przykładane oddziaływania. W ten sposób uzyskuje się odpowiedź, jak materiał zachowuje się pod wpływem oddziaływania zewnętrznego, jednak bez wnikania w przyczyny tego zachowania.

Podejście takie jest dopuszczalne i użyteczne przy projektowaniu konstrukcji, nie spełnia jednak wymagań, jakie stawiane są projektantowi materiału.

Projektant materiału powinien bowiem zmierzać do wyjaśnienia dlaczego materiał poddany konkretnym oddziaływaniom zachowuje się w określony sposób, a to wymaga zrozumienia istoty zjawisk fizycznych, jakie w materiale zachodzą. Inżynier stosujący współczesne podejście do materiału powinien analizować go w aspekcie struktury i zależności pomiędzy strukturą i właściwościami.

Projektowanie materiału z użyciem metod inżynierii materiałowej sprowadza się do działań znacznie szerszych niż stosowanych w tradycyjnej technologii materiałów. Obejmuje, poza samą kompozycją (składem chemicznym), na drodze korekty składu z użyciem niewielkich ilości dodatkowych pierwiastków (w przypadku stali), czy także niewielkich ilości dodatków (np. pył krzemionkowy) i domieszek (superplastyfikatory)

w przypadku betonów, niemal nie zmieniających składu, uzyskiwanie struktury materiałów, zapewniającej właściwości spełniające oczekiwania użytkownika.

2. WSPÓŁCZESNE BETONY CEMENTOWE

2.1. Charakterystyka ogólna

Ciągle poszukuje się nowych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, umożliwiających wykonywanie smukłych i lekkich konstrukcji inżynierskich. Betony cementowe są obecnie i zapewne będą jeszcze przez wiele lat najbardziej powszechnie stosowanym materiałem budowlanym. Stale rosnące wymagania wobec betonów, narzucają konieczność modyfikacji cech mieszanki i stwardniałego betonu, do czego tradycyjna technologia betonu jest często nieprzydatna [2]. Obecnie przywiązuje się większą wagę do odporności betonu na agresywne oddziaływanie środowiska i takich cech mieszanki betonowej i stwardniałego betonu, jak: urabialność, szczelność oraz trwałość. Istotną kwestią jest również sprawa ekologii, która kieruje poszukiwania na materiał, który zmniejszy ilość surowców i energii wydatkowanych w produkcji oraz umożliwi łatwiejszą utylizację, po zakończeniu okresu eksploatacji obiektów z niego wykonanych.

Współczesne betony cementowe - betony wysokowartościowe (BWW), bardzo wysokowartościowe (BBWW) i ultra wysokowartościowe (BUWW) - charakteryzują się, nie osiągalnymi do niedawna w warunkach technicznych, cechami fizycznymi i mechanicznymi oraz dużą trwałością. Ich zalety zostały potwierdzone na całym świecie w licznych badaniach i realizacjach.

Przyczyną upowszechniania stosowania tych betonów są również wysokie ceny gruntu w liczących się metropoliach świata i wznoszenie coraz to wyższych budowli, do wykonywania których niezbędne są materiały o wysokich, a często unikalnych, parametrach.

Jednym z najważniejszych czynników warunkujących uzyskanie betonu wysokiej jakości i wytrzymałości (BWW) jest kształtowanie szczelnej struktury zaczynu przez redukcję wskaźnika wodno-cementowego oraz zmniejszenie porowatości, w wyniku wypełnienia stosu okruchowego fazą o bardzo małych ziarnach. Dobre rezultaty daje stosowanie konwencjonalnych zasad postępowania w połączeniu z użyciem bardzo skutecznych superplastfikatorów oraz dodatku mikrowypełniaczy, tj. częściowo aktywnych pyłów: krzemionkowych, żużlowych lub popiołowych. Tak zoptymalizowana ilościowo i jakościowo kompozycja składników, przy umiarkowanym dozowaniu cementu, zapewnia dobrą urabialność
- opad stożka około 5-12 cm, wartość wskaźnika W/C w granicach 0,24 - 0,32, przy wytrzymałości na ściskanie wynoszącej 80 - 140 MPa.

Do wykonywania betonów wysokowartościowych należy stosować:
- cementy portlandzkie wysokich klas (42,5 i 52,5), zapewniające dużą wytrzymałość stwardniałego zaczynu cementowego,
- kruszywa wysokiej jakości, ze skał o dużej wytrzymałości, o teksturze i kształcie ziaren umożliwiających uzyskanie dobrej przyczepności kruszywa do zaczynu cementowego,
- domieszki upłynniające (superplastyfikatory), zapewniające nawet ciekłą konsystencję mieszanki betonowej przy bardzo niskim współczynniku wodno-cementowym (W/C=0,30), oraz jednocześnie dezagregację ziaren, gwarantującą lepszą efektywność cementu,

- pył krzemionkowy poprawiający urabialność mieszanki betonowej oraz modyfikujący mikrostrukturę stwardniałego zaczynu cementowego i warstwę przejściową kruszywo/zaczyn cementowy [2].

Mieszanki betonowe do wykonywana takich betonów są droższe od mieszanek betonu zwykłego (nawet do 40 %), jednak uwzględniając wszystkie koszty (m.in. utrzymania i napraw), okazuje się, że konstrukcje wykonane z tych betonów są tańsze niż przy wykonaniu ich z betonów zwykłych. Stosując betony wysokowartościowe można znacząco zmniejszyć przekroje elementów konstrukcyjnych, a tym samym ich objętość i masę, i dzięki temu zwiększyć rozpiętości i długości elementów. Dla przykładu w USA stwierdzono, że stosując BWW możliwe jest zwiększenie o około 20-25 % rozpiętości przęseł przy zachowaniu standardowych wymiarów przekrojów poprzecznych belek oraz przy jednoczesnym zmniejszeniu o około 40 % liczby belek w przęsłach mostów.

2.2. Modyfikowanie struktury betonów polimerami

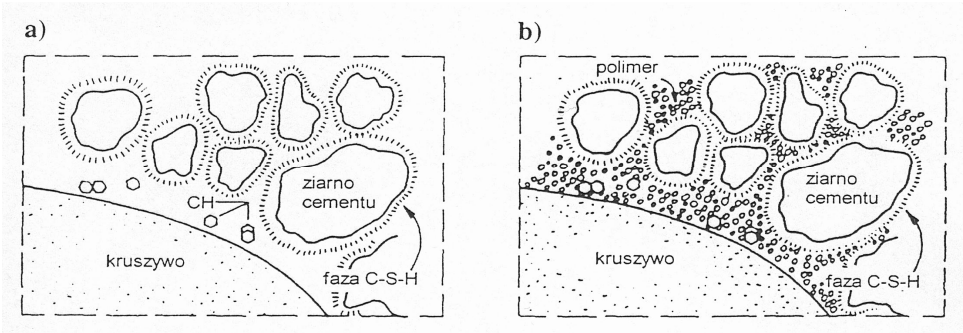
Współczesne rozwiązania materiałowe są najczęściej oparte na wprowadzaniu polimerów do mieszanek betonowych [3]. Polimery mogą być dodawane do mieszanki betonowej jako domieszki lub jako dodatki [4]. Wyróżnikiem w przypadku domieszki jest jej zawartość mniejsza niż 5% masy cementu. Taka ilość polimeru jest zbyt mała, aby w dojrzewającej mieszance betonowej, utworzyła się odrębna faza ciągła. Dopiero dodatek polimeru znacznie powyżej 5% masy cementu umożliwia powstanie ciągłej struktury przestrzennej filmu polimerowego i można wówczas mówić o spoiwie cementowo-polimerowym.

Dzięki zastosowaniu domieszek polimerowych do mieszanek betonowych osiąga się znaczącą poprawę cech technologicznych mieszanki i właściwości stwardniałego betonu. Celem dodawania domieszek polimerowych do betonów jest zwykle uzyskanie betonu wysokowartościowego (BWW) lub bardzo wysokowartościowego (BBWW).

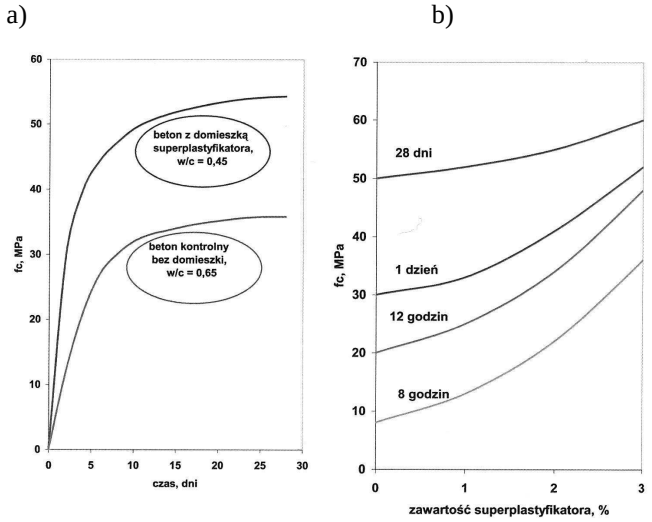
Korzystne oddziaływanie domieszek na beton dotyczy szczególnie warstwy przejściowej kruszywo-zaczyn cementowy, która uważana jest za najsłabsze miejsce, decydujące o wytrzymałości. Warstwa przejściowa ma większą porowatość oraz mniejszą zawartość produktów hydratacji cementu niż zaczyn „w głębi” (w większym oddaleniu od powierzchni ziarna kruszywa grubego) [5,6]. Znajduje się tam także więcej dużych i uporządkowanych kryształów wodorotlenku wapnia $Ca(OH)_2$, co osłabia strukturę betonu.

Dodanie do mieszanki betonowej polimeru znacznie zwiększa powierzchnię kontaktu zaczynu z kruszywem i powoduje zagęszczenie warstwy międzyfazowej [7]. Wokół ziaren kruszywa i na ściankach porów w pobliżu ziaren tworzy się warstewka polimeru (Rys. 1), poprawiająca przyczepność między fazami ([9]).

Skutkuje to znaczącym wzrostem wytrzymałości betonów (Rys. 2). Poprawa właściwości betonu wskutek dodania domieszki polimerowej zapewnia również zmniejszenie porowatości i wzrost szczelności betonu, a to powoduje wzrost odporności na działanie substancji agresywnych, mrozoodporności, odporności na ścieranie oraz większą przyczepność betonu „nowego” do „starego”. Superplastyfikatory polimerowe nie zmieniają natomiast cech betonu pod wpływem obciążeń długotrwałych, takich jak np. pełzanie.



Rys. 1 Strefa przejściowa kruszywo-zaczyn cementowy
a) bez domieszki, b) z domieszką polimerową (według [8])
Fig. 1 Coarse aggregate/cement paste contact layer
a) without admixture, b) with admixture (according [8])



Rys. 2 Przykładowy wzrost wytrzymałości betonu przy stosowaniu domieszek polimerowych a) bez domieszki i z domieszką polimerową, b) przy różnych zawartościach domieszki (według [3])
Fig. 2 Example of compressive strength increase in concrete with polymer admixture a) without and with admixture , b) with different contents of admixture (according [3])

Kompozyty polimerowe wykazują w porównaniu do właściwości betonu cementowego znacznie lepsze właściwości (Tabela 1), w związku z czym4 ich stosowanie coraz bardziej upowszechnia się.

Tabela 1. Porównanie właściwości kompozytów polimerowych i betonu cementowego (według [3])
Table 1. A comparison of polymer composites and cement concrete propriety (according [3])

Właściwość	Beton cementowy	PCC	PIC	PC
Wytrzymałość na [MPa]: - ściskanie - zginanie - rozciąganie	 5-60 (>60[1]) 1-7 (>7[1]) 0,6-3,0 (>3[1])	 10-75 3-12 4-9	 100-200 7-35 4-17	 40-150 4-50 4-20
Moduł sprężystości, GPa	15-30	10-25	30-50	7-45
Współczynnik Poissona	0,11-0,21	0,23-0,33	0,20-0,25	0,16-0,33
Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej, 10^{-16} K^{-1}	10-12	11-15	10-17	10-35
Nasiąkliwość wodą, %	4-10	1-3	0,5-1,5	0,5-3
Odporność chemiczna	słaba lub średnia	średnia lub dobra	dobra lub b. dobra	b. dobra, znakomita

[1] Dotyczy betonu wysokowartościowego

3. LITERATURA

1. Prokopski G., *Mechanika pękania betonów cementowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, 172 s.
2. Jasiczak J., Mikołajczyk P., *Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami. Przegląd tendencji krajowych i zagranicznych*. Wyd. Polit. Poznańskiej, Poznań 1997.
3. Czarnecki L., Łukowski P., *Wpływ domieszek i dodatków polimerowych na trwałość betonu.* Konf. „Dni betonu", Szczyrk, 8-10 października 2002
4. EN 934-2 *Admixtures for concrete, mortar ad grout: Part 2: Concrete admixtures – Definitions and requirements*.
5. Scrivener K.L., Gariner E.M., *Microstructural gradients in cement paste around aggregate particles*. Materials Research Symposium Proc., 114(1988).
6. Neville A.M., *Właściwości betonu*. Polski Cement, Kraków 2000.
7. Su Z., *Microstructure of polymer-cement concrete.* Delft University Press, Delft 1995.
8. Bijen J.M., *Polymeren in beton*. Cement, 5(1991).
9. Popovics S., *Polymers for modyfications of PC concrete in USA*. 7th Int. Congress on Polymers in Concrete, Moscov 1992.

A NEW TENDENCY IN CONCRETE TECHNOLOGY

SUMMARY

In article were introduced present tendency in executing of cement concretes. Characterized the basic properties of new generation cement concretes (with considerably larger durability) as well as the role of polymer admixtures in produce process these concretes.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Henryk RÓŻAŃSKI, prof. dr hab. inż.
Krzysztof JABŁOŃSKI, dr hab. inż.

Uniwerstytet Przyrodniczy w Poznaniu
Katedra Techniki Leśnej
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań
e-mail: henrykro@au.poznan.pl jabkrys@au.poznan.pl

BILANS ENERGETYCZNY POZYSKIWANIA BIOMASY W POSTACI POZOSTAŁOŚCI ZRĘBOWYCH W DRZEWOSTANACH SOSNOWYCH

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono analizę nakładów energii zużytej na pozyskanie surowca energetycznego w postaci zrębków i pakietów wyprodukowanych z pozostałości zrębowych. Badania prowadzono w rębnych drzewostanach sosnowych, zastosowano maszynowe technologie pozyskiwania i zrywki drewna. Udział pozostałości zrębowych w pozyskiwanej biomasie drzew wynosił 15%. Nakłady energii zużytej na obydwie analizowane technologie były podobne i stanowiły około 2,4% energii zawartej w świeżych pozostałościach zrębowych.

1.WPROWADZENIE

Wzrastające zużycie energii oraz konieczność przeciwdziałania zmianom klimatycznym i ochrona zasobów paliw kopalnych zmuszają do sięgania po odnawialne źródła energii. Polska, w przyjętej Strategii Rozwoju Energetyki Odnawialnej (Strategia...) zobowiązała się do osiągnięcia 7,5% udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w bilansie energetyczno-paliwowym kraju do roku 2010 oraz 14% do roku 2020. Jak pokazują dane statystyczne (Ochrona... 2007), w roku 2006 udział energii uzyskanej ze źródeł odnawialnych w produkcji energii ogółem wynosił 6,47%, z czego 91% stanowiła energia z biomasy. W warunkach Polski największe nadzieje związane z produkcją energii ze źródeł odnawialnych wiązać należy właśnie z biomasą, a jeśli tak, to nie sposób nie uwzględ-

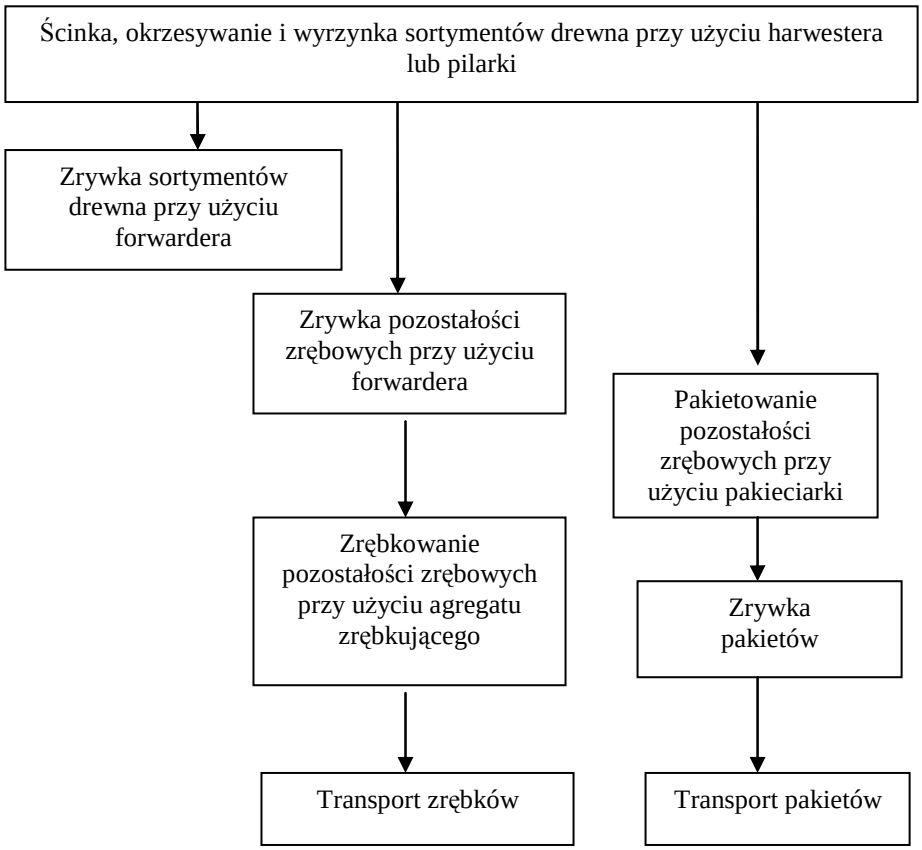
nić w tych rozważaniach lasów. Lasy pełnią różnorodne funkcje, służąc ochronie życia na ziemi i stanowią pożądany przez szerokie kręgi społeczeństwa element krajobrazu, a ich rola nie ogranicza się wyłącznie do produkcji surowca drzewnego. Tym niemniej mogą one aktywnie uczestniczyć w ochronie klimatu, stanowiąc odnawialne źródło energii i przyczyniając się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych powstających podczas spalania paliw kopalnych. Dzisiaj lasy w Polsce pokrywają 30,1% powierzchni lądowej (Leśnictwo 2007), a dominuje w nich sosna zwyczajna, z udziałem stanowiącym około 70%. Gatunek ten odnawiany jest głównie przez prowadzenie cięć rębnych w formie zrębów zupełnych, polegających na usunięciu drzewostanu i sztucznym wprowadzeniu młodego pokolenia (z zachowaniem oczywiście odnowień naturalnych, tam gdzie one występują oraz z pozostawieniem tzw. nasienników). Jak podają dane statystyczne (Leśnictwo 2007), powierzchnia zrębów zupełnych na obszarach leśnych zarządzanych przez Lasy Państwowe (tzn.78% wszystkich lasów) wynosiła 26016 ha w roku 2006 i należy zdawać sobie sprawę, że liczba to odnosi się przede wszystkim do sosny. W trakcie cięć rębnych prowadzonych w drzewostanach sosnowych, po zabraniu z powierzchni drewna okrągłego, pozostają na niej gałęzie wraz z wierzchołkami drzew – tzw. pozostałości zrębowe, które przed posadzeniem nowego pokolenia drzew muszą zostać usunięte lub rozdrobnione. Właśnie ten materiał stanowi potencjalny surowiec o znaczeniu energetycznym i jest on intensywnie wykorzystywany np. w Szwecji, gdzie uzyskuje się z niego ok. 100 TWh energii (Wikström 2007). Pozyskiwanie tego materiału do celów energetycznych, o ile prowadzi się je z zachowaniem reguł zmierzających do zachowania różnorodności biologicznej i o ile następuje zwrot popiołów (pozostałych po spaleniu biomasy) do środowiska, nie powoduje ujemnych zmian w środowisku leśnym, a nawet, tam gdzie obserwuje się znaczną depozycję atmosferyczną związków azotowych do środowiska – może przyczynić się do poprawy bilansu azotu (Lundborg 1998). Również w Finlandii pozyskuje się pozostałości zrębowe do celów energetycznych i prowadzi sie badania na technologiami jego pozyskiwania (Kärhä and Vartiamäki 2008). W Polsce, mimo, że pojawiają się publikacje na ten temat (Różański i Jabłoński 2003a,b), to to jednak na cele eneregetyczne pozyskuje się znikome ilości pozostałości zrębowych, a ponadto panuje u nas niestety silne przekonanie o szkodliwości tego typu działań na środowisko leśne, z powodu zabierania z niego w raz z biomasą cennych substancji odżywczych (Gornowicz 2002). Tym bardziej więc potrzebne są dalsze badania terenowe i to nie tylko nad ewentualnymi stratami pierwiastków biogennych wskutek pozyskiwania surowca do celów eneregetycznych, ale badania idące już dalej, ku zagadnieniom bardziej istotnym, a mianowicie jakie technologie pozyskiwania takiego surowca można w Polsce stosować. Z problematyką wyboru technologii pozyskiwania pozostałości zrębowych do celów energetycznych wiąże się zagadnienie nakładów energii koniecznych do pozyskania tego surowca i porównanie ich do ilości energii w nim zawartej.

2. METODYKA

Autorzy postanowili zanalizować nakłady energetyczne ponoszone na pozyskiwanie pozostałości zrębowych z cięć rębnych drzewostanów sosnowych przy użyciu dwóch technologii. W trakcie badań określono pracochłonność poszczególnych operacji procesu technologicznego, zużycie energii na wykonanie poszczególnych operacji a następnie porównano je z ilością energii zawartej w pozyskanej biomasie.

2.1. Opis badanych procesów technologicznych

W badaniach zastosowano dwa maszynowe procesy technologiczne pozyskiwania drewna wraz z pozyskaniem pozostałości zrębowych do celów energetycznych: technologia z rozdrabnianiem pozostałości zrębowych na powierzchni zrębowej i transportem surowca energetycznego w postaci sypkiej (proces nr 1) oraz technologia z pakietowaniem pozostałości zrębowych na powierzchni zrębowej i transportem surowca energetycznego w postaci pakietów (wiązek) (proces nr 2).



Ryc. 1. Procesy technologiczne pozyskiwania zrębków i pakietów z pozostałości zrębowych
Fig. 1. Supply chains of fuel chips and bundles from logging residues

Proces nr 1. Technologia pozyskiwania drewna energetycznego w postaci zrębków obejmowała następujące operacje technologiczne:
- ścinka, okrzesywanie i wyrzynka sortymentów drzewnych przy użyciu harwestera jednochwytakowego Timberjack 1270D,
- zrywka drewna okrągłego przy użyciu forwardera Timberjack 1010D,
- zrywka pozostałości zrębowych przy użyciu forwardera Timberjack 1010D,

- zrębkowanie pozostałości zrębowych przy użyciu agregatu zrębkującego Bruks 804,
- wywóz zrębków w systemie kontenerowym na odległość 50 km.

Proces nr 2. Technologia pozyskiwania drewna energetycznego w postaci pakietów utworzonych z pozostałości zrębowych obejmowała następujące operacje technologiczne:
- ścinka, okrzesywanie i wyrzynka sortymentów drzewnych przy użyciu harwestera jednochwytakowego Timberjack 1270D,
- zrywka drewna okrągłego przy użyciu forwardera Timberjack 1010D,
- pakietowanie pozostałości zrbowych przy użyciu pakieciarki Timberjack 1490D
- zrywka pakietów przy użyciu forwardera Timberjack 1010D,
- wywóz pakietów na odległość 50 km.

Badania przeprowadzono na powierzchniach leśnych porośnętych borami sosnowymi w wieku około 100 lat, na terenie Nadleśnictw Dąbrowa, Stare Jabłonki oraz Orneta.

2.2. Określenie wydajności pracy i nakładów energetycznych

Wydajności poszczególnych operacji technologicznych określono na podstawie wykonanego chronometrażu, według zasad zawartych w Krajowym Systemie Maszyn Leśnych za Botwinem (1993) i określano wydajność operacyjną W_{02}.

Nakłady energetyczne konieczne do pozyskanie surowca energetycznego określano jako sumę energii:
- zawartej w maszynie,
- energii zawartej w spalonym oleju napędowym zasilającym zaangażowane maszyny oraz
- energii wydatkowanej przez operatorów maszyn.

Wartość energii zawartej w maszynie przyjęto w oparciu o pracę Forbriga (2000), przyjmując wielkość 98 MJ/kg masy maszyny, zakładając ekonomiczne wykorzystanie maszyn na poziomie 10000 mth (Forstmaschinen 3000). Energię wydatkowaną podczas pracy maszyny w wyniku spalania oleju napędowego obliczono przez pomnożenie zużycia paliwa (dm^3/mth) przez zawartość energetyczną oleju napędowego, przyjętą na poziomie 38,22 MJ/dm^3, za Forbrigiem (2000). Jako wartość energii wydatkowanej przez operatorów maszyn przyjęto jednostkowy wydatek energetyczny o wielkości 3,1 kJ/min, określony przez Grzywińskiego (2005). Wydatek energetyczny wyrażony w MJ na 1 motogodzinę (mth) przeliczono na MJ na 1 m^3 surowca przez podzielenie wartości wyrażonej w MJ/mth przez wydajność operacyjną. Na podstawie opracowania Kärhä i Vartiamäki (2008) przyjęto , że w jednej wiązce (pakiecie) pozostałości zrębowych znajduje się 0,5 m^3 drewna. W przypadku operacji technologicznych obejmujących pozyskanie i zrywkę drewna okrągłego, które to operacje dotyczą całego pozyskiwanego surowca drzewnego, do dalszych obliczeń przyjęto część nakładów energetycznych zużytych na wykonanie tych operacji, ze względu na to, że bez nich nie można by prowadzić pozyskania materiału energetycznego zawartego w pozostałościach zrębowych, pozostałych na powierzchni po zabraniu surowca okrągłego. Część ta to udział pozostałości zrębowych w całej biomasie nadziemnej drzew na terenie, gdzie prowadzono badania, a określono ją przez dokładny pomiar surowca okrągłego i zważenie pozostałości zrębowych pochodzących z 30 drzew. W przypadku operacji zrywki, zrębkowania lub pakietowania pozostałości, do obliczeń bilansu energetycznego przyjmowano całą wydatkowaną podczas ich wykonywania energię.

W ten sposób obliczone nakłady energetyczne porównano z ilością energii zawartej w świeżym materiale energetycznym utworzonym z pozostałości zrębowych. Przyjęto,

że zawartość energii w świeżych pozostałościach zrębowych wynosi 9,8 MJ/kg (Energi 1999).

3. WYNIKI

Pomiary ilości surowca okrągłego i pozostałości zrębowych wykazały, że średni udział tych ostatnich w biomasie nadziemnej części drzew wynosił 15%, co w przeliczeniu na powierzchnię 1 ha daje 47 ton. Natomiast całkowita pozyskana masa drewna okrągłego (kłody i wyrzynki) i pozostałości zrębowych wynosiła 307 671 kg/ha, z czego na kłody przypadało 77,6%, zaś na wyrzynki 7,1%.

Wyniki analizy energii zużytej przez poszczególne środki techniczne na pozyskanie, zrywkę i wywóz surowca energetycznego przedstawiono w tabeli 1. Spośród trzech analizowanych źródeł nakładów energetycznych na pozyskania, zrywkę i wywóz surowca energetycznego największy udział miały nakłady energii wynikające ze zużycia paliwa podczas wykonywania pracy i średnio, dla wszystkich maszyn, kształtowały się one na poziomie około 75%, resztę stanowiły nakłady energetyczne wynikające z materiałów i procesów produkcyjnych wykonania samej maszyny (tak zwana energia wbudowana w maszynę). Natomiast udział energii wydatkowanej przez operatora na wykonanie pracy był, wobec pozostałych nakładów energetycznych, znikomy.

Tabela 1. Nakłady energetyczne poniesione na pozyskanie, zrywkę i wywóz surowca energetycznego

Table 1. Energy input on the harvesting, forwarding and trucking of logging residues

Operacja Operation	Wydajność Productivity	Nakłady energii Energy input	
	m^3/mth	MJ/mth	MJ/m^3
Ścinka, okrzesywanie i wyrzynka* Felling, delimbing, bucking *	56	104,51	1,89
Zrywka drewna okrągłego * Forwarding logs*	33	83,59	2,53
Zrywka pozostałości zrębowych Forwarding logging residues	11	557,32	50,67
Zrębkowanie Chipping	37	1803,39	48,74
Pakietowanie Bundling	13	607,79	46,75
Zrywka pakietów Forwarding of bundles	15	557,32	37,15
Wywóz zrębków Trucking of chips	13	1195,79	91,98
Wywóz pakietów Trucking of bundles	11	1195,79	108,71

*nakład energii odniesiony wyłącznie do pozostałości zrębowych, stanowiących 15% całej pozyskiwanej masy drewna

*energy input referred to the 15% share of logging residues in the total aboveground wood volume that was harvested

Tabela 2. Nakłady energetyczne analizowanych procesów technologicznych oraz zawartość energii w pozyskanym surowcu.
Table 2. Energy inputs of the technological processes analysed and energy content of the logging residues.

	Proces technologiczny Supply chain	
	Zrębki energetyczne Fuel chips	Pakiety z pozostałości zrębowych Slash bundles
Nakład energetyczny, MJ/m^3 Energy input, MJ/m^3	195,82	197,04
Energia w pozostałościach zrębowych, MJ/m^3 Logging residue energy content, MJ/m^3	8134	8134
Nakład energii na pozyskanie w stosunku do ilości energii zawartej w surowcu, % Energy input/energy content, %	2,4	2,4

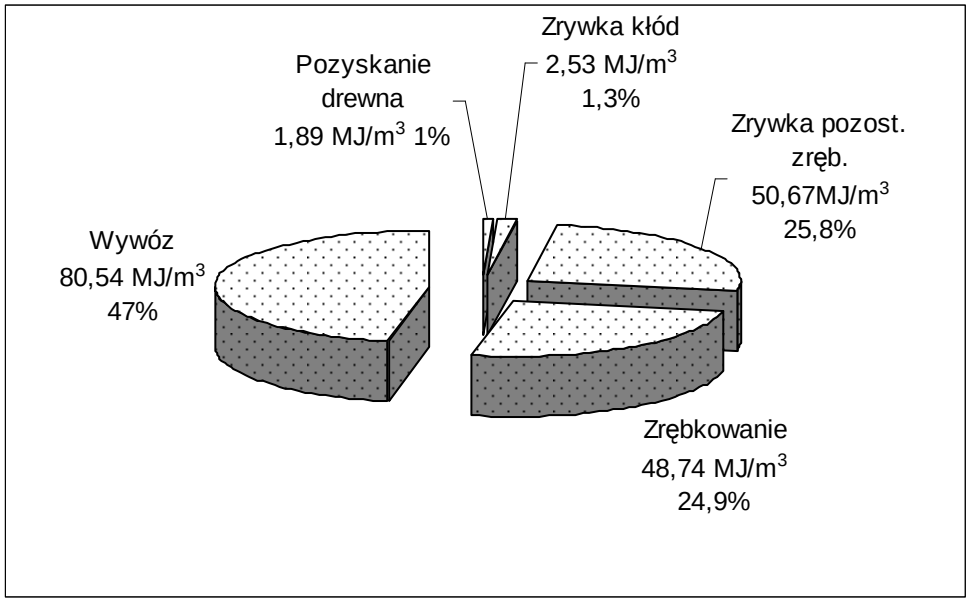
Analiza nakładów energetycznych wydatkowanych w poszczególnych operacjach technologicznych wykazała, że najbardziej energochłonne były operacje wywozu zrębków i pakietów wykonanych z pozostałości zrębowych, dla których sumaryczny nakład energii na wywóz 1 m^3 surowca energetycznego kształtował się na poziomie około 100 MJ/m^3. Stosunkowo niskie nakłady energii obliczone dla pierwszych dwóch operacji technologicznych pozyskiwania i zrywki drewna wynikały z faktu, że w tabeli zawarto jedynie taką część ogólnych nakładów energetycznych poniesionych podczas wykonywania tych operacji, jaka stanowiła udział pozostałości zrębowych w ogólnej masie pozyskiwanego surowca, który wynosił 15%.

W tabeli 2 zawarto zestawienie bilansowe energii wydatkowanej w dwóch analizowanych technologiach oraz energii zawartej w pozostałościach zrębowych w stanie świeżym, przy wilgotności względnej około 50%. Jak wskazują dane zawarte w tabeli, różnica w nakładach energii zużytej na pozyskanie surowca energetycznego w postaci zrębków energetycznych i pakietów wykonanych z pozostałości zrębowych była bardzo mała. Istotne jest natomiast to, że nakłady na pozyskanie takiego surowca energetycznego nie przekraczają 2,5% zawartej w nim energii, i to w stanie świeżym, w jakim znajdował się surowiec. Należy przypuszczać, że w przypadku gdyby surowiec ten pozostawić przez jakiś czas na powierzchni zrębowej, wówczas odsetek energii wydatkowanej na pozyskanie surowca w stosunku do energii w nim zawartej byłby jeszcze mniejszy.

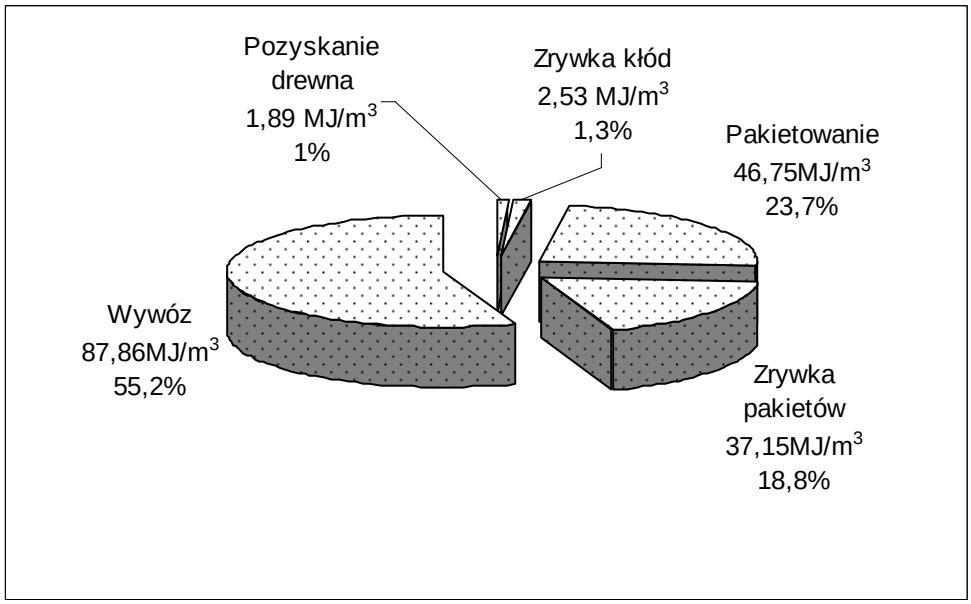
Na rycinach 2 i 3 przedstawiono nakłady energii na poszczególne operacje obydwu analizowanych technologii. W obydwu przypadkach wywóz surowca energetycznego w postaci zrębków lub pakietów pochłonął ponad 80% wydatkowanej energii. Należy mieć na uwadze, że nakłady energii wydatkowane w operacji wywozu silnie zależą od odległości na jaką wywożony jest surowiec. Uwzględniona w przeprowadzonych badaniach odległość wywozowa wynosząca 50 km jest odległością dość niewielką, biorąc pod uwagę rozległość

obszarów leśnych. W przypadku dalszych odległości wywozowych należałoby się liczyć z jeszcze większymi nakładami energetycznymi na tą operację technologiczną.

W wypadku technologii z pozyskiwaniem zrębków energetycznych, operacje zrębkowania jak i zrywki pozostałości zrębowych cechowały się podobnymi nakładami energetycznymi (odpowiednio 48,75 i 50,67 MJ/m^3), a udział każdej z nich w całkowitych nakładach energetycznych poniesionych na cały proces technologiczny kształtował się na poziomie około 25%. W technologii z pozyskaniem pakietów wykonanych z pozostałości zrębowych, operacja pakietowania (46,75 MJ/m^3) prowadzona przy pomocy pakieciarki była o około 5% bardziej energochłonna niż operacja zrywki gotowych pakietów (37,15 MJ/m^3). W obydwu technologiach operacje ścinki, okrzesywania, wyrzynki oraz zrywki sortymentów drewna okrągłego stanowiły razem 2,3% nakładów energii poniesionych na cały proces technologiczny, a to dlatego, że wzięto pod uwagę jedynie część energii zużywanej podczas wykonywania tych operacji, odpowiadającą udziałowi pozostałości zrębowych w całej pozyskiwanej biomasie nadziemnej.



Ryc. 2. Nakłady energii na operacje technologiczne pozyskiwania zrębków energetycznych
Fig.2. Energy consumption in operations in the fuel chip supply chain.



Ryc. 3. Nakłady energii na operacje technologiczne pozyskiwania pakietów wykonanych z pozostałości zrębowych
Fig.3. Energy consumption in operations in the logging residue bundles supply chain

4. PODSUMOWANIE

Spośród różnych technologii pozyskiwania surowca energetycznego na uwagę zasługują technologie maszynowe, które charakteryzują się znacznymi wydajnościami pracy. Mogą one zostać z powodzeniem zastosowane do pozyskiwania surowca energetycznego z pozostałości zrębowych z rębnych drzewostanów sosnowych, które pozostają na powierzchni zrębowej po zabraniu z niej surowca okrągłego w postaci kłód i wyrzynków. Surowiec tworzący pozostałości zrębowe stanowi około 15% biomasy nadziemnej części drzew.

Obydwa procesy technologiczne pozyskiwania surowca energetycznego z pozostałości zrębowych, tak w postaci zrębków jak i pakietów (wiązek) cechowały się podobną energochłonnością, na poziomie około 196 MJ/m^3 surowca. Porównanie nakładów energii zużytej na wykonane operacje technologiczne z ilością energii zawartej w pozostałościach zrębowych (w stanie świeżym) wykazało, nakłady te nie przekraczały 2,5% energii zawartej w tym surowcu. Z energetycznego punktu widzenia więc, stosowanie takich technologii jest uzasadnione.

5. LITERATURA

1. Botwin M.; Podstawy użytkowania maszyn leśnych. Wyd. SGGW, Warszawa. 1993
2. Energi från skogen. Red. P.O.Nilsson. SLU Kontakt 9. Uppsala. 1999
3. Forbrig A.; Konzeption und Anwendung eines Informationssystems über Forstmaschinen auf der Grundlage von Maschinenbuchführung, Leistungsnachweisen und Technischen Daten. KWF-Ber.29. 2000

4. Forstmaschinen 300 Maschinenbeschreibung unf Selbstkostenrechnung. Red. W.Pröll. Forstliche Bundesversychsanstalt, Wien, [płyta CD]. . 2000
5. Gornowicz R.; Wpływ pozyskiwania biomasy sosny zwyczajnej (Pinu sylvestris L.) na wycofywanie pierwiastków biogennych ze środowiska leśnego. Roczniki Akademii w Poznaniu. Rozprawy naukowe, zeszyt 331. Poznań. 2002.
6. Grzywiński W.; Comparison of work arduousness during motor-manual and mechnized timber harvesting. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie nr 419. Sesja Naukowa, zeszyt 91. 2005.
7. Różański H., Jabłoński K.; Prospects for fuel wood harvesting in Poland. Acta Scientiarum Polonorum. Silv. Col. Ratio et Ind. Lign. 2(1). Wyd. Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu. Poznań 2003a.
8. Różański H., Jabłoński K.; Analysis of selected technological processes of fuel wood chip harvesting. Acta Scientiarum Polonorum. Silv. Col. Ratio et Ind. Lign. 2(2). Wyd. Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu. Poznań, 2003b.
9. Kärhä K., Vartoamäki T.; Productivity and costs of slash bundling in Nordic conditions. Biomass and Bioenergy. Vol. 30, Issue 12 2006.
10. Leśnictwo 2007. GUS. Informacje i Opracowania Statystyczne. Warszawa (www.stat.gov.pl), 2008.
11. Lundborg A.; A sustainable forest fuel system in Sweden. Biomass and Bioenergy. Vol. 15, Nos 4/5, 1998.
12. Ochrona Środowiska 2007. GUS. Informacje i Opracowania Statystyczne. Warszawa (www.stat.gov.pl), 2008
13. Wiktröm F.; The potential of energy utilization from logging residues with regard to the availability of ashes. Biomass and Bioenergy. Vol. 31, Issue 1, 2007.

ENERGY BALANCE OF BIOMASS HARVESTING IN THE FORM OF LOGGING RESIDUES FROM PINE FORESTS

SUMMARY

The contains an analysis of energy inputs on the harvesting of fuel wood in the form of chips and bundles produced from logging residues. The field work was conducted in adult pine tree-stands and mechanized technologies for the harvesting and forwarding of wood were used. The logging residues participate with 15% in the total above-ground biomass of the trees. The energy consumed by the two technologies analysed were similar and they did not exceed 2,5 of the energy content of the fresh logging residues.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Elżbieta RYBAK-WILUSZ, dr inż.
Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: elrywi@prz.edu.pl

Dariusz KOTOWICZ, mgr inż.
Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Cieplnej w Rzeszowie
ul. Staszica 24, 35-051 Rzeszów
e-mail: darekjk@poczta.fm

EFEKTYWNOŚĆ CIEPLNA TERMOMODERNIZOWANYCH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH WIELORODZINNYCH I UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono skuteczność termomodernizacji w wybranych budynkach woj. podkarpackiego. Analizę wykonano dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych, budynku zamieszkania zbiorowego i budynków użyteczności publicznej. Na podstawie opracowanych uprzednio audytów energetycznych wykonano zintegrowaną ocenę energetyczną obiektów przed i po wykonaniu termomodernizacji i przyporządkowano im odpowiednią klasę energetyczną. Otrzymane wyniki umożliwiły określenie efektywności cieplnej termomodernizowanych budynków.

1. RACJONALNE GOSPODAROWANIE ENERGIĄ WARUNKIEM ZACHOWANIA RÓWNOWAGI EKOLOGICZNEJ

Zużycie energii w światowej gospodarce staje się coraz większe. Wynika to z bardzo szybkiego wzrostu potrzeb energetycznych krajów uprzemysłowionych [1]. Przyspieszony wzrost zużycia energii spowodowały dwa najważniejsze czynniki: rewolucja naukowo – techniczna oraz gwałtowny wzrost liczby ludności na świecie. Wg danych sza-

cunkowych, nasza cywilizacja wykorzystała energię, która odpowiada ok. 500 mld tpu (tona paliwa umownego), przy czym ok. 2/3 tej energii zużyliśmy w ciągu ostatniego stulecia. W tabeli 1 zawarto ogólnoświatowe zasoby paliw naturalnych wraz z orientacyjnym rokiem ich wyczerpania [2]. Nadmiernemu zużyciu energii towarzyszy również proces degradacji środowiska naturalnego.

Tabela 1. Zasoby paliw naturalnych [2]
Table 1. Natural fuels resources [2]

Energia	Zapasy			Rok wyczerpania	
	znane	przypuszczalne	jednostka	znanych	całkowitych
Węgiel	600	16400	Pg	po 2060	po 2200
Ropa	82,4	192,6	Pg	2020	2050
Gaz	65	339	Tm^3	2012	po 2060
Uran	1,02	1,08	Pg	2060	2200

Zanieczyszczeniu, a niekiedy nawet zniszczeniu ulegają powietrze, woda i gleba, a w dalszej konsekwencji organizmy żywe. Część ujemnych oddziaływań ekologicznych występuje lokalnie, inne wpływają na stan całej biosfery ziemskiej. W wyniku tego należy szukać sposobów przeciwdziałania zagrożeniom ekologicznym ze strony energetyki. Istnieje wiele możliwości zmniejszania ujemnych skutków ekologicznych. Wśród nich można wyróżnić:

- usuwanie zanieczyszczeń z paliwa metodami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi,
- zastosowanie czystych technologii spalania,
- oczyszczanie spalin opuszczających komorę spalania,
- wytwarzanie czystych paliw w procesach zgazowania, odgazowania lub upłynniania paliw kopalnych,
- zastępowanie węgla paliwami węglowodorowymi,
- zwiększenie udziału alternatywnych, w tym odnawialnych źródeł energii,
- oszczędne gospodarowanie energią [1].

Przykładem racjonalnego gospodarowania energią jest wykonanie termomodernizacji budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, która w zasadniczy sposób prowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na energię, a co za tym idzie redukuje ilość szkodliwych produktów spalania oraz zwalnia tempo zużywania zasobów paliw kopalnych.

2. AUDYT ENERGETYCZNY ORAZ ZINTEGROWANA OCENA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ WARUNKIEM OKREŚLENIA EFEKTYWNOŚCI CIEPLNEJ TERMOMODERNIZO-WANYCH BUDYNKÓW

Podstawę do oceny budynków pod względem energetycznym stanowią następujące wielkości tj.:

- współczynnik przenikania ciepła przegród budowlanych U [$W/m^2 \cdot K$],
- wskaźnik jednostkowego zużycia energii E.

Graniczne wartości liczbowe powyższych wielkości są ściśle określone w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3]. Wielkości te odnoszą się do budynków nowo projektowanych. Dla budynków istniejących podlegających termomodernizacji Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego [4] wprowadza większe wymagania dotyczące współczynników przenikania ciepła, na skutek określenia minimalnych oporów cieplnych przegród po termomodernizacji. Przykładowo po przeliczeniu dla ścian zewnętrznych graniczny współczynnik przenikania ciepła wynosi 0,25 W/(m^2·K). Dla porównania wg Rozporządzenia [3] wynosi on 0,30 W/(m^2·K) przy $t_i > 16°C$ (t_i - temperatura wewnętrzna w pomieszczeniu).
Oprócz wskaźników charakteryzujących konstrukcję budynków muszą być uwzględniane również układy wykorzystania energii tj. system grzewczy, przygotowania ciepłej wody, wentylacji, klimatyzacji.

W tym celu wykonywany jest audyt energetyczny określający zakres i parametry techniczne oraz ekonomiczne przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Wskazywane jest również optymalne rozwiązanie wraz z uwzględnieniem kosztów realizacji tego przedsięwzięcia oraz oszczędności energii, stanowiące jednocześnie założenia do projektu budowlanego [4]. Ponad to Dyrektywa 2002/91/WE [7] nakłada obowiązek na Państwa Członkowskie UE, aby ustalone zostały minimalne wymagania charakterystyki energetycznej dla budynków. Ustalając wytyczne, państwa członkowskie mogą dokonywać zróżnicowania pomiędzy budynkami nowymi i istniejącymi oraz różnymi kategoriami budynków. Jednym z głównych założeń Dyrektywy jest wprowadzenie obowiązku sporządzania dla obiektów budowlanych świadectw energetycznych – certyfikatów. Będą je musiały posiadać wszystkie obiekty wprowadzane do obrotu, np. obiekty podlegające sprzedaży, wynajęciu, dzierżawie lub wchodzące w skład spadku.

Świadectwa energetyczne będą sporządzane na podstawie dokonanej oceny energetycznej budynku. Polegać ona będzie na określeniu zintegrowanej charakterystyki energetycznej. W celu jej określenia, przyjęto metodę odnoszenia cech ocenianego budynku do cech budynku referencyjnego (porównawczego) tj. budynku, który spełnia aktualne wymagania stawiane budynkom zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [3]. Wyznaczenie charakterystyki energetycznej ocenianego budynku i jej porównanie z danymi określonymi dla budynku referencyjnego będzie podstawą obliczania wskaźnika zintegrowanej charakterystyki EP, w oparciu o który zostanie przyporządkowana analizowanemu budynkowi odpowiednia klasa energetyczna.

Wskaźnik EP obliczany jest wg poniższego wzoru [5]

$$EP = N_g \cdot f_g + N_w \cdot f_w + N_k \cdot f_k + N_s \cdot f_s \qquad (1)$$

gdzie:

N_g, N_w, N_k, N_s – wskaźniki charakterystyki zapotrzebowania energii odpowiednio na potrzeby ogrzewania i wentylacji, podgrzewania c.w.u. , klimatyzacji oraz oświetlenia obliczone wg metodologii podanej w projekcie Rozporządzenia Ministra Transportu i Budownictwa [5],

f_g, f_w, f_k, f_s – współczynniki udziału ilości energii w danej dziedzinie do całkowitego zużycia energii obliczone wg metodologii podanej w projekcie Rozporządzenia j/w.

Na podstawie zintegrowanego wskaźnika charakterystyki energetycznej ustala się klasę energetyczną budynku zgodnie z tabelą 2.

Tabela 2. Klasy energetyczne budynków [5].
Table 2. The class of the energy-efficient buldings [5].

Klasa energetyczna	Wartości współczynników EP
A	0,25
B	0,25<EP ≤0,5
C	0,5< EP ≤0,75
D	0,75< EP ≤1,0 (budynek referencyjny)
E	1,0< EP ≤1,25
F	1,25< EP ≤1,50
G	EP <1,50

W analizie charakterystyki energetycznej budynków poddanych termomodernizacji uwzględniono wyłącznie zapotrzebowanie energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji oraz podgrzania c.w.u., gdyż tylko takie potrzeby były rozpatrywane przy opracowywaniu audytów energetycznych, co jest zgodne z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury [4].

3. PRZEDSTAWIENIE DANYCH

Zintegrowaną ocenę charakterystyki energetycznej budynków wykonano dla obiektów budowlanych przed i po wykonaniu termomodernizacji w oparciu o audyty energetyczne. Analizie poddano:

- budynki mieszkalne wielorodzinne (BM1 - kubatura części ogrzewanej V_{og} = 22995 m^3, BM2 - $V_{og.}$ = 2770 m^3, BM3 - $V_{og.}$ = 3487 m^3),
- budynek zamieszkania zbiorowego (BZZ 1 - $V_{og.}$ = 12583 m^3),
- budynki użyteczności publicznej (BUP1 - $V_{og.}$ = 7389 m^3, BUP 2 - $V_{og.}$= 8113 m^3).

Termomodernizacja powyższych budynków spowodowała znaczne zmniejszenie zapotrzebowanie energii dla potrzeb ogrzewania i wentylacji poprzez docieplenie przegród zewnętrznych, stropodachów, stropów nad ostatnią kondygnacją, stropów nad piwnicą oraz wymianę stolarki okiennej i drzwiowej w pełnym zakresie lub tylko w części bud. (np. tylko klatki schodowe). Zakres prac termomodernizacyjnych przedstawia tabela 3.

W audytach energetycznych nie przewidziano modernizacji instalacji c.w.u., a zatem nie zmniejszono zapotrzebowania ciepła na przygotowanie c.w.u. W analizowanych budynkach c.w.u. uzyskuje się w następujący sposób:

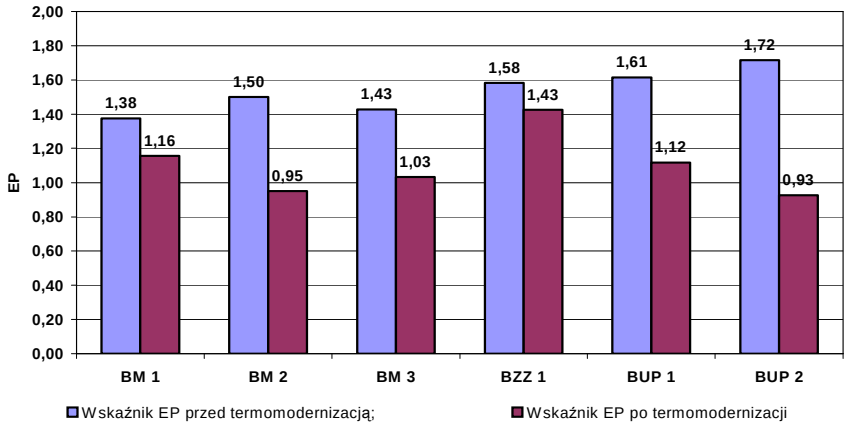
- BM1 – centralnie w węźle cieplnym grupowym, zasilanie budynku z sieci cieplnej,
- BM 2 – indywidualne przepływowe podgrzewacze c.w.u.,
- BM 3 – indywidualne podgrzewacze gazowe,
- BZZ 1 – centralnie w węźle grupowym parowo – wodnym zasilanym z kotłowni lokalnej, zasilanie budynku z sieci cieplnej,
- BUP 1, BUP 2 – miejscowo w punktach poboru przy użyciu term elektrycznych.

Po wykonaniu zintegrowanych charakterystyk energetycznych analizowanych budynków określono wartości wskaźnika EP (rys.1), a na ich podstawie klasy energetyczne budynków (tab. 4).

Tabela 3. Zakres prac termomodernizacyjnych analizowanych budynków [6].
Table 3. The range of the thermal modernization of the buildings [6].

Nazwa	BM1	BM2	BM3	BZZ1	BUP 1	BUP 2
Ocieplenie ścian zew.	X	X	X	X	X (20% ścian)	X
Ocieplenie stropodachu	X	X	X	X	X	X
Ocieplenie stropu nad piwnicą	X	X	X	-	-	-
Wymiana stolarki okiennej i drzwiowej	X (na klatkach schod.)	X (na klatkach schod.)	X (na klatkach schod.)	X (całości bud.)	X (całości bud.)	X (całości bud.)
Modernizacja inst. c.o.	X (zawory termostat.)	X (zawory termostat.)	X (zawory termostat.)	X (zawory termostat.)	Regulacja inst. c.o.	Regulacja inst. c.o.

W wyniku przeprowadzonej termomodernizacji zmniejszono wskaźniki jednostkowego zapotrzebowania energii E_{g1} [kWh/(m^2·a)] na potrzeby ogrzewania i wentylacji. Wskaźniki te, są mniejsze od wartości referencyjnych.



Rys. 1. Wartości wskaźnika EP analizowanych bud. przed i po termomodernizacji.
Fig. 1. EP index of the analised buildings before and after thermomodernization.

Wynika to, że Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego [4] stawia większe wymagania dla budynków niż Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny

odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3]. Wyjątkiem jest tutaj budynek BUP 1, w którego zakresie termomodernizacji z uwagi na wytyczne inwestora przewidziano docieplenie tylko ścian zewnętrznych w niepodpiwniczonej części budynku, co stanowi 20% całości przegród zewnętrznych.

Można również zauważyć, że pomimo znacznej poprawy izolacyjności przegród zewnętrznych po wykonaniu termomodernizacji do wartości większych niż wymagane przez Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [3] oraz modernizacji instalacji c.o. klasa energetyczna w bud. BM1, BM3, BZZ1 oraz BUP1 wzrosła nieznacznie, a w BM2 i BUP2 zwiększyła się z G do D. W żadnym jednak przypadku nie osiągnięto klasy większej niż D, czyli klasy, którą posiada budynek referencyjny, pomimo spełnienia ostrzejszych wymagań co do współczynników przenikania ciepła U [W/m^2] przegród budowlanych narzuconych przez Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [4].
Spowodowane jest to tym, że z uwagi na brak modernizacji instalacji c.w.u., nie uzyskano zmniejszenia zapotrzebowania ciepła na przygotowanie ciepłej wody. Wyniki obliczeń przedstawia rys. 3.

Tabela 4. Klasy energetyczne analizowanych bud. przed i po termomodernizacji.
Table 4. The energy efficiency class of the analysed buildings after and before thermomodernization.

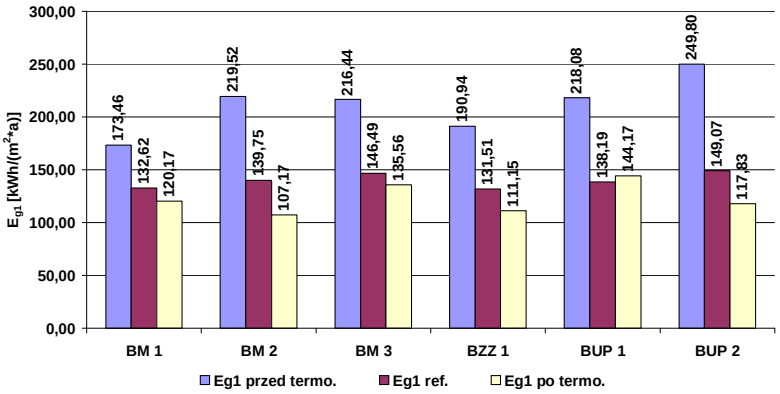
Oznaczenie bud.	Klasa energetyczna budynku	
	Przed termomodernizacją	Po termomodernizacji
BM 1	F	E
BM 2	G	D
BM 3	F	E
BZZ 1	G	F
BUP 1	G	E
BUP 2	G	D

Bardzo niekorzystnie w odniesieniu do budynku referencyjnego wypadają budynki, w których ciepła woda przygotowywana jest centralnie w grupowym węźle cieplnym lub kotłowni lokalnej i przesyłana do budynku przy wykorzystaniu zewnętrznej sieci cieplnej. Budynki te dodatkowo charakteryzują się największymi jednostkowymi zużyciami c.w.u. i są zamieszkiwane przez dużą liczbę osób. Ilość energii potrzebnej na przygotowanie 1m^3 ciepłej wody zasadniczo wpływa na zintegrowaną ocenę charakterystyki energetycznej i w przypadku wielkości jednostkowych wyższych od referencyjnych powoduje zaniżenie klasy energetycznej budynku.

Na podstawie poniższych zależności [5], można zauważyć, że wartość N_w (wskaźnika charakterystyki zapotrzebowania energii na potrzeby podgrzewania ciepłej wody) jest wyznaczana poprzez wielkości w, E_{w1} i E_{w1r}.

$$EP = N_g \cdot f_g + N_w \cdot f_w \tag{2}$$

$$N_g = w \cdot E_{g1} / E_{g1r} \tag{3}$$



Rys. 2. Wartości wskaźnika jednostkowego zapotrzebowania energii na cele ogrzewania i wentylacji przed i po termomodernizacji oraz dla bud. referencyjnych [kWh/(m^2 · a)]
Fig. 2. The unitary energy requirement index for heating and ventilation before nad after thermomodernization of the analysed and the referential buildings [kWh/(m^2 · a)

$$N_w = w \cdot E_{w1} / E_{w1r} \tag{4}$$

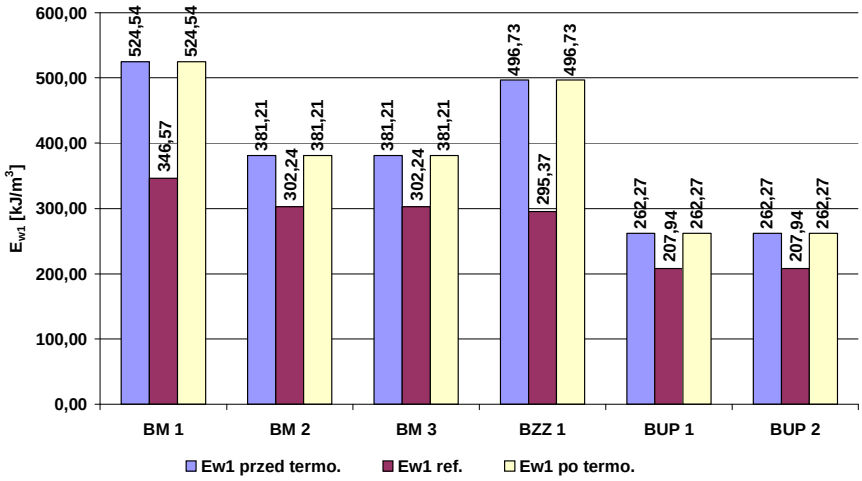
$$f_g = E_g / E \tag{5}$$

$$f_w = E_w / E \tag{6}$$

$$E = E_g + E_w \tag{7}$$

gdzie:
EP, N_g, N_w, f_g, f_w - jak we wzorze (1),
E_{g1} – wskaźnik jednostkowego zapotrzebowania energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji [kWh/(m^2·a)],
E_{w1} – ilość energii potrzebnej do przygotowania 1m^3 ciepłej wody w systemie występującym w rozpatrywanym budynku [kJ/m^3],
E_{g1r} - wskaźnik jednostkowego zapotrzebowania energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji dla budynku referencyjnego [kWh/(m^2·a)],
E_{w1r} - ilość energii potrzebnej do przygotowania 1m^3 ciepłej wody w budynku referencyjnym [kJ/m^3],
w – współczynnik przyjmowany w zależności od rodzaju nośnika energii (dla energii słonecznej i geotermalnej w = 0),
E_g – wartość sezonowego zapotrzebowania energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji [kWh/a],
E_w – sezonowe zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody w badanym budynku [kWh/a],
E, E_g, E_w – całkowite zapotrzebowanie na energię w badanym budynku [kWh/a].

Wartość E_{w1r} jest obliczona na podstawie stałych wielkości zawartych w przytaczanym wcześniej projekcie Rozporządzenia Ministra Transportu i Budownictwa w sprawie zakresu i formy świadectwa energetycznego budynku i lokalu mieszkalnego [5].



Rys. 3. Zapotrzebowania energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej [kJ/m^3]
Fig. 3. The energy requirement of hot water conditioning [kJ/m^3]

Powinno się zatem dążyć do zmniejszenia ilości energii potrzebnej do przygotowania 1 m^3 ciepłej wody poprzez podwyższenie sprawności źródła ciepła oraz zwiększania sprawności układów przewodów do jej przesyłu. Najlepsze efekty osiągnąć można poprzez zmianę źródła ciepła na źródło wykorzystujące energię słoneczną i/lub geotermalną. Wówczas wskaźnik charakterystyki zapotrzebowania energii na potrzeby podgrzewania wody N_w wyniósłby 0, co w efekcie prowadziłoby to do zmniejszenia współczynnika EP, a co za tym idzie do podwyższenia klasy energetycznej budynku i znacznego wzrostu efektywności cieplnej termomodernizowanych budynków.

4. WNIOSKI

Termomodernizacja budynku wykonana w oparciu o wytyczne Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [4] powoduje osiągnięcie wskaźników jednostkowego zapotrzebowania na energię na potrzeby ogrzewania i wentylacji niższych niż dla budynku referencyjnego. Osiągnięty efekt cieplny jest w tym zakresie zadowalający. Jednakże jak wykazała przeprowadzona analiza, planując termomodernizację budynków należy wziąć również pod uwagę poprawę sprawności instalacji c.w.u. oraz dążyć do zamiany istniejącego źródła ciepła na wykorzystujące energię słoneczną i/lub geotermalną.

W efekcie po wykonaniu zintegrowanej oceny charakterystyki energetycznej budynków poddanych termomodernizacji w zakresie przedstawionym w tabeli 3 tylko dwa budynki BM2 oraz BUP2 otrzymały klasę energetyczną odpowiadającą budynkom referencyjnym pomimo nie przeprowadzenia żadnych prac modernizacyjnych dotyczących instalacji c.w. Spowodowane to było tym, że współczynnik $E_{g1} < E_{gr}$. Budynki te użytkowane są przez małą liczbę osób (BM2), charakteryzują się niską jednostkową ilością ciepłej wody przypadającą na 1 osobę w ciągu doby (BUP2), a c.w.u. przygotowywana jest indywidualnie w punktach poboru. W pozostałych budynkach tj. BM1, BM3, BZZ1 oraz BUP1 pomimo znacznego zmniejszenia zapotrzebowania energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji, utrzymuje się nadal niska klasa energetyczna (niższa niż budynków referencyjnych),

pomimo znacznej redukcji kosztów ponoszonych na ogrzewanie, w stosunku do stanu przed termomodernizacją.

5. LITERATURA

[1] Zawadzki M., Kolektory słoneczne. Pompy ciepła. Na tak. Polska Ekologia 2003.

[2] Lewandowski Witold M., Proekologiczne źródła energii odnawialnej, WNT, Warszawa 2002.

[3] Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dn. 12.04.2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75/2002, poz. 690 z póź. zmianami).

[4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14.02.2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego (Dz.U. nr 33/2008 poz. 195.)

[5] Rozporządzenie Ministra Transportu i Budownictwa w sprawie zakresu i formy świadectwa energetycznego budynku oraz lokalu mieszkalnego – projekt (wersja z 2006 r.)

[6] Audyty energetyczne budynków BM1, BM2, BM3, BZZ1, BUP1, BUP2.

[7] Dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16.12.2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków - EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), (obowiązuje od 1.01.2006 r.)

THE THERMAL EFFICIENCY OF THERMOMODERNIZED BUILDINGS – APARTMENTS AND PUBLIC BUILDINGS

SUMMARY

The apartments and public buildings has been anatysed previously done energy audit. Thanks to it the energy-efficiency class was defined. The obtained results gives opportuinty to define energy efficiency of the thermomodernized buildings.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Jan RZĄDKOWSKI, dr inż.,

Politechnika Wrocławska
Katedra Konstrukcji Metalowych
Wybrzeże Wyspiańskiego 27,50-370 Wrocław
e-mail: jan_rzadkowski@poczta.onet.pl

Patryk JAROSZ, mgr inż.

PPiRB STALKON
ul. Sterowcowa 6/10, 54-130 Wrocław
e-mail: jarosz@wtw-engineering.com.pl

WYBRANE PROBLEMY PROJEKTOWE PRZENOŚNIKÓW BIOMASY DLA ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

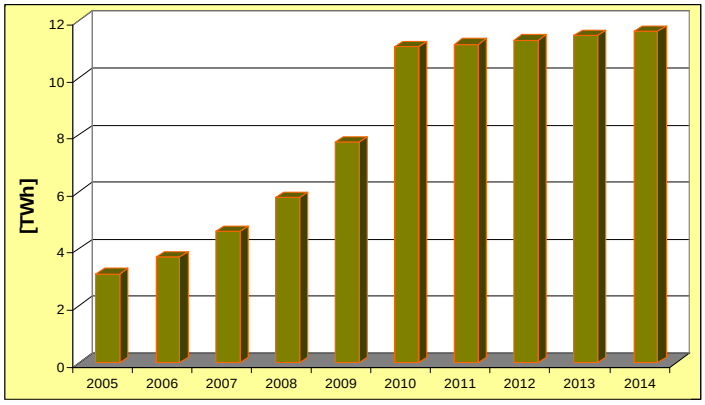
STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono problemy związane z wykorzystaniem biomasy do spalania oraz transportu biomasy do kotłów przy użyciu nowego typu przenośników. Omówiono podstawowe rodzaje biomasy oraz ich parametry fizyczne i opałowe jak również rozwiązania konstrukcyjne przenośników oraz ich ustrojów wsporczych. Szczególną uwagę zwrócono na obciążenia konstrukcji przenośników, a zwłaszcza na obciążenie wiatrem.

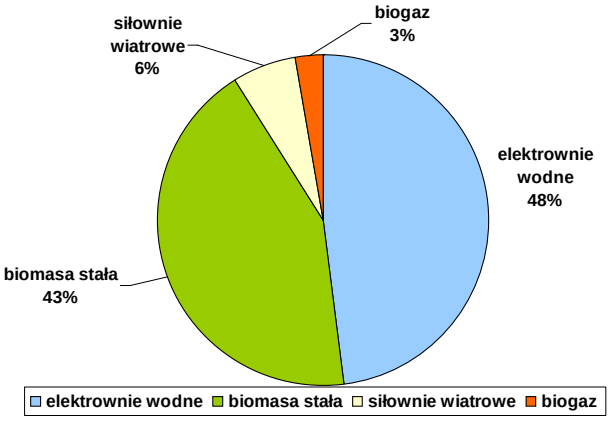
1. WYKORZYSTANIE SPALANIA BIOMASY W POLSKIEJ ENERGETYCE

Postawione Polsce przez UE zadanie ograniczenia emisji CO_2 ze spalania paliw kopalnych w istniejących realiach technicznych i ekonomicznych najłatwiej można spełnić tylko przez budowę instalacji spalających biomasę oraz bioodpady [1]. W 2006 roku liczba GWh prądu otrzymywanego ze spalania biomasy prawie dorównała liczbie GWh prądu otrzymywanego z hydroelektrowni dostarczających dotychczas największe ilości prądu ze źródeł odnawialnych. Do 2010 roku planuje się prawie dwukrotny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną otrzymanej z odnawialnych źródeł energii (OŹE). Diagram planowanego do 2014 roku wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną z OŹE przestawiono na rys. 1 [1]. Natomiast na rys. 2 pokazano diagram kołowy produkcji energii elektrycznej

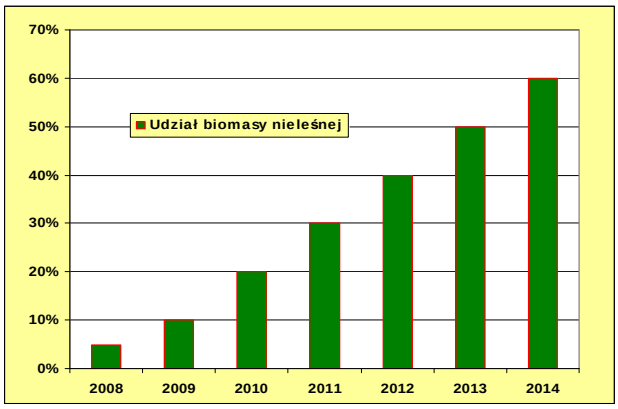
z różnych OŹE w Polsce w 2006 roku [1]. Budowa nowych elektrowni na biomasę jest wysokonakładowym i długotrwałym przedsięwzięciem inwestycyjnym, dlatego też najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest tzw. współspalanie węgla i biomasy. Zagadnienie te reguluje rozporządzenie [19], które jednostek wytwórczych energii, w których są spalane biomasa lub biogaz wspólnie z innymi paliwami, albo dla układów hybrydowych, w przypadku źródeł o mocy wyższej niż 5 MW, ustala obowiązkowy procentowy udział wagowy biomasy tzw. nieleśnej w łącznej ilości biomasy dostarczanej do procesu spalania. W przypadku spełnienia tego wymogu dane źródło energii uznawane jest jako OŹE. Wymagany udział będzie stopniowo zwiększany w latach 2008 – 2014 [1] (rys. 3).



Rys. 1 Planowane krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną z OŹE [1]
Fig. 1 Forecasting demand for electric energy in Poland produced from renewable energies resources [1]



Rys. 2 Diagram produkcji energii elektrycznej z różnych OŹE w Polsce w 2006 roku [1]
Fig. 2 Diagram of electric energy production derived in Poland from renewable energies resources at 2006



Rys. 3 Wymagany wagowy procent udziału biomasy pochodzącej z upraw energetycznych lub odpadów w łącznej ilości biomasy dostarczanej do procesu produkcji energii cieplnej wg [2]

Fig. 3 Required percentage by weight of biomass derived from industrial crop or utility wastes in total weight of biomass used for thermal energy production [2]

Rozporządzenie [2] zapewnia harmonijne wykorzystanie różnych rodzajów biomasy o różnej wartości energetycznej, także odpadów komunalnych z dużych aglomeracji mających wartość energetyczną , a także metanu powstającego na wysypiskach śmieci. Uniemożliwia też ograniczenie zainteresowania potencjalnych inwestorów tylko do odpadów z leśnictwa i sadownictwa oraz odpadów przemysłu drzewnego. Przybliżony potencjał energetyczny biomasy w przeliczeniu na miliony ton dobrej jakości węgla (Mtpu) przekracza 30 Mtpu [3]. Nie jest to jeszcze granica możliwości produkcji biomasy w Polsce, jako że nadal ok. 1,5 mln ha nieużytków, które mogą zostać niewielkimi nakładami środków na uprawy roślin energetycznych takich jak: jatrofa, rzepak, kukurydza, słonecznik bulwiasty (topinambur), wierzba energetyczna czy róża bezkończowa. Największe znaczenie gospodarcze w produkcji biomasy nieleśnej mają rzepak oraz kukurydza ze względu na wiedzę agrotechniczną dotyczącą tychże upraw, jaką mają nasi rolnicy. Uprawy rzepaku na biopaliwo mają dłuższą tradycję. W Polsce wybudowano już ok. 30 agrorafinerii estrów rzepakowych dla celów energetycznych. Obecnie wzrosło zainteresowanie kukurydzą pastewną ze względu na większe możliwości zastosowania tej rośliny w „zielonej energetyce". Kukurydza może służyć zarówno do spalania ziarna i kolb, spalania w postaci brykietów i peletów wytwarzanych ze słomy, jako dodatek w postaci kiszonki do produkcji biogazu, lub do wytwarzania etanolu z ziarna. Ze słomy kukurydzianej wytwarza się brykiety opałowe o gęstości 650 ÷ 900 kg/m^3. Zestawienie średnich plonów i charakterystyk opałowych ziarna oraz słomy kukurydzy pastewnej podano w tablicy 1. Natomiast w tablicy 2 podano własności termofizyczne różnych rodzajów biomasy [3], [4].

Tabela 1. Zestawienie plonów i charakterystyk opałowych biomasy z kukurydzy pastewnej[2]
Table 1. The schedule of crop and heat values of biomass derived from dent corn [2]

Frakcja kukurydzy	Średni plon suchej masy [t/ha]	Wilgotność w stanie świeżym [%]	Wartość opałowa w stanie świeżym [MJ / kg]	Wartość opałowa w stanie wysuszonym (wilgotność 10%) [MJ / kg]
słoma	8,5	50,3	6,5	15,5
plewki	0,02	28,3	7,6	16,2
ziarno	6,1	35,5	7,3	17,2

Tabela 2. Charakterystyki termofizyczne różnych gatunków biomasy [2]
Table 2. Thermo - physical characteristics of different brands of biomass [2]

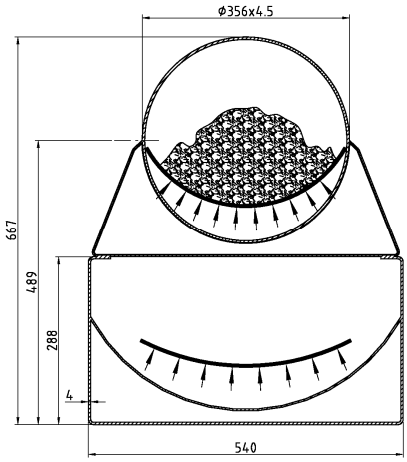
Parametry	Jednostka	Zrębki	Pelety	Słoma	Drewno w kawałkach
długość / szerokość	[mm]	5 - 50/5 - 50	5 - 50 / 5 - 50	-	150 - 350/60 - 80
średnia wilgotność	[%]	20 - 60	7 - 12	10 - 20	20 - 30
wartość opałowa	[MJ / kg]	6 - 16	16,5 - 17,5	14,4 - 15,8	11 - 22
zawartość popiołów	[%] suchej masy	0,6 - 1,5	0,4 - 1,0	4	0,6 - 1,5
gęstość usypowa	[kg / m^3]	150 - 400	650 - 700	90 - 165	380 - 640

Cechą charakterystyczną biomasy zarówno leśnej jak i nieleśnej jest konieczność rozdrobnienia surowca przed spaleniem np. przez przetworzenie na urządzeniach zwanych rębakami odpadów drzewnych czy wiązek z wierzby energetycznej do postaci tzw. zrębków. W przypadku niektórych rodzajów biomasy (np. trociny lub sieczka ze słomy) przed spaleniem konieczne jest ponowne jej zestalenie do postaci brykietów lub peletów. Przetworzona biomasa nie może być przechowywana przez dłuższy czas na składowiskach otwartych, gdyż łatwo chłonie wilgoć tracąc przy tym wartość opałową, oraz ulega biodegradacji. Dlatego też starają się tak zorganizować proces przygotowania biomasy, aby możliwie szybko po przetworzeniu przesłać ją do spalenia bez narażenia jej na wpływ czynników atmosferycznych na otwartych składowiskach. Podstawowym środkiem transportu biomasy ze składowisk otwartych lub silosów do instalacji spalających są przenośniki taśmowe.

2. WSPÓŁCZESNE KONSTRUKCJE PRZENOŚNIKÓW BIOMASY

Przenośniki stosowane do transportu węgla, w których taśma przesuwa się po rolkach, w przypadku transportu biomasy są konstrukcjami nieekonomicznymi ze względu na swój ciężar. W ostatnich latach do transportu biomasy używa się przede wszystkim tzw. przenośników rurowych. Są to konstrukcje o przekroju pokazanym na rys. 4. W górnej rurowej części przekroju, na poduszce sprężonego powietrza porusza się taśma transportująca biomasę, zaś w prostokątnej komorze dolnej następuje powrót taśmy unoszonej także na poduszce sprężonego powietrza, lub na rolkach w starszych typach rozwiązań. Sprężone powietrze zapewniają wentylatory zamocowane do obudowy. Obudowa przenośników rurowych jest ustrojem samonośnym przenoszącym obciążenia od ciężaru własnego, transportowanego materiału, oraz od obciążeń środowiskowych takich jak wiatr, śnieg czy oblo-

dzenie. Składa się ona z segmentów scalanych za pośrednictwem połączeń kołnierzowych (rys. 5). Schematem statycznym tychże przenośników, zarówno w przypadku obciążeń pionowych jak i poziomych, jest belka ciągła. Przęsła belki ciągłej mają rozpiętość *L* wynoszącą 20,0 ÷ 25,0 m w zależności od wartości obciążeń. Podporami belki przenośnika mogą być podpory słupowe oraz punkty podwieszenia belki do cięgien zamocowanych do głowic słupów (rys. 6). Wówczas układ statyczny przenośników i ich podpór należy rozpatrywać jako cięgnowo – belkowy. Stosunkowo rzadko przenośniki rurowe są układane na konstrukcjach wsporczych typu mostowego (rys. 7). Ma to miejsce w przypadkach, gdy nie można zapewnić dostępu do wentylatorów, które w razie awarii należy wymienić. Zazwyczaj ciągi transportowe przenośników rurowych są prowadzone tak, aby wszelkie naprawy mogły być wykonywane z podnośników koszowych umieszczonych na samochodach. Typy podpór cięgnowo – belkowych układów statycznych przenośników są określane w zależności od podobieństwa do liter alfabetu jako „A”, „H”, „T”, „Y”.



Rys. 4 Przykład przekroju pneumatycznego taśmowego przenośnika rurowego
Fig. 4 An example of cross – section of tubular pneumatic band conveyor

Rys. 5 Widok segmentów obudowy taśmowego przenośnika rurowego firmy BRUKS-KLÖCKNER
Fig.5 Segments of tubular pneumatic band conveyor produced by BRUKS – KLÖCKNER

Rys. 6 Przykład belkowo – cięgnowej konstrukcji taśmowego przenośnika rurowego
Fig.6 An example of beam – ties structure tubular pneumatic band conveyor

Rys. 7 Przykład taśmowego przenośnika rurowego opartego na wiszącej konstrukcji mostowej
Fig.7 An example of tubular pneumatic band conveyor lying on hanging bridge structure

3. OBCIĄŻENIA KONSTRUKCJI PRZENOŚNIKÓW BIOMASY

Takie parametry jak szerokość i prędkość przesuwu taśmy przenośnika rurowego, siła ciągu wentylatorów etc., są dobierane przez technologa. Rozpiętość przęseł belki obudowy oraz parametry wytrzymałościowe jej przekroju oraz cięgna i podpory są przyjmo-

wane przez konstruktora budowlanego. Ustalenie wartości obciążeń przęseł przenośników sprawia duże trudności.

Obciążenie charakterystyczne ciężarem własnym obudowy przenośników rurowych wynosi ok. 1 – 1,15 kN/m. Ciężar własny przenośników zwiększa obciążenie wiązką kabli zasilających i sterujących, których ciężar wraz z konstrukcją podwieszeń do obudowy przyjmuje się równy 0,6 – 1,0 kN/m. Przy oszacowaniu obciążeń obliczeniowych przyjmuje się współczynnik obciążenia ciężarem własnym obudowy γ_o = 1,1, zaś współczynnik obciążenia ciężarem własnym wiązki kabli γ_k = 1,2. Obciążenie ciężarem transportowanej biomasy ustala technolog. W zależności od rodzaju biomasy i wielkości taśmy obciążenie to zazwyczaj wynosi 0,10 – 0,30 kN/m, zaś współczynnik obciążenia biomasą przyjmuje się γ_b = 1,4. Obciążenie śniegiem i oblodzeniem można ustalić według przedmiotowych norm. Należy przy tym pamiętać że obciążenie śniegiem i oblodzeniem działa rozłącznie. Ponadto obciążenie śniegiem można traktować jako rozłączne z obciążeniem wiatrem, zaś przy maksymalnym obciążeniu wiatrem należy przyjmować, że działa ono łącznie tylko z 25 % wartości obciążenia oblodzeniem. Największym problemem jest ustalenie obciążeń od wiatru, zwłaszcza dynamicznych oddziaływań wiatru na konstrukcję obudowy nośnej. Z wieloletnich doświadczeń producentów przenośników rurowych wynika, że dla maksymalnej rozpiętości przęseł L = 20,0 ÷ 25,0 m konstrukcja wieloprzęsłowej belki obudowy nośnej nie wpada w drgania związane z odrywaniem się wirów Benarda – Karmana. Współczynnik działania dynamicznych porywów wiatru β wyraża się wzorem

$$\beta = 1 + \psi \sqrt{\frac{r}{C_e}(k_b + k_r)} \tag{1}$$

w którym współczynnik $\psi \leq 4$ szczytowej wartości obciążenia wyznacza się ze wzoru

$$\psi = \sqrt{2\ln(600n)} + 0{,}577[\sqrt{2\ln(600n)}]^{-1} \tag{2}$$

Wyznaczenie pierwszej częstotliwości n drgań własnych belki obudowy można przeprowadzić programem ROBOT. Wartości współczynników chropowatości terenu r oraz współczynnika ekspozycji C_e zależą od rodzaju terenu, aczkolwiek w obliczeniach praktycznych przyjmuje się zwykle jak dla terenu A: r = 0,08 oraz C_e według tablicy 4 normy [6]. Współczynnik oddziaływania turbulentnego wiatru o częstotliwościach pozarezonansowych należy przyjmować k_b = 0,4 zgodnie z normą [6]. Natomiast współczynnik oddziaływania turbulentnego wiatru o częstotliwościach rezonansowych wyznaczać należy według normy [7] ze wzoru

$$k_r = \frac{2\pi K_L K_o}{\delta_s + \delta_a} \tag{3}$$

przyjmując współczynnik K_L zmniejszający oddziaływanie rezonansowe porywów ze względu na rozmiary obiektu ze wzoru [6]

$$K_L = \frac{\pi}{3}\left[\frac{1}{1+\frac{8nH}{3V_H}}\right]\left[\frac{1}{1+\frac{10nL}{V_H}}\right] \tag{4}$$

gdzie L jest rozpiętością przęsła pomiędzy podporami, H jest wysokością przekroju obudowy przenośnika, zaś V_H jest prędkością wiatru na wysokości połowy rozpatrywanego przęsła obudowy przenośnika wyznaczoną według normy [6]. Współczynnik K_o energii porywów wiatru należy wyznaczać ze wzoru [6]

$$K_o = X^2 [(1 + X^2)^{4/3}]^{-1} \tag{5}$$

gdzie

$$X = 1200n(V_H)^{-1} \tag{6}$$

Logarytmiczny dekrement δ_s konstrukcyjnego tłumienia drgań belki obudowy przenośnika według tablicy Z3-2 normy [7] należy oszacować jako równy sumie składników δ_{si} wynoszących: δ_{s1} = 0,015 – za pełnościenną konstrukcję spawaną, δ_{s2} = 0,015 – dodatek za połączenia kołnierzowe segmentów obudowy przenośnika, δ_{s3} = 0,030 – dodatek za cięgna, δ_{s4} = 0,010 – dodatek za tłumiące oddziaływanie taśmy. Zatem

$$\delta_s = \Sigma\delta_{si} = 0{,}015+0{,}015+0{,}030+0{,}01 = 0{,}070 \tag{7}$$

Logarytmiczny dekrement δ_a aerodynamicznego tłumienia drgań przenośnika według normy [7] należy obliczać ze wzoru

$$\delta_a = \frac{\rho T V_H C_x D}{2m_e} \tag{8}$$

gdzie: ρ = 1,25 kg/m^3 jest gęstością powietrza, współczynnik oporu aerodynamicznego C_x = 1,30 (według danych producenta), D – szerokość przekroju obudowy przenośnika [m], $T = n^{-1}$ – okres pierwszej częstotliwości drgań własnych przęsła obudowy przenośnika [s], m_e – masa równoważna [kg/m] obudowy przenośnika wyznaczona według procedury podanej w normie [7].

Po wyznaczeniu za pomocą wzorów (1) ÷ (8) współczynnika β działania dynamicznych porywów wiatru charakterystyczne obciążenie poziome p wiatrem na 1mb przenośnika, działające poprzecznie do jego osi podłużnej, wyznacza się ze wzoru

$$p = q_k C_e C_x H \beta \tag{9}$$

gdzie q_k jest charakterystycznym dla danej strefy wiatrowej ciśnieniem prędkości wiatru [kN/m^2] według [6]. Współczynnik obciążenia wiatrem wynosi γ_w = 1,3.

Ugięcie całkowite belki nośnej przenośnika nie powinno przekraczać wartości 0,50 m.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiony zalecenia odnośnie ustalania obciążeń przenośników rurowych są rezultatem prac projektowych przeprowadzonych przez autorów w PPiRB STALKON przy modernizacji elektrociepłowni w Stalowej Woli i Białymstoku, przystosowujących istniejące instalacje do uzyskiwania energii z biomasy. Także dużymi elektrociepłowniami, już produkującymi w Polsce energię z biomasy, są zakłady w Czarnej Białostockiej, Mielcu, Ostrołęce, Przemyślu i Świeciu. W chwili obecnej są prowadzone w różnym stadium zaawansowania prace projektowe w kilkunastu dużych elektrociepłowniach jak np. we Wrocławiu. Oprócz dużej liczby małych kotłowni wykorzystujących biomasę niedrzewną, powstało, jest na etapie uruchomiania bądź w budowie, kilkadziesiąt zespołów prądotwórczych i ciepłowniczych wykorzystujących bioodpady z wysypisk śmieci i oczyszczalni ścieków. Oszacowuje się, że we wszystkich modernizowanych oraz projektowanych w Polsce zakładach energetycznych niezbędne jest zbudowanie ponad dwudziestu kilometrów estakad transportujących biomasę. Tak więc przy istniejącym ogromnym zapotrzebowaniu na tego typu konstrukcje brakuje zarówno zaznajomionych z problematyką projektantów, jak i rzetelnej przedmiotowej informacji technicznej. Braki te wykorzystują zagraniczni producenci przenośników rurowych oferujących kompleksową dostawę zarówno przenośników, jak i ich budowlanych konstrukcji wsporczych. Stalowe konstrukcje wsporcze są oferowane w cenie jednostkowej (za 1 kg stali) jak za przenośniki, co przynajmniej kilkakrotnie podraża wartość trasy transportowej biomasy. Wykorzystywany jest tutaj pośpiech inwestycyjny. Spalanie biomasy jest w istniejących w Polsce realiach najłatwiejszym sposobem ograniczenia emisji CO_2 ze spalania paliw kopalnych. Niewywiązanie się z ograniczenia emisji CO_2 może bowiem oznaczać kary sięgające nawet 1% dochodu narodowego brutto. Warto jednak zminimalizować ogromne koszty inwestycyjne w energetyce prowadząc szkolenia dla projektantów np. przez Izby Budowlane.

5. LITERATURA

[1] GUS 2007; KAPE S.A.; URE 2007 (niepublikowane dane wg stanu na dzień 27.04.2007 r. oraz materiały robocze do „Polityki energetycznej Polski do 2025 roku".

[2] Rozporządzenie z dn. 19.12.2005 r., Dz. U. nr 261, poz. 2187 z późn. zm.

[3] Janowicz L., Suszenie kukurydzy., Agroenergetyka nr 4(22), 2007.

[4] Niedziółka I., Zuchniarz A., Kukurydza energetyczna., Agroenergetyka nr 4(22), 2007.

[5] Rządkowska A., Rządkowski J., Techniczno – ekonomiczne ograniczenia „zielonej energetyki" w realiach polskich., Konferencja naukowa „Geopolityczne aspekty bezpieczeństwa energetycznego krajów Europy Środkowej i Wschodniej"., Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 6 – 7 grudnia 2007.

[6] PN-77/B-02011 Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem.

[7] PN-93/B-03201 Konstrukcje stalowe. Kominy. Obliczenia i projektowanie.

CHOSEN DESIGN PROBLEMS OF TUBULAR PNEUMATIC BAND CONVEYORS FOR BIOMASS

SUMMARY

The paper presents the problems of applying and transportation a biomass to power boilers by using the tubular pneumatic band conveyors in the "green" energy production process. Discussed are different brands of a biomass and their thermo-physical parameters. Moreover the different kinds of conveyors and their supporting structures are presented. The special attention is paid for loads (especially for a wind load) acting on the tubular pneumatic band conveyors.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Jan RZĄDKOWSKI, dr inż.

Politechnika Wrocławska
Katedra Konstrukcji Metalowych
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
e-mail: jan_rzadkowski@poczta.onet.pl

Agnieszka RZĄDKOWSKA, stud. V roku

Uniwersytet Wrocławski
Instytut Studiów Międzynarodowych
ul. Koszarowa 3, 51-149 Wrocław
e-mail: akage@o2.pl

NIEKTÓRE ASPEKTY POLSKIEJ POLITYKI W ZAKRESIE ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono założenia polityki energetycznej UE do 2020 roku oraz wynikające z niej zobowiązania Polski w zakresie realizacji określonych celów, dotyczących wykorzystania źródeł energii odnawialnej. Oceniono zasoby źródeł energii odnawialnej w Polsce i omówiono ich dotychczasowe wykorzystanie. Przedstawiono również prognozy wywiązania się Polski z przyjętych zobowiązań.

1. POLITYKA ENERGETYCZNA UNII EUROPEJSKIEJ

Globalne zagrożenia spowodowane zmianami klimatu doprowadziły do przyjęcia Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych dotyczącej Zmian Klimatycznych na tzw. Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 roku. Dokumentem uzupełniającym porozumienia Konwencji jest podpisany w grudniu 1997 roku Protokół z Kioto. Na mocy tego protokołu ratyfikujące go kraje zobowiązały się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych średnio

o 5,2 % do 2012 roku w stosunku do poziomu z 1999 roku, oraz do dalszej, stałej redukcji ich poziomu. Poziom redukcji dla krajów Unii Europejskiej ustalono na 8 %. Przyjęte zobowiązanie ukierunkowało na najbliższe dziesięciolecia politykę Unii Europejskiej w zakresie energetyki. Podstawą tejże polityki jest dyrektywa nr 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej z dnia 27 września 2001 roku w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych. Do źródeł energii odnawialnej dyrektywa zalicza energię wodną rzek i pływów morza, energię geotermalną, energię wiatru, energię uzyskaną ze spalania bioodpadów, biomasy stałej oraz biogazu. Cele rozwoju energetyki odnawialnej, przyjęte na podstawie propozycji Komisji Europejskiej i zatwierdzone przez Radę UE w dniach 8-9 marca 2007 roku w dokumencie „Road Map: Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future", z dnia 10.1.2007 roku zakładają [5]:

▪ osiągnięcie do 2010 roku (cel bliższy):

12 % udziału w bilansie energii pierwotnej energii ze źródeł odnawialnych; 21 % oszczędności w zużyciu energii elektrycznej brutto; 5,75 % udziału biopaliw w całkowitej konsumpcji paliw transportowych;

▪ osiągnięcie do 2020 roku (cel dalszy):

redukcji emisji CO_2 o 20 % (w przypadku, gdy Stany Zjednoczone nie ratyfikują Protokołu z Kioto, to wówczas planuje się redukcję emisji CO_2 nawet o 30 %); osiągnięcie 20 % udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym jej zużyciu; uzyskanie 10 % udziału biopaliw w całkowitej konsumpcji paliw transportowych.

Powyższe cele będą realizowane na dwóch polach działalności polityki energetycznej: a) oszczędzaniu energii, b) ograniczenie produkcji z paliw kopalnych równolegle ze wzrostem wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OŹE).

Na drugim polu realizacji celu dyrektywa nr 2001/77/WE wprowadza takie działania jak:

- regulacje prawne ograniczające emisję gazów cieplarnianych;
- mechanizmy rynkowe wspierające rozwój energetyki opartej na OŹE.

Regulacje prawne ustalają dla każdego kraju UE dopuszczalny tonaż emitowanego CO_2, oraz procentowy limit udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym. Przykładowo Komisja Europejska przydzieliła Polsce limit 208,5 mln ton emisji CO_2 rocznie, tj. niższy o 26 % niż postulowaliśmy, oraz ok 15 % mniej niż faktycznie emitujemy. Przewidziano również karę 100 € za 1 tonę emitowanego ponad określony limit CO_2. Ze względu na istniejące w poszczególnych krajach UE sprzężone uwarunkowania ekonomiczne, techniczne i społeczne, KE przyjęła zasadę indywidualnego ustalania procentowych limitów udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym dla każdego kraju. Przykładowo KE zakłada, że do 2020 roku Szwecja osiągnie pułap 50,0 % z obecnego poziomu 39,8 %, Austria 34,0 % z poziomu 23,3 %, Francja 23,0 % z 10,3 %, Niemcy 18,0 % z 5,8 %, natomiast Polska 15,0 % z 7,2 %. Proponowane limity, a nawet sposób obliczania obecnego poziomu udziału energii odnawialnej spowodowały, że żaden z krajów UE nie jest zadowolony z propozycji KE z różnych przyczyn. Tak więc Francja domaga się, aby przy obliczaniu energii odnawialnej KE wzięła pod uwagę ilość emitowanego CO_2. Zmniejszyłoby to istotnie ponoszone nakłady na energetykę opartą na OŹE, jako że obecnie ok. 80 % energii elektrycznej otrzymuje się we Francji z elektrowni atomowych. Z kolei Polska zwraca uwagę na sposób szacowania ilości energii ze źródeł odnawialnych. Ministerstwo Gospodarki podaje, że obecnie faktyczny udział OŹE w produkcji energii w Polsce wynosi

tylko 3,0 %, a nie 7,2 %, jak oszacowali eksperci UE. Różnica w szacunkach wynika głównie z długotrwałego okresu dochodzenia do pełnej sprawności elektrowni spalających biomasę. Ponadto Polska wraz z nowoprzyjętymi krajami UE zwracają uwagę na niewłaściwe kryteria jakimi kierowano się przy ustalaniu limitów emisji CO_2, np. Niemcy mają pięciokrotnie wyższy limit emisji niż Polska. Powszechna krytyka dotychczasowej polityki UE w zakresie limitów emisji sprawiła, że nowe ustalenia dotyczące ich korekt przewiduje się w pierwszym kwartale 2008 roku. Jednakże eksperci przewidują, że jest to dopiero początek długotrwałych negocjacji w tej kwestii [5].

Mechanizmem rynkowym, wspierający rozwój energetyki opartej na produkcji energii z odnawialnych źródeł, wprowadzonym przez KE, są tzw. „zielone certyfikaty", tj. system zbywalnych świadectw pochodzenia energii elektrycznej. Podobnym mechanizmem ekonomicznym są tzw. „czerwone certyfikaty" dla energii elektrycznej wytwarzanej w kogeneracji. Świadectwa te mają wartość ustaloną przez powołane fundusze i są stowarzyszone z mechanizmami ekonomicznymi umożliwiającymi uzyskanie takich korzyści jak:
- ceny gwarantowane na zakup „zielonej energii", czyli energii otrzymanej z OŹE,
- preferencje przetargowe dla przedsiębiorstw wykorzystujących lub produkujących energię odnawialną,
- obowiązek zakupu przez dystrybutorów energii lub operatorów sieci energetycznych prądu wyprodukowanego z OŹE,
- wprowadzanie ulg podatkowych dla przedsiębiorstw produkujących energię ze źródeł odnawialnych, lub uczestniczących w wykorzystaniu OŹE.

Przedsiębiorstwa produkujące energię wyłącznie z tradycyjnych źródeł tj. węgla kamiennego, węgla brunatne-go, ropy naftowej i gazu ziemnego, będą musiały nabywać „zielone" i „czerwone" certyfikaty finansując w ten sposób rozwój energetyki opartej na OŹE.

Proponowany przez KE wolny rynek zielonych certyfikatów wewnątrz UE w 2008 roku (dotychczas certyfikaty są ważne tylko na terenie danego kraju) zdaniem nowoprzyjętych krajów może spowodować masowe wykupywanie certyfikatów przez potężne koncerny energetyczne z krajów „starej Unii", bazujące na paliwach kopalnych. W rezultacie zostaną wypełnione formalnie wskaźniki zużycia energii odnawialnej przy niezmienionej emisji CO_2. Biedniejsze kraje zaś mogą stracić możliwości finansowe zmiany profilu produkcji energii i w przyszłości mogą zapłacić wysokie kary. Proponowana wysokość kar spowodowałaby gwałtowny wzrost cen energii i w rezultacie spadek konkurencyjności, a nawet kryzys szybko rozwijających się gospodarek nowoprzyjętych krajów. Na razie system zielonych certyfikatów wydaje się sprawnym narzędziem ekonomicznym tylko w obrocie krajowym, przy istniejących dysproporcjach możliwości finansowych pomiędzy producentami energii w różnych krajach UE [5].

Odnośnie energii otrzymanej z OŹE polityka Brukseli nie jest spójna. Kontrowersje wywołuje sprawa tzw. roślin energetycznych jak np. rzepak, owies, kukurydza, etc., będących surowcami do produkcji tzw. biomasy nieleśnej. Dopłaty dla producentów tychże roślin miały wynosić nawet do 45 € na 1 ha upraw. Zamiary KE wycofania się z dopłat wywołują szereg protestów krajów o dużym potencjale gospodarki rolnej, w których rolnicy już zakontraktowali duże ilości roślin energetycznych. Przykładowo w Polsce dotyczy to producentów rzepaku, którzy obsiali nim areał ponad 0,5 mln ha [5].

2. POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI

2.1. Krajowe zasoby energetyczne

Pod względem zasobów surowców energetycznych przypadających na mieszkańca Polska znajduje się w uprzywilejowanej pozycji w UE. Wynika to z relatywnie dużej ilości zasobów węgla kamiennego obliczanych na 47 000 mln ton, oraz węgla brunatnego szacowanych na 14 000 mln ton [1]. Obecnie wydobywamy rocznie 90 mln ton węgla kamiennego, przeznaczając 43 mln ton na potrzeby energetyki.

Zasoby ropy naftowej na Podkarpaciu, Pobrzeżu Bałtyku oraz na Pomorzu Zachodnim są pomijalnie małe. Lepsza sytuacja jest w przypadku gazu ziemnego. Krajowe zasoby gazu ziemnego wynoszą ok. 150 mld m^3, wydobywamy ok. 5 mld m^3, ale stanowi to tylko uzupełnienie gazu z importu, gdyż zużywamy rocznie ok. 13 mld m^3 gazu.

Również zasoby biomasy, tzw. leśnej i nieleśnej, jaką dysponuje Polska, są relatywnie duże. Według monografii [3] przybliżony potencjał energetyczny biomasy w przeliczeniu na miliony ton dobrej jakości węgla (Mtpu) przekracza 30 Mtpu. Nie jest to jeszcze granica możliwości produkcji biomasy, jako że nadal w Polsce jest ok. 1,5 mln ha nieużytków, które mogą zostać niewielkimi nakładami środków zagospodarowane na uprawy roślin energetycznych. Nieznane są natomiast krajowe zasoby bioodpadów z wysypisk śmieci i oczyszczalni ścieków, aczkolwiek są już one wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej i cieplnej. Potencjał energetyczny w Mtpu poszczególnych gatunków biomasy zestawiono w tabl. 1 [1].

Tabela 1. Krajowy potencjał energetyczny poszczególnych gatunków biomasy [1]
Table 1. Energetic capability of different brands of biomass in Poland [1]

Lp.	Gatunek biomasy (surowiec)	[Mtpu]
1.	słoma	20,0
2.	odpady w leśnictwie	1,5
3.	odpady w przemyśle drzewnym	2,0
4.	ścieki w papierniach	0,7
5.	biogaz	5,0
6.	plantacje roślin energetycznych	1,0÷5,0
7.	paliwa z roślin energetycznych (olej rzepakowy i alkohol etylowy)	0,3÷1,0
8.	odpady pochodzenia zwierzęcego i roślinnego (przemysł spożywczy)	0,7÷2,0
	Razem	> 30,0

Duże możliwości uzyskania energii z biogazu daje hodowla zwierząt. Wykorzystanie biogazu z gnojowicy opłacalne jest już przy produkcji trzody chlewnej lub bydła o stadzie liczącym ok. 600 szt. Takich gospodarstw w Polsce jest ponad 3000. Budowa biogazowni szczególnie zalecana na składowiskach odpadów komunalnych, które w Polsce emitują do atmosfery ponad 600 mln m^3 metanu rocznie. Powstający biogaz można wykorzystać gospodarczo nawet w 30÷40%.

Energetyczne zasoby wodne Polski są niewielkie ze względu na niezbyt obfite opady, dużą przepuszczalność gruntów i niewielkie spadki terenów. Łączna moc zainstalowana dużych elektrowni wodnych (bez elektrowni szczytowo - pompowych, które nie są zaliczane do OŹE) wynosi około 630 MW, a małych 160 MW. Moc aktualnie istniejących w Polsce elektrowni wodnych może być zwiększona o 20÷30% poprzez modernizację agregatów prądotwórczych. Szansą rozwoju hydroenergetyki w Polsce są małe elektrownie

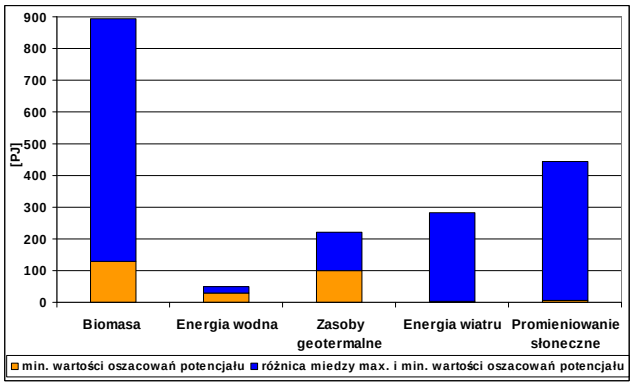
wodne, budowane przeważnie na istniejących (często zdewastowanych) niskich stopniach wodnych. Warunki wodne polskich rzek powodują, iż znaczna część małych elektrowni wodnych dysponuje mocami zainstalowanymi poniżej 100 kW. Należy pamiętać, że ok. 250 takich elektrowni zostało odbudowanych głównie na rzekach północnej i zachodniej Polski. Natomiast przed wojną na rzekach Niżu Polskiego działało ok. 6000 niewielkich prywatnych stopni wodnych, które po wojnie zostały upaństwowione i zdewastowane.

Warunki rozwijania energetyki wiatrowej w kraju określa się jako sprzyjające. Najlepsze są w pasie wybrzeża od Helu do Ustki, gdzie energię wiatru w kWh/m^2/rok szacuje się na wysokości 30 m npm w terenie otwartym szacuje się na 2500 kWh/m^2/rok. W szerokim na ok. 70 km pasie wybrzeża, na Suwalszczyźnie oraz w Beskidzie Śląskim i Żywieckim warunki określa się jako dobre, zaś energię wiatru szacuje się na równą 1250 kWh/m^2/rok ÷ 1500 kWh/m^2/rok. Ponadto średnie warunki są na obszarze Wielkopolski, Niziny Mazowieckiej oraz Kotliny Sandomierskiej. Niezurbanizowane oraz niechronione przyrodniczo i krajobrazowo obszary, na których można rozwijać energetykę wiatrową mają powierzchnię ok. 3000 km^2. Przyjmując, że na obszarze 1 km2 można zbudować elektrownię wiatrową o mocy 2÷3 Mw, oraz średni czas wykorzystania zainstalowanej mocy równy 1500 godzin rocznie, można oszacować docelową krajową produkcję energii elektrycznej na 10 000 GWh rocznie.

Energia geotermalna jest najmniej wykorzystanym, a równocześnie największych zasobów energetycznych w kraju. Stosunkowo płytko położone wody geotermalne znajdują się na 80 % terytorium Polski. Temperatura krajowych wód geotermalnych wynosi ~ 80° C, a więc nadają się tylko do celów grzewczych, natomiast nie mogą być wykorzystane do produkcji prądu elektrycznego. Największe znaczenie gospodarcze mogą mieć baseny szczecińsko – łódzki, karpacki i grudziądzko – warszawski o zasobach ocenianych odpowiednio na 246000 tpu/km^2, 265000 tpu/km^2 oraz 168000 tpu/km^2 (ton paliwa umownego/km^2, gdzie 1 tpu = 29,33 GJ). Czynnikami ograniczającymi wykorzystanie tego zasobu są: brak doświadczenia polskich energetyków na tym polu, oraz większe nakłady inwestycyjnie niż dla innych OŹE.

Energia całkowitego promieniowania słonecznego (tj. promieniowania bezpośredniego i rozproszonego) w Polsce wynosi maksymalnie 1,0 kW/m^2 w optymalnych warunkach tj. letnie południe przy bezchmurnym niebie. Przy obecnie najbardziej sprawnych kolektorach słonecznych na ciepło może zostać przekształcone tylko ok. 75 % promieniowania całkowitego. Zatem w obecnych warunkach ekonomicznych stosowanie solarnych instalacji grzewczych oraz prądu z z ogniw fotoelektrycznych nie zapewnia zwrotu poniesionych nakładów. Jest jednak wyjątek, a mianowicie kamery kontrolujące ruch drogowy zasilają fotoogniwa i to zastosowanie stanowi przykład najszybszego zwrotu poniesionych kosztów inwestycyjnych nie tylko w Polsce.

Skalę trudności oszacowania ilości energii, którą można otrzymać z OŹE pokazuje diagram na rys.1. Podano na nim minimalne i maksymalne wartości oszacowań przez rzeczoznawców KAPE potencjałów energetycznych OŹE w Polsce [3].



Rys. 1. Oszacowanie potencjału zasobów energii odnawialnych w Polsce [3]
Fig. 1. Capacity estimation of renewable energy resources in Poland [3]

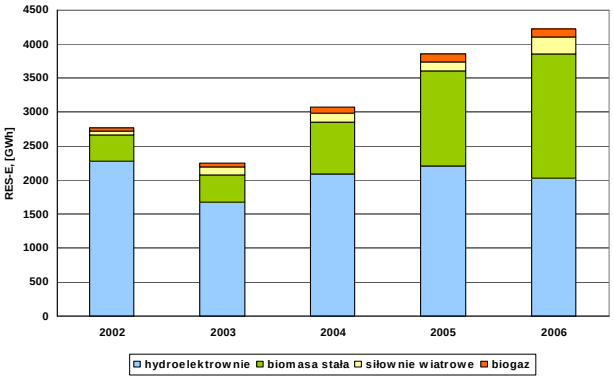
2.2. Realizacja rozwoju energetyki opartej na źródłach odnawialnych

Stawiane Polsce przez UE zadania do 2015 roku, ze względu na ich skalę, w istniejących realiach można spełnić tylko przez budowę instalacji spalających przede wszystkim biomasę i bioodpady, w następnej kolejności przez budowę małych elektrowni wodnych i wiatrowych, zaś na końcu elektrociepłowni na biogaz oraz ciepłowni geotermalnych. Ma to odbicie w tabeli nr 1 gdzie zestawiono dotyczące produkcji energii elektrycznej, której produkcję łatwo zmierzyć.

Tabela 2. Zestawienie mocy zainstalowanej koncesjonowanych instalacji uzyskujących energię elektryczną ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2006 roku [2]
Table 2. The schedule of installed power in electricity power stations generating electric energy from renewable energy resources in Poland in 2006 [2]

Rodzaj technologii uzyskującej energię ze źródeł odnawialnych	Sumaryczna moc zainstalowana [MW]	Ilość elektrowni (liczba instalacji)
Elektrownie na biomasę	189,79	6
Elektrownie na biogaz	34,71	72
Elektrownie wiatrowe	142,93	86
Elektrownie wodne	1080,88	679
Współspalanie	-	16
Razem	1448,31	859

Na podstawie zestawienia podanego w tabeli nr 1 oraz z diagramów przedstawionych na rys. 2 można stwierdzić, że udział OŹE w produkcji prądu elektrycznego w Polsce systematycznie rośnie oraz zmienia swoją strukturę. W 2006 roku liczba GWh prądu otrzymywanego ze spalania biomasy i biogazu, oraz z elektrowni wiatrowych przekroczyła liczbę GWh prądu otrzymywanego z hydroelektrowni.



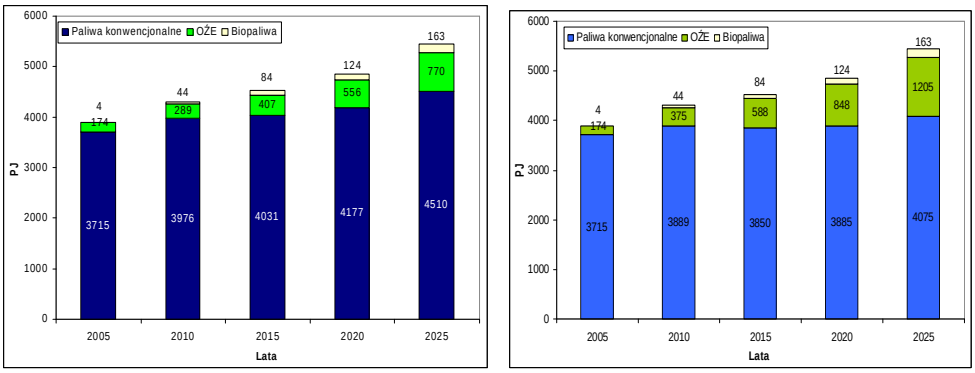
Rys. 2. Udział danego źródła w łącznej produkcji prądu w Polsce z OŹE [2] (2006)
Fig. 2. Share of different renewable energy resources in total electric production (2006)

3. PODSUMOWANIE

Konfrontując wzrost zapotrzebowania na energię przez rozwijającą się gospodarkę z możliwościami dostępnych źródeł energii okazuje się, że wzrost produkcji energii może zostać osiągnięty tylko przez spalanie węgla. Oznacza to dotkliwe kary za dodatkową emisję CO_2, co byłoby katastrofalne dla rozwijającej się gospodarki. W chwili obecnej możliwe są dwa scenariusze: pesymistyczny – zakładający (rys. 3a) osiągnięcie przez Polskę 14% udziału OŹE w 2020 roku, oraz optymistyczny – zakładający (rys. 3b) osiągnięcie 20% udziału. Osiągnięcie sukcesu nie zależy tylko od działań w sferze technicznej, ekonomicznej, ale i politycznej. Politycy muszą zapewnić większy limit emisji CO_2 oraz nie dopuścić do wprowadzenia ogólnounijnego wolnego rynku „zielonych" oraz „czerwonych" certyfikatów stwarzającego zagrożenie dla możliwości modernizacyjnych energetyki. W gestii władz politycznych pozostaje nadal rozwiązanie kwestii jak najszybszego zwrotu właścicielom lub ich potomkom upaństwowionych elektrowni wodnych na obszarze Niżu Polskiego, oraz uruchomienie tychże elektrowni.

Ogromnym oraz praktycznie niewykorzystanym potencjałem energetycznym są wody geotermalne. Wykorzystanie zasobów geotermalnych wymaga dodatkowej akcji informacyjnej, szkoleń inżynierów specjalistów, jak i działań preferencyjnych np. w postaci dodatkowego wsparcia ze strony specjalistycznych funduszy powołanych dla rozwoju „zielonej energetyki", bądź nawet ulg podatkowych dla gmin podejmujących inwestycje w energetyce geotermalnej

Przewidując, że rozwój „zielonej energetyki" nie będzie w stanie zapewnić zapotrzebowania na energię gospodarki polskiej w 2020 roku, koniecznością staje się racjonalne wykorzystanie istniejących zasobów węgla brunatnego. Uniknięcie kar za dodatkową emisję CO_2. Wykorzystanie nowej technologii biogazyfikacji węgla będzie potrzebowało nie tylko znacznego zwiększenia nakładów na badania naukowe, ale również wsparcia na polu dyplomatycznym, aby zapewnić zmniejszenie, lub nawet uniknięcie kar za dodatkową emisję CO_2.



Rys. 3. Prognoza zapotrzebowania na surowce energetyczne w Polsce w latach 2005 – 2025 : a) wariant osiągnięcia przez Polskę 14 % udziału OŹE w 2020 roku; b) wariant osiągnięcia przez Polskę 20 % udziału OŹE w 2020 roku [3]

Fig.3. Prognosis of energetic materials demand in Poland at 2005 – 2025: a) variant of achievement 14 % participation of renewable energies resources in energy production in Poland at 2020; b) variant of achievement 20% participation of renewable energies resources in energy production in Poland at 2020;

4. LITERATURA

[1] Dakowski M., Wysokiński St., O energetyce dla użytkowników oraz sceptyków, Fundacja ODYSSEUM, Warszawa 2005

[2] GUS 2007; URE 2007

[3] KAPE S.A.; GUS (niepublikowane dane wg stanu na dzień 27.04.2007 r. oraz materiały robocze do „Polityki energetycznej Polski do 2025 roku”

[4] Rozporządzenie z dn. 19.12.2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (Dz.U. nr 261, poz. 2187 z późn. zm.)

[5] Rządkowska A., Rządkowski J., Techniczno – ekonomiczne ograniczenia „zielonej energetyki” w realiach polskich., Konferencja naukowa „Geopolityczne aspekty bezpieczeństwa energetycznego krajów Europy Środkowej i Wschodniej”., Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 6 – 7 grudnia 2007.

ASPECTS OF POLISH RENEWABLE ENERGETIC POLICY

SUMMARY

The article presents assumptions of the EU energetic policy until 2020 and regulatory requirements for Poland to accomplish definite goals in exploitation of renewable sources of energy. There is an estimation of renewable energy resources quantity and quality in Poland and an overview of their current utilization level. To summarize the article contains the forecast for Poland of possibilities and implementation of regulatory requirements.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Bartosz SAŁACIŃSKI, mgr inż.
Vyacheslav PISAREV, dr hab. inż. prof. PRz

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959, Rzeszów
e-mail: zcik@prz.rzeszow.pl, salat@interia.eu

ODBIÓR CIEPŁA OD CIENKOWARSTWOWYCH BETONOWYCH AKUMULATORÓW ENERGII WSPÓŁPRACUJĄCYCH Z POMPAMI CIEPŁA

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki symulacji przewodzenia ciepła, w oddających ciepło betonowych, cienkowarstwowych akumulatorach energii o różnych grubościach. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie i porównanie czasów ochładzania oraz czasu odzysku pobranej energii. Oba procesy przebiegały przy uwzględnieniu konwekcyjnej wymiany ciepła z otoczeniem.

1. WPROWADZENIE

Traktowanie betonowych elementów cienkowarstwowych jako akumulatorów ciepła niskotemperaturowego wymaga w ujęciu praktycznym określenia zarówno czasu ochładzania betonu do danej temperatury średniej – τ_1 (proces odbierania od betonu i pobierania przez niego ciepła z otoczenia na drodze konwekcji swobodnej) jak i długości okresu, w którym akumulator powróci do stanu zbliżonego temperaturowo do początkowego – τ_2 (odzyska pobraną uprzednio energię, pozyskując ją konwekcyjnie z otoczenia). Sumę tych czasów (τ_1+τ_2) można by nazwać pojedynczym cyklem pracy akumulatora. Celem niniejszego referatu jest wyznaczenie wielkości τ_1 i τ_2 dla cienkowarstwowych akumulatorów betonowych (współpracujących z pompami ciepła) o różnych grubościach, podczas pojedynczego cyklu pracy oraz wynikających z nich ilości cykli dobowych.

W obliczeniach założono, iż temperatura otoczenia jest wartością stałą w czasie, które co prawda nie znajduje pełnego odzwierciedlenia w rzeczywistości lecz pozawala na uproszczenie analizy będącej wstępem do poruszanej problematyki.

2. ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE

Symulacje procesów przewodzenia ciepła w betonie dotyczące jego ochładzania oraz odzysku energii na drodze konwekcyjnej wymiany ciepła z otoczeniem (oddziaływanie nasłonecznienia na element nie było brane pod uwagę) wykonano przy użyciu programu „Akumulator" [1]. Poniżej przedstawione zostały założenia dotyczące przeprowadzonych analiz obliczeniowych:

- rozpatrywane grubości akumulatora: b=0,1; 0,2; 0,3 [m] (przyjęto),
- akumulator jest elementem wymieniającym ciepło z otoczeniem dwoma płaszczyznami (przednią i tylną, założono),
- właściwości fizyczne betonu: gęstość ρ=2300 [kg/m^3], współczynnik przewodzenia ciepła λ=2,1 [W/mK], ciepło właściwe c_p=1 [kJ/kgK], (przyjęto),
- współczynnik wnikania ciepła z powietrza do elementu α_{zew}=25 [W/m^{2}K] [2],
- średnia temperatura powietrza zewnętrznego T_{zew}=0, 10, 20, 30 [^{o}C] (przyjęto),
- średnia temperatura początkowa betonu $T_{p_bet}=T_{zew}$ (założono),
- średnia temperatura czynnika ochładzającego podczas przepływu przez beton $T_{śr_cz}=T_{p_bet}$-6 [^{o}C] (założono zgodnie z [3]), zgodnie z tym założeniem reżim pracy pompy ciepła jest stały dla poszczególnych temperatur zewnętrznych T_{zew},
- czynnikiem ochładzającym znajdującym się w przewodach jest 30% roztwór glikolu etylowego (założono),
- wewnętrzne przewody wykonane są a polietylenu o średnicy zewnętrznej d_{zew}=0,025 [m] i grubości ścianki 0,002 [m] (zgodnie ze standartowym typoszeregiem rur PE),
- przewody są umieszczone w osi symetrii elementu (założono),
- rozkład temperatur w elemencie jest opisany jednowymiarowym równaniem Fouriera,
- prędkość przepływu czynnika w przewodach v_{cz}=0,6 [m/s] (założono),
- gęstość czynnika ρ_{cz}=1046 [kg/m^3] [4],
- ciepło właściwe czynnika c_{p_cz}=3,635 [kJ/kgK] [4],
- współczynnik przewodzenia ciepła czynnika λ_{cz}=0,444 [W/mK] [4],
- współczynnik lepkości dynamicznej czynnika μ_{cz}=0,004351 [kg/m*s] [4],
- obliczony dla powyższych danych współczynnik wnikania ciepła do czynnika podczas procesu ochładzania (konwekcja wymuszona) α_{cz}=818 [W/m^{2}K].

Modele obliczeniowe, które zastosowano w programie zostały opisane w literaturze [5] i nie stanowią przedmiotu niniejszego referatu.

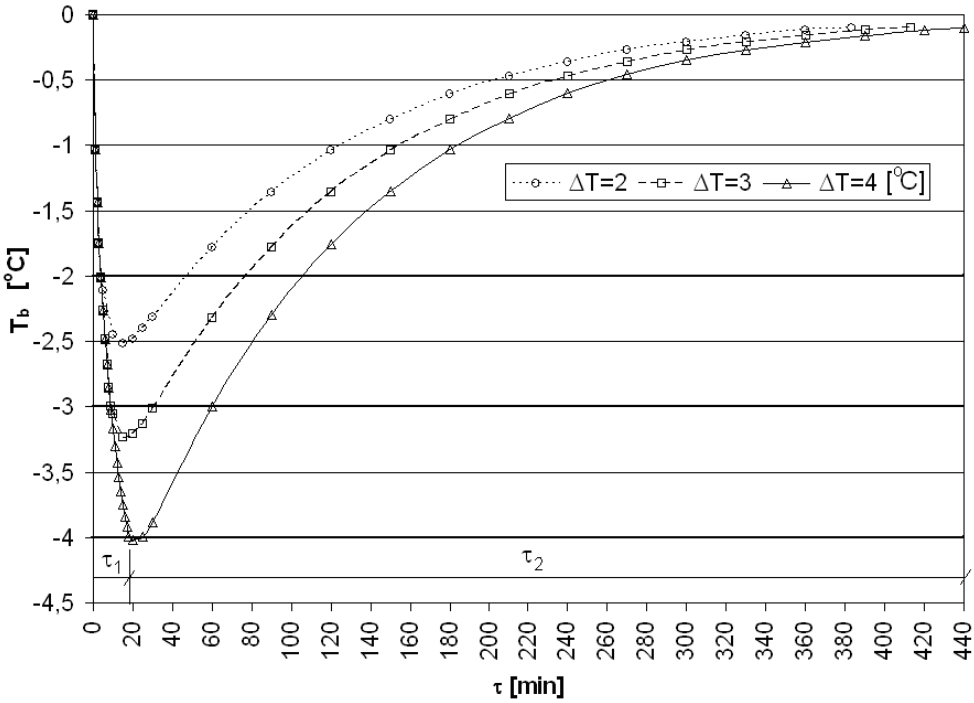
3. WYNIKI OBLICZEŃ

W pierwszej fazie symulacji pracy akumulatora betonowego ochładzano go od temperatury $T_{p_bet}=T_{zew}$ o kolejne wartości ΔT=2, 3 oraz 4 [^{o}C]. W tym okresie ciepło z wnętrza betonu dostawało się do czynnika ochładzającego w rurach. Proces kończył się wraz z osiągnięciem przez element średniej temperatury T_{p_bet}-ΔT. W ten sposób uzyskiwane były czasy τ_1. Od tego momentu symulacja zakładała, iż przepływ czynnika ochładzają-

cego akumulator zostaje zatrzymany. Etap ten kończył się po osiągnięciu przez element temperatury średniej zbliżonej do stanu początkowego. Jego długość określa wielkość τ_2.

3.1. Element o grubości b=0,1 [m]

Poniżej przedstawione zostały wyniki analizy dotyczące akumulatora o grubości b=0,1 [m]. Na rys.1 znajduje się graficzna interpretacja zależności zmian temperatur średnich betonu w czasie, podczas obydwu etapów symulacji (oddawania i pobierania ciepła). Na oś y naniesione zostały wartości temperatur bezwzględnych (T_b). Wykres z rys.1 może być odniesiony do wszystkich przypadków dla elementu o grubości b=0,1 [m] (innymi słowy wartość T_b=0°C symbolizować może zarówno T_{zew}=0°C jak i T_{zew}=30°C). Podobnie rzecz będzie miała się w przypadku dwóch pozostałych grubości b=0,2 [m] oraz b=0,3 [m]. Zmiana wartości T_{zew} w praktyce może wpływać natomiast na temperaturę odparowania czynnika chłodniczego w parowaczu, obecnej w układzie pompy ciepła, co wpłynie z kolei na zmianę reżimu temperaturowego pracy urządzenia i przyczyniać się będzie do zmian współczynnika efektywności COP. Będzie on rósł wraz ze wzrostem wartości T_{zew} [3].



Rys.1. Zmiana temperatur średnich cienkowarstwowego akumulatora betonowego o grubości b=0,1 [m] w okresie prowadzenia dwóch etapów symulacji
Fig.1. Average temperatures depending on time for thin concrete accumulator which thickness equals b=0,1 [m] during both stages of simulation

Na rys.1 w celu wskazania poszukiwanych przez nas wartości, zaznaczono dodatkowo czasy τ_1 i τ_2 dla przypadku, w którym beton ochładzany był o ΔT=4°C w stosunku do

średniej temperatury początkowej T_{p_bet}. Jak można zauważyć na rys.1 niezależnie do wartości ΔT w momencie wyłączenia pompy ciepła (zaprzestania procesu ochładzania akumulatora) wzrost temperatury betonu nie następuje natychmiastowo. Jest to spowodowane bezwładnością temperaturową akumulatora, zmniejszającą się wraz ze wzrostem wartości ΔT. Wielkości czasów τ_1, które można odczytać z rys.1 z racji prędkości przepływu czynnika ochładzającego v=0,6 [m/s], dla której zostały uzyskane mogą być traktowane jako bliskie maksymalnym możliwym do uzyskania dla poczynionych założeń. Wartością znaczącą z punktu widzenia prowadzonej analizy jest również ilość cykli pracy elementu i_c, które będą mogły mieć miejsce w ciągu doby. Wielkość tą wyznaczyć można z poniższego wzoru:

$$i_c = \frac{D}{(\tau_1 + \tau_2)}, \tag{1}$$

gdzie: D=1440 [min] – długość doby, τ_1 – czas ochładzania betonu o daną wartość ΔT (rys.1), τ_2 – czas powrotu akumulatora do stanu zbliżonego temperaturowo do początkowego [min] (rys.1).

Ilość energii uzyskiwaną przy ochłodzeniu elementu o wartość ΔT w odniesieniu do jednego metra kwadratowego cienkowarstwowego akumulatora betonowego o danej grubości b obliczyć można z poniższego wzoru:

$$q = \rho * c_p * \Delta T * b \text{ [kJ/m}^2\text{]}, \tag{2}$$

gdzie: ρ=2300 [kg/m^3] – gęstość betonu, c_p=1 [kJ/kgK] – ciepło właściwe betonu, ΔT – różnica średnich temperatur akumulatora przed i po procesie ochładzania [^{o}C], b – grubość akumulatora [m].

Dysponując wartością *q* określić możemy chociażby jaką ilość wody na potrzeby domu jednorodzinnego, jesteśmy w stanie ogrzać pozyskanym w procesie ciepłem. Służyć do tego może na przykład poniższy wzór, który nie uwzględnia jednak mającego miejsce w rzeczywistości wpływu pracy sprężarki pompy ciepła:

$$V = \frac{q}{c_{p_wody} * \Delta T_{wody}} \text{ [l/m}^2\text{]}, \tag{3}$$

gdzie: V – ilość wody przygotowanej w jednym cyklu odnosząca się do cienkowarstwowego akumulatora ciepła danej grubości [l/m^2] (bez uwzględnienia wpływu pracy sprężarki pompy ciepła), *q* – ilość ciepła pobierana z 1m^2 akumulatora danej grubości [kJ/m^2], c_{p_wody}=4,19 [kJ/kgK] – ciepło właściwe wody, ΔT_{wody} – różnica temperatur wody po i przed ogrzaniem [^{o}C].

Chcąc określić z kolei ilości wody, która może być przygotowana w układzie współpracy cienkowarstwowego akumulatora betonowego danej grubości z pompą ciepła w ciągu doby posłużyć się można poniższym wzorem:

$$V_D = V * i_c \text{ [l/m}^2\text{]}, \tag{4}$$

gdzie: oznaczenia w tekście.

Rozszerzając obliczenia dotyczące wyznaczenia ilości wody o uwzględnienie udziału sprężarki w wielkości energii oddawanej w skraplaczu pompy ciepła współpracującej z cienkowarstwowym akumulatorem betonowym posłużono się programem Coolpack [6]. Zawiera on dane o właściwościach fizycznych wielu czynników chłodniczych. Dodatkowo założono, iż:

- w obiegu pompy ciepła krąży czynnik chłodniczy R134a (założono),
- temperatura skraplania czynnika T_{skr}=55 [^{o}C] (założono),
- rozpatrywano przypadek z najniższą braną pod uwagę temperaturą powietrza zewnętrznego T_{zew}=0 [^{o}C],
- temperatura odparowania czynnika chłodniczego w parowaczu jest o 6 [^{o}C] niższa od średniej temperatury czynnika ochładzającego beton; $T_{od}=T_{śr_cz}$-6=-6-6=-12 [^{o}C] (założono zgodnie z [3]),
- przegrzew czynnika R134a pomiędzy parowaczem a sprężarką ΔT_{prz}=5 [^{o}C] (założono),
- zbliżony do rzeczywistego punkt zakończenia procesu sprężania wyznaczono uwzględniając zawarte w literaturze, wynikające z eksploatacji pomp ciepła, założenie mówiące, iż [7]:

$$\frac{h_2 - h_{1'}}{h_{2s} - h_{1'}} \approx 0{,}7, \tag{5}$$

gdzie: h_2 – entalpia czynnika w zbliżonym do rzeczywistego punkcie zakończenia procesu sprężania [kJ/kg], h_{2s} – entalpia czynnika w teoretycznym punkcie zakończenia procesu sprężania [kJ/kg], h_1 – entalpia czynnika przed sprężarką [kJ/kg].

Powyższe założenia pozwoliły na wyznaczenie wielkości entalpii w poszczególnych punktach sprężarkowego obiegu chłodniczego pompy ciepła, niezbędnych w dalszych obliczeniach [6]: h_1=390,12 [kJ/kg] – entalpia czynnika chłodniczego po opuszczeniu parowacza, $h_{1'}$=394,44 [kJ/kg] – entalpia czynnika chłodniczego przed sprężarką, h_{2s}=438,9 [kJ/kg] – entalpia czynnika chłodniczego w teoretycznym punkcie zakończenia procesu sprężania, h_2=457,95 [kJ/kg] – entalpia czynnika chłodniczego w rzeczywistym punkcie zakończenia procesu sprężania, h_4=279,3 [kJ/kg] – entalpia czynnika chłodniczego po opuszczeniu skraplacza, $h_{4'}$=278,2 [kJ/kg] – entalpia czynnika chłodniczego przed zaworem rozprężnym, h_5=278,2 [kJ/kg] – entalpia czynnika chłodniczego przed parowaczem.

Przy pomocy wzoru (2) określamy, iż obniżając o ΔT=2 [^{o}C] średnią temperaturę betonowego akumulatora cienkowarstwowego o rozpatrywanej grubości b=0,1 [m] otrzymamy:

$$q = 2300 * 1 * 2 * 0{,}1 = 460 \ \text{[kJ/m}^2\text{]} \tag{6}$$

Uwzględniając dodatkowo, iż czas ochładzania akumulatora o ΔT=2 [^{o}C] równy jest τ_1=4 [min] (rys.1) i odnosząc obliczenia do jednostkowych wymiarów wysokości H i długości L (co daje łącznie F=H*L=1 [m^2] powierzchni bocznej) określić możemy, iż moc kierowana na parowacz pompy ciepła wynosić będzie:

$$q_{par} = F * \frac{q}{\tau_1 * 60} = 1 * \frac{460}{4 * 60} = 1{,}92 \ \text{[kW]}. \tag{7}$$

Znając powyższą wartość możemy wyznaczyć strumień masy czynnika krążącego w obiegu pompy ciepła:

$$m_{P.C} = \frac{q_{par}}{h_1 - h_5} = \frac{1{,}92}{390{,}12 - 278{,}2} = 0{,}0172 \ \text{[kg/s]}. \tag{8}$$

Powyższa wielkość pozwala z kolei na obliczenie mocy uzyskiwanej w skraplaczu pompy ciepła uwzględniającą pracę sprężarki:

$$q_{skr} = m_{P.C} * (h_2 - h_4) * \tau_1 * 60 = 0{,}0172 * (457{,}95 - 278{,}2) * 4 * 60 = 741{,}6 \text{ [kJ]} \quad (9)$$

Wstawiając do wzoru (3) wartość q_{skr} zamiast q obliczymy jaką ilość wody jesteśmy w stanie ogrzać pozyskanym w procesie ciepłem z uwzględnieniem pracy sprężarki.

W tab.1 zmieszczono wartości energii uzyskiwane w zależności od stopnia ochładzania cienkowarstwowego akumulatora betonowego (wartość ΔT) o grubości b=0,1 [m] wraz z długościami całkowitych cykli jego pracy w poszczególnych przypadkach oraz ilościami wody mogącymi być przygotowanymi jednorazowo (V – wzór (3)) oraz w ciągu doby (V_D – wzór (4)) bez oraz z uwzględnieniem pracy sprężarki (odpowiednio dla ilości ciepła q i q_{skr}).

Tabela.1. Wartości charakteryzujące pracę cienkowarstwowego, betonowego akumulatora ciepła o grubości b=0,1 [m] (wartości V obliczono ze wzoru (3), wartości V_D ze wzoru (4))

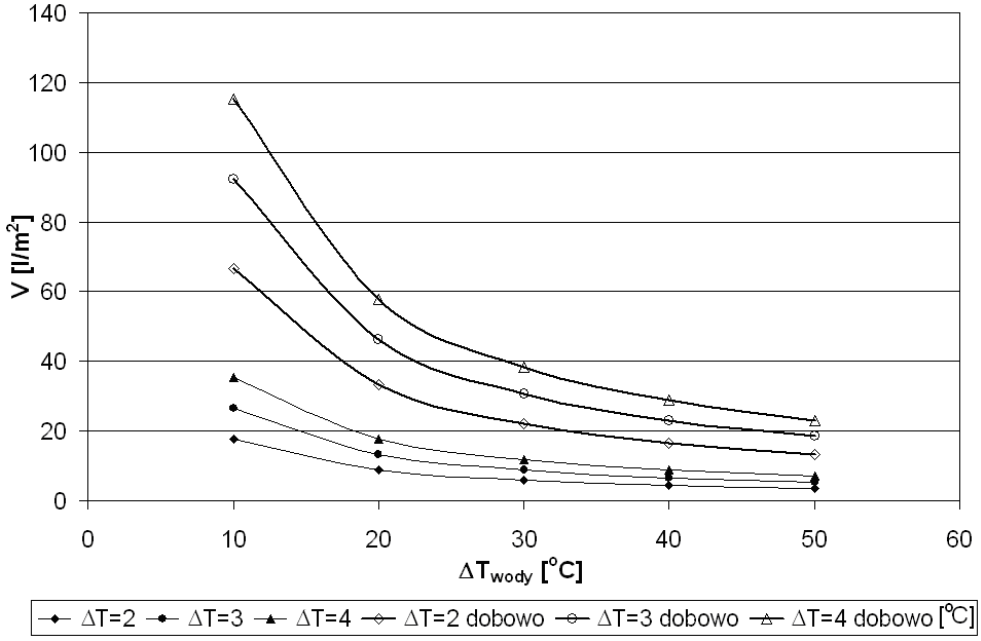
Table.1. Values that characterize work of thin concrete accumulator of energy witch thickness equals b=0,1 [m] (values V according to formula (3), values V_D according to formula (4))

ΔT [°C]	**2**		**3**		**4**	
τ_1 [min]	4		9		18	
τ_2 [min]	379		404		422	
$\tau_1+\tau_2$ [min]	383		413		440	
i_c – wzór (1)	3,76		3,49		3,27	
q [kJ/m^2] – wzór (2)	ilości ciepła nie uwzględniające wkładu sprężarki					
	460		690		920	
ΔT_{wody} [°C]	**V [l/m^2]**	**V_D [l/m^2]**	**V [l/m^2]**	**V_D [l/m^2]**	**V [l/m^2]**	**V_D [l/m^2]**
10	11	41,3	16,5	57,5	22	71,8
20	5,5	20,6	8,2	28,7	11	35,9
30	3,7	13,8	5,5	19,2	7,3	23,9
40	2,7	10,3	4,1	14,4	5,5	17,9
50	2,2	8,3	3,3	11,5	4,4	14,4
q_{skr} [kJ] – wzór (9)	ilości ciepła uwzględniające wkład sprężarki					
	741,6		1108,2		1477,6	
ΔT_{wody} [°C]	**V [l/m^2]**	**V_D [l/m^2]**	**V [l/m^2]**	**V_D [l/m^2]**	**V [l/m^2]**	**V_D [l/m^2]**
10	17,7	66,5	26,4	92,3	35,3	115,3
20	8,8	33,3	13,2	46,2	17,6	57,7
30	5,9	22,2	8,8	30,8	11,8	38,4
40	4,4	16,6	6,6	23,1	8,8	28,8
50	3,5	13,3	5,3	18,5	7,1	23,1

Analizując wartości zamieszczone w tab.1 warto zauważyć, iż najkorzystniejszym wariantem, zarówno z punktu widzenia ilości pozyskiwanego ciepła jak i czasu trwania

procesu ochładzania, jest przypadek, w którym obniżamy średnią temperaturę betonowego akumulatora cienkowarstwowego o wartość $\Delta T=4$ [^oC]. W porównaniu do wariantu, w którym $\Delta T=2$ [^oC] uzyskujemy wówczas dwa razy więcej ciepła przy czym liczba możliwych do przeprowadzenia dobowych cykli pracy układu jest w obydwu przypadkach zbliżona. Zamieszczone w tab.1 ilości wody V i V_D należy odnosić do 1 m^2 cienkowarstwowego akumulatora betonowego (b=0,1 [m]) i przypadku, w którym odparowanie czynnika chłodniczego w pompie ciepła miało miejsce w temperaturze $T_{od}=T_{śr_cz}-6=-6-6=-12$ [^oC].

Na rys.2 przedstawiono graficzną zależność pomiędzy ilościami wody uzyskiwanymi w trakcie pojedynczego cyklu pracy akumulatora oraz dobowo w zależności od stopnia podgrzewu wody ΔT_{wody}. W obydwu przypadkach uwzględniono wkład sprężarki.



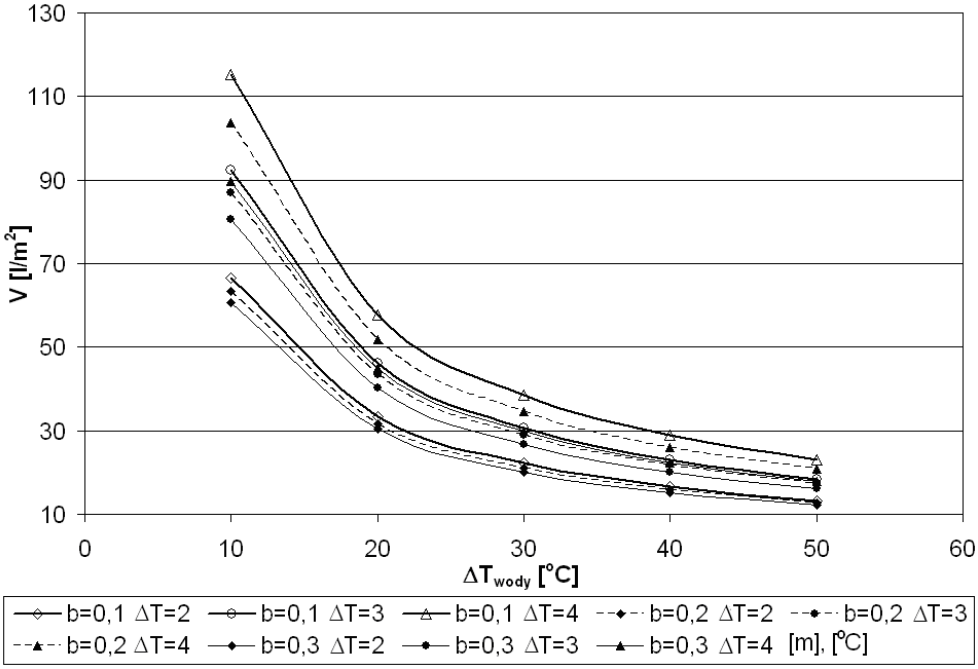
Rys.2. Ilości wody mogące być przygotowane w cyklu pojedynczym i dobowym w zależności od stopnia jej podgrzewu dla akumulatora o grubości b=0,1 [m] (z uwzględnionym wkładem sprężarki)

Fig.2. Amounts of water that can be prepared in single and daily cycle depending on water warming level for accumulator witch thickness equals b=0,1 [m] (with regarded contribution of compressor)

Na rys.2 widać, iż ilość wody, która może być przygotowana spada wraz z temperaturą jej podgrzewu. Jest ona jednocześnie większa wraz ze wzrostem wartości ΔT, o którą ochładzamy cienkowarstwowy akumulator betonowy.

3.2. Elementy o grubości b=0,2 i 0,3 [m]

Obliczeniowy tok postępowania dla dwóch pozostałych grubości (b=0,2 i b=0,3 [m]) cienkowarstwowego akumulatora betonowego był analogiczny do działań wykonanych powyżej. Na rys.3 przedstawiono zestawienie dobowych ilości wody, które w zależności od stopnia podgrzewu (ΔT_{wody}) mogą być przygotowywane przy ochłodzeniu wszystkich branych pod uwagę grubości cienkowarstwowego akumulatora betonowego o wartości ΔT=2, 3 oraz 4 [^{o}C] (z uwzględnieniem sprężarki i przy założeniu, iż odparowanie czynnika chłodniczego krążącego w obiegu pompy ciepła następuje w temperaturze T_{od}=-12 [^{o}C]).



Rys.3. Zestawienie możliwych do przygotowania dobowych ilości wody w zależności od grubości akumulatora b, stopnia podgrzewu wody ΔT_{wody} oraz stopnia ochłodzenia akumulatora ΔT

Fig.3. Comparison of amounts of water possible to prepare depending on accumulator thickness b, water warming level ΔT_{wody} and accumulator cooling level ΔT

Z wykresów przedstawionych na rys.3 wynika, iż dla danego stopnia przegrzewu ΔT_{wody} ilość możliwej do przygotowania wody maleje wraz ze wzrostem grubości akumulatora oraz zmniejszaniem wartości ochłodzenia betonu ΔT. Pierwsza z zależności jest spowodowana wydłużaniem się czasów τ_1 i τ_2 co odbija się negatywnie na ilościach cykli roboczych, które mogą być prowadzone w ciągu doby. Druga wspomniana prawidłowość jest konsekwencją zmniejszonego poboru ciepła z betonu jak również bezwładnością akumulatora, która maleje wraz ze zbliżaniem się stopnia ochłodzenia akumulatora (ΔT) do

temperatury czynnika. Zwiększona bezwładność wpływa na wydłużenie się czasu odzysku energii (τ_2) a w konsekwencji na ilość dobowych cykli pracy układu.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych symulacji odbioru ciepła od cienkowarstwowych akumulatorów betonowych o różnych grubościach możliwe było określenie długości cykli ich pracy w poszczególnych przypadkach. Wartości te są niezbędne z praktycznego punktu widzenia przy projektowaniu instalacji opartych o wykorzystanie energii magazynowanej w betonie dzięki współpracy akumulatorów z pompami ciepła. Poznanie długości cykli pracy daje między innymi możliwość oszacowania dostępnego dobowego potencjału energetycznego instalacji, na podstawie którego określić możemy z kolei wielkość akumulatora w zależności od potrzeb np. przygotowania ciepłej wody użytkowej. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzić można, iż przynoszące wymierne korzyści energetyczne, kilkukrotne powtarzanie cyklu pracy akumulatora w ciągu doby prowadzić można dla akumulatorów o grubości nie większej niż b=0,3 [m]. Uzyskane w obliczeniach wartości wskazały, iż optymalnym wariantem jest jak największe ochłodzenie jak najcieńszego akumulatora. Zaprezentowane w niniejszym materiale wyniki dotyczyły przypadku, w którym beton jest ochładzany o kilka stopni poniżej temperatury powietrza zewnętrznego. Analiza nie uwzględniała oddziaływania na element promieniowania słonecznego, które również może mieć wpływ na przebieg procesów. Ów tematyka stanowić będzie jednak przedmiot osobnego referatu.

5. LITERATURA

[1] Sałaciński B., Pisarev V.: *Program do określania charakterystyk cieplnych cienkowarstwowych konstrukcji betonowych*, materiał oddany do publikacji w Zeszycie Naukowym Politechniki Rzeszowskiej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.

[2] Heidemann W., Hahne E., *Numerische Untersuchung des thermischen Verhaltnes einer Speicherwand als Wärmequelle für eine Wärmepumpe*, The 9th International Conference of Air Conditioning. District heating. Szkalarska Poręba 04÷08.06.1998 – materiały konferencyjne. Edition PZiTS nr 756, Wrocław 1998.

[3] Adamczyk M., Sałaciński B., Pisarev V.: *Temperaturowy zakres pracy chłodziarki sprężarkowej*, Prace Kół Naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2005/2006, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2007, s.57-68.

[4] http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html.

[5] Sałaciński B., Pisarev V.: *Określenie temperatur w cienkowarstwowym akumulatorze betonowym przy jednoczesnym oddziaływaniu promieniowania słonecznego i konwekcyjnej wymianie ciepła*, materiał oddany do publikacji Zeszycie Naukowym Politechniki Rzeszowskiej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.

[6] Skovrup M.J., Jakobsen A., Andersen S.E.: *CoolPack*, Department of Technical Engineering Technical University of Denmark, 2000.

[7] Belowa P.M.: *Sistemy kondizionirowanja wozducha s czilerami i fankoliami*, Ewroklimat, Moskwa, 2003, 388.

HEAT COLLECTION FORM THIN CONCRETE ACCUMULATORS OF ENERGY THAT COOPERATES WITH HEAT PUMPS

SUMMARY

The paper contains results of simulations regarding heat conduction in interior cooled, thin, concrete accumulators of energy. During calculations various thicknesses of concrete were taken into account. Results have allowed to determine and compare lengths of work cycles for each thickness. The full work cycle can be consider as a sum of the value of time in witch accumulator was cooled to particular, assumed in advance temperature and the value of time in witch it recharged itself. Both processes regarded simultaneous convective heat exchange between concrete and ambient.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Bartosz SAŁACIŃSKI, mgr inż.
Vyacheslav PISAREV, dr hab. inż. prof. PRz

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959, Rzeszów
e-mail: zcik@prz.rzeszow.pl, salat@interia.eu

WSPÓŁPRACA KURTYN POWIETRZNYCH Z POMPAMI CIEPŁA WYKORZYSTUJĄCYMI CIENKOWARSTWOWE, BETONOWE AKUMULATORY ENERGII

STRESZCZENIE

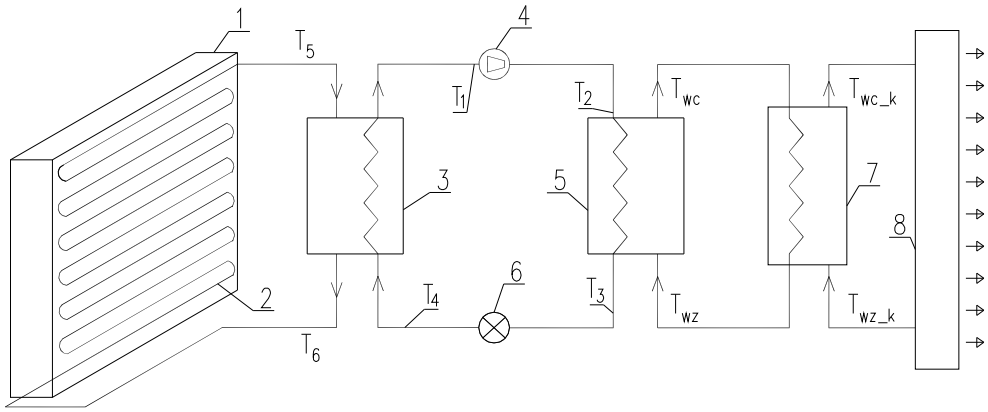
W pracy przeanalizowano możliwość wykorzystania cienkowarstwowego, betonowego akumulatora energii w układzie zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej współpracującej z pompą ciepła.

1. WPROWADZENIE

W chłodnym okresie roku obiekty użyteczności publicznej charakteryzują się zwiększonym w stosunku do pory letniej zapotrzebowaniem na ciepło wynikającym między innymi ze strat energii przez wszelakie przegrody (przenikanie) oraz wywołane infiltracją powietrza zewnętrznego (drzwi, okna). Do częściowego przeciwdziałania tym ostatnim stosuje się kurtyny powietrzne, które wytwarzają skuteczną a przy tym nieuciążliwą dla ludzi barierę w postaci niewidocznego ekranu powietrznego, izolującą środowiska o odmiennych parametrach temperaturowych. Kurtyny zapobiegają tym samym niepożądanym stratom wytwarzanego w instalacjach grzewczych ciepła zwiększając jednocześnie efektywność ich działania. Celem przeprowadzonej poniżej analizy obliczeniowej było sprawdzenie jak w roli źródła ciepła dla kurtyny powietrznej zachowa się cienkowarstwowy akumulator betonowy współpracujący z pompą ciepła.

2. WYKORZYSTANIE W INSTALACJI CIENKOWARSTWOWEGO, BETONOWEGO AKUMULATORA CIEPŁA

Ideą takiego układu jest pobieranie zakumulowanej przez element betonowy naturalnej energii niskotemperaturowej i kierowanie jej do pompy ciepła, w której wytwarzane jest ciepło wysokotemperaturowe dalej gromadzone w zbiorniku buforowym i wykorzystywane do zaopatrzenia kurtyny. Taki wariant instalacji polepsza działanie układu umożliwia bowiem funkcjonowanie kurtyny również w okresie, w którym ilość energii potrzebna do jej pracy przewyższa wielkość ciepła zgromadzonego w akumulatorze. Zabieg ten jest często stosowany w praktyce. Schemat ideowy omawianej instalacji przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Schemat ideowy układu współpracy kurtyny powietrznej z cienkowarstwowym, betonowym akumulatorem ciepła (opis oznaczeń w tekście)
Fig.1. An idealistic scheme of cooperation of air curtain with thin concrete accumulator of energy (description of designations in text below)

Energia pochodząca z promieniowania słonecznego oraz zawarta w powietrzu powoduje wzrost temperatury akumulatora 1. Ciepło to pobierane jest przez przepływający w przewodach 2 czynnik ochładzający, którego temperatura wzrasta od wartości T_6 do T_5 ($T_5>T_6$). Strumień kierowany jest on następnie do parowacza 3, w którym oddaje ciepło wrzącemu w niskich temperaturach czynnikowi chłodniczemu. W wyniku procesu sprężania temperatura pary czynnika po opuszczeniu sprężarki 4 wzrasta od wartości T_1 do T_2. W skraplaczu 5 czynnik skrapla się oddając ciepło wodzie krążącej, w obiegu skraplacz – zbiornik buforowy 7, w wyniku czego następuje obniżenie jego temperatury. Przed zaworem rozprężnym 6 przyjmuje ona wartość T_3. W wyniku dławienia izentalpowego na wspomnianym zaworze ciśnienie i temperatura czynnika chłodniczego zmniejszają się. Temperatura przed parowaczem równa jest dzięki temu wartości T_4. Obieg pompy ciepła powtarza się. Ogrzana w skraplaczu 5 woda o temperaturze T_{wc} przepływa przez zbiornik buforowy 7 magazynując w nim uzyskaną w pompie ciepła energię wysokotemperaturową, obniżając tym samym swoją temperaturę do wartości T_{wz}. Krążąca między kurtyną powietrzną 8 a zbiornikiem 7 woda, zmieniająca swój zakres temperaturowy od T_{wz_k} do T_{wc_k}, stanowi bezpośrednie źródło ciepła dla wspomnianego urządzenia.

Początkowa część analizy obliczeniowej polegała na określeniu rozkładu temperatur w cienkowarstwowym akumulatorze przy niepracującej pompie ciepła. Miało to na celu oszacowanie ilości energii jednostkowej q [kW/m^3] pochłoniętej przez beton w ciągu, branego wstępnie pod uwagę, dziesięciogodzinnego (τ=10 [h]) okresu pracy instalacji (w godzinach 8.00÷18.00). Na potrzeby analizy przyjęto, iż miesiącem obliczeniowym będzie styczeń zaś obszarem obliczeniowym rejon miasta Rzeszów. W analizie uwzględniono, iż wartość średniej temperatury zewnętrznej otoczenia w trakcie rozpatrywanego przedziału czasowego będzie równa $T_{śr_zew}$=-3,7 [^{o}C]. Wielkość ta odpowiada zgodnie z PN-B-02025:2001 [1] temperaturze średniej powietrza dla przyjętych danych. Średnie godzinowe wartości natężenia promieniowania słonecznego $q_s(\tau)$ w styczniu dla założonych kątów β=90° (kąt β opisuje odchylenie płaszczyzny akumulatora od poziomu) oraz γ=0° (kąt γ opisuje odchylenie płaszczyzny akumulatora od kierunku południowego) zostały określone przy pomocy programu „Akumulator" [2,3] i zamieszczone w tab.1.

Tabela 1. Wartości średniego godzinowego natężenia promieniowania słonecznego w rejonie Rzeszowa na płaszczyznę o kątach nachylenia β=90° i γ=0°, w rozpatrywanym przedziale czasowym 8.00÷18.00 dla stycznia [2]

Table 1. Average values of hourly solar radiation intensity in the area of Rzeszow city on the surface situated under angles β=90° and γ=0° between regarded hours 8.00-18.00 in January [2]

godzina	**8.00**	**9.00**	**10.00**	**11.00**	**12.00**	**13.00**	**14.00**	**15.00**	**16.00**	**17.00**	**18.00**
$q_s(\tau)$ [W/m^2]	128	355	521	614	628	561	419	211	8	0	0

Poniżej przedstawione zostały pozostałe założenia dotyczące wstępnej analizy obliczeniowej akumulatora betonowego (wyznaczanie rozkładu przy niepracującej pompie ciepła):

- wymiary akumulatora: b=0,2 [m], h=2,5 L=6 [m] (założono),
- współczynnik absorpcyjności promieniowania Ab=0,75 [4],
- współczynnik wnikania ciepła z powietrza do elementu α_{zew}=25 [W/m^{2}K] [5],
- średnia temperatura początkowa betonu T_p=-4 [^{o}C] (założono),
- wewnętrzne przewody wykonane są a polietylenu o średnicy zewnętrznej d_{zew}=0,025 [m] i grubości ścianki 0,002 [m] (zgodnie ze standartowym typoszeregiem rur PE),
- ilość przewodów wewnątrz elementu n=18 (założono),
- przewody są umieszczone w osi symetrii elementu (założono),
- rozkład temperatur w elemencie jest opisany jednowymiarowym równaniem Fouriera:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = d_{CM} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad \text{dla } \tau \geq 0, \qquad (1)$$

gdzie: d_{CM} – dyfuzyjność cieplna materiału [m^2/s], T – temperatura [^{o}C], τ – czas [s], x – odległość [m], L – połowa szerokości elementu [m],

i następującymi warunkami brzegowymi:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_{zew}(T_{sr_zew} - T_{x=L}) + \dot{q}_s(\tau) \quad \text{dla } \tau \geq 0 \text{ – powierzchnia przednia,} \qquad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = -\alpha_{zew}(T_{sr_zew} - T_{x=L})$$ dla τ≥0 – powierzchnia tylna, (3)

$$-\lambda (\frac{\partial T}{\partial x})_{x=A} = \alpha_{cz}(T_{x=A} - T_{śr_cz})$$ dla τ≥0 – styk betonu i czynnika (4)

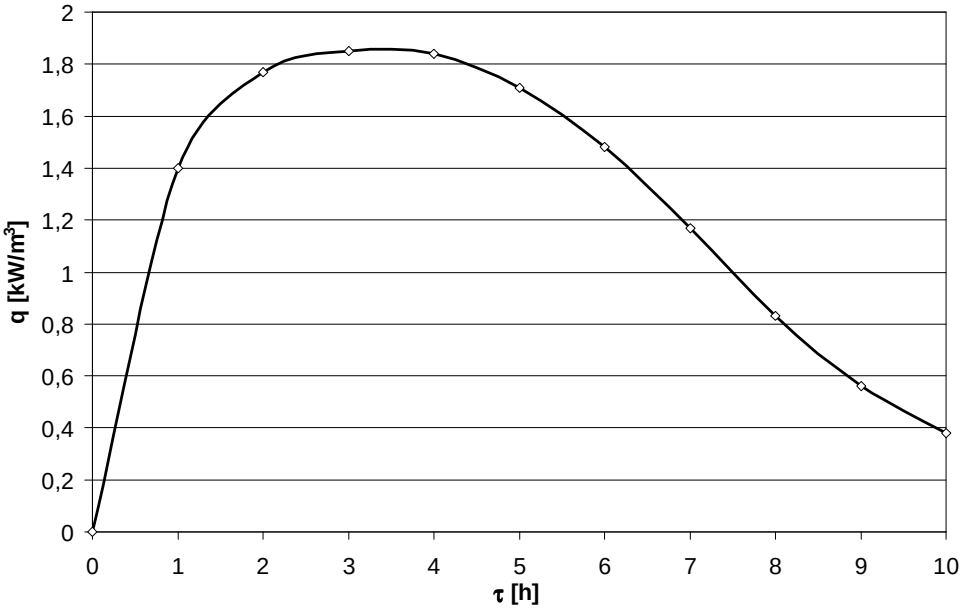
wewnątrz akumulatora bliżej strony przedniej (grubość ścianki przewodu jest pomijana),

$$-\lambda (\frac{\partial T}{\partial x})_{x=B} = -\alpha_{cz}(T_{x=B} - T_{śr_cz})$$ dla τ≥0 – styk betonu i czynnika (5)

wewnątrz akumulatora bliżej strony tylnej (grubość ścianki przewodu jest pomijana),

- współczynnik wnikania ciepła do czynnika ochładzającego przy wyłączonej pompie ciepła przyjęto na poziomie α_{cz}=6 [W/m^{2}K] [6],
- początkowa temperatura czynnika ochładzającego znajdującego się w przewodach jest równa średniej początkowej temperaturze akumulatora $T_{śr_cz}=T_p$=-4 [^{o}C] (założono),
- czynnikiem ochładzającym jest 30% roztwór glikolu etylowego (założono).

Symulację procesu przeprowadzono za pomocą programu „Akumulator”. Graficzna interpretacja analizy wstępnej, mającej na celu oszacowanie ilości ciepła jednostkowego q [kW/m^3] pochłoniętego przez beton przedstawiona została na rys.1.



Rys.2. Rozkład ciepła jednostkowego pochłoniętego przez akumulator w funkcji czasu
Fig.2. Heat values per volume unit absorbed by concrete accumulator in time function

Wspomniana wielkość q (rys.1) obliczana była z następującego wzoru:

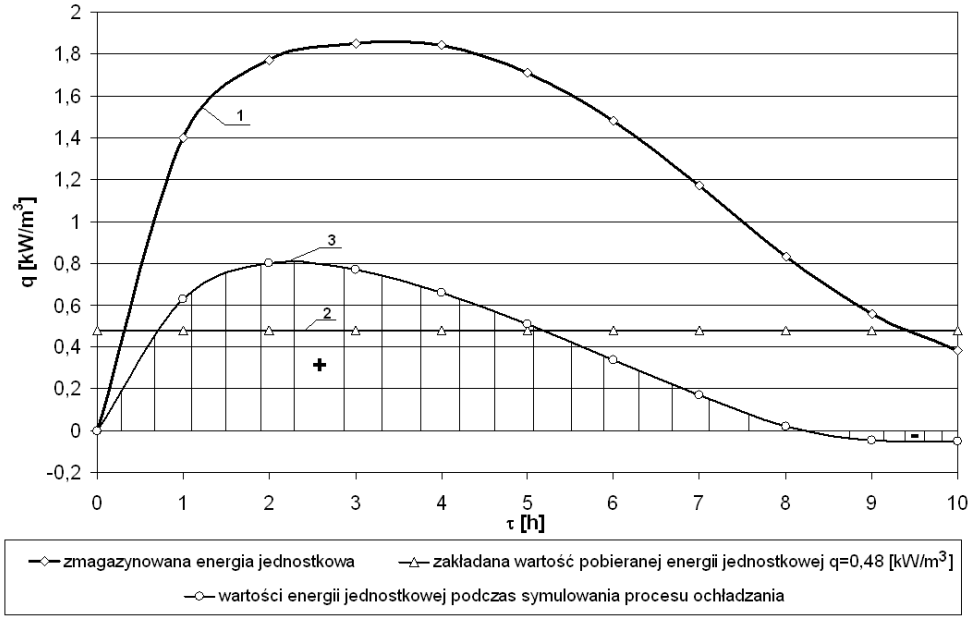
$$q = \frac{c_{p_akum} * \rho_{akum} * (T_{śr}(\tau) - T_p)}{\Delta\tau_p} \text{ [kW/m}^3\text{]}, \qquad (6)$$

gdzie: c_{p_akum} – ciepło właściwe betonu [kJ/kgK], ρ_{akum} – gęstość betonu [kg/m^3], T_p – średnia początkowa temperatura elementu [^{o}C], $T_{śr}(\tau)$ – średnia temperatura elementu w danej chwili [^{o}C], $\Delta\tau_p$ – wielkość czasu w momencie pomiarowym [s].

Druga część analizy obliczeniowej obejmowała dodatkowo symulację procesu ochładzania rozpatrywanego cienkowarstwowego akumulatora betonowego (w rozpatrywanym przedziale czasowym 8.00÷18.00). Autorzy przyjęli, iż wartością q, która będzie pobierana w całym dziesięciogodzinnym okresie pracy układu będzie q≈0,48 [kW/m^3]. Biorąc pod uwagę przyjęte wcześniej wymiary akumulatora (zgodnie, z którymi $V_{akumulatora}$=3 [m^3]) stwierdzić można, iż do parownika pompy ciepła dostarczana będzie wówczas energia w wielkości Q≈0,48*3=1,44 [kW]. Poniżej przedstawione zostały dodatkowe założenia dotyczące tego etapu obliczeń:

- prędkość przepływu czynnika w przewodach v_{cz}=0,6 [m/s] (założono),
- średnia temperatura czynnika ochładzającego podczas przepływu przez akumulator $T_{śr_cz}$=-6 [^{o}C] (założono, iż podczas przepływu przez akumulator czynnik ogrzeje się od T_6=-6,8 [^{o}C] do T_5=-5,2 [^{o}C], rys.1),
- gęstość czynnika ρ_{cz}=1048 [kg/m^3] [7],
- ciepło właściwe czynnika c_{p_cz}=3,635 [kJ/kgK] [7],
- współczynnik przewodzenia ciepła czynnika λ_{cz}=0,435 [W/mK] [7],
- współczynnik lepkości dynamicznej czynnika μ_{cz}=0,006812 [kg/m*s] [7],
- objętościowy współczynnik rozszerzalności czynnika β_{cz}=0,00364 [1/K] [7].

Graficzną interpretację wyników procesu ochładzania rozpatrywanego cienkowarstwowego akumulatora betonowego przedstawiono na rys.2 (zawartym w dalszej części materiału). Widoczna na rys.2 linia 1 reprezentuje te same wartości co na rys.1. Linia 2 reprezentuje jednostkową ilość ciepła odbieraną z betonu q≈0,48 [kW/m^3], krzywa 3 opisuje natomiast wielkości ciepła, które zostały zaabsorbowane przez akumulator podczas symulowania procesu jego ochładzania. Jak widać dla poszczególnych godzin nie są one równe różnicy wartości zaabsorbowanej wówczas, gdy pompa nie pracuje (linia 1) i odbieranej (linia 2). Obszar oznaczony symbolem „+" reprezentuje wartości jednostkowej energii zmagazynowanej przez akumulator (między τ=0÷8 godziną pracy układu). Obszar „-" charakteryzuje natomiast okres, w którym średnia temperatura betonu spadła poniżej wartości początkowej T_p (przechłodzenie akumulatora między τ=8÷10 godziną pracy układu). Jednocześnie należy podkreślić, iż przez cały czas trwania symulacji współczynnik $\alpha_{cz}(\tau)$ przyjmował wartości dodatnie co oznacza, iż wymiana ciepła między betonem a czynnikiem miała miejsce również między τ=8÷10 godziną pracy układu (obszar „-", rys.2). Ma to związek z faktem, iż wartości temperatur w obszarach obliczeniowych charakteryzujących beton, sąsiadujących bezpośrednio z obszarem opisującym czynnik ochładzający były większe niż średnia temperatura tego czynnika równa $T_{śr_cz}$=-6 [^{o}C]. Teoretycznie przechłodzenie nie wpływa zatem negatywnie na proces co znajduje również potwierdzenie w praktyce [5].



Rys.3. Rozkład ciepła jednostkowego pochłoniętego/oddanego przez beton w trakcie symulacji procesu ochładzania dla rozpatrywanego czasu pracy układu – linia 3, jednostkowa ilość ciepła pobieranego – linia 2, (lina 1 zgodnie z rys.1)

Fig.3. Heat values per volume unit absorbed/given by concrete accumulator during simulation of its interior cooling process between regarded hours 8.00-18.00 – line 3, values of heat that is being taken from concrete per volume unit – line 2, (line 1 according to fig.1)

3. WYZNACZANIE WYDAJNOŚCI I MOCY KURTYNY POWIETRZNEJ

Na potrzeby analizy przyjęto, iż kurtyna powietrzna, która będzie zaopatrywana w ciepło z akumulatora betonowego, funkcjonować będzie nad obrotowymi drzwiami trójpłatowymi o wymiarach otworu h_d=2 [m], b_d=1,8 [m] w pomieszczeniu o wysokości całkowitej h_p=5 [m]. Założono, iż ilość osób przechodząca przez drzwi w ciągu godziny równa będzie n=200. Do wyznaczenia wydajności kurtyny powietrznej posłużyć się można poniższym wzorem [8]:

$$G=\frac{16000*k*\mu_{bx}*F_{bx}*(t_p-t_z)*\sqrt{\Delta p*\gamma_z}}{t_{pz}-t_p}=\frac{16000*0{,}06*0{,}1*3{,}6*(20-(-5)*\sqrt{0{,}52*1{,}34}}{40-20}=$$

$$= 360\ [\mathrm{kg/h}]= 300\ [\mathrm{m^3/h}], \qquad (7)$$

gdzie: μ_{bx} – współczynnik wydajności zależny od rodzaju drzwi, k – współczynnik zależny od liczby osób przechodzących przez drzwi w ciądu godziny, F_{bx} – powierzchnia drzwi [m^2], Δp – obliczeniowa różnica ciśnień [kg/m^2], t_z – temperatura powietrza zewnętrznego [^oC], t_p – temperatura powietrza wewnątrz obiektu [^oC], t_{pz} – temperatura powietrza nawiewanego z kurtyny [^oC], γ_z – gęstość powietrza dla temperatury zewnętrznej [kg/m^2].

Na podstawie wydajności kurtyny określić można moc cieplną, którą należy do niej dostarczać:

$$Q_k = G * c_{p_p} * \rho_p * \Delta T = 0{,}084 * 1{,}02 * 1{,}2 * (40 - 20) = 2{,}1\,[\mathrm{kW}], \qquad (8)$$

gdzie: G=0,084 [m^3/s] – wydajność kurtyny powietrznej, c_{p_p}=1,02 [kJ/kgK]– ciepło właściwe powietrza, ρ_p=1,2 [kg/m^3] – gęstość powietrza, ΔT=20 [^{o}C] – różnica temperatur strugi wywiewanej z kurtyny i powietrza w pomieszczeniu.

Na podstawie powyżej obliczonych wielkości Q i G dobrano kurtynę powietrzną NOIROT 3404-1 AA firmy NOIROD [9].

Znając wartość Q≈1,44 [kW], która jest pobierana z akumulatora, określić możemy moc pompy ciepła funkcjonującej w układzie [10]:

$$Q_{PC} = Q * \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} = 1{,}44 * \frac{3}{3-1} = 2{,}16\ [\mathrm{kW}], \qquad (9)$$

gdzie: Q – ilość ciepła pobierana z akumulatora [kW], ε – zakładany współczynnik efektywności pompy ciepła.

Jak widać wielkość Q_{PC} jest większa niż Q_k co oznacza, że dla przyjętego współczynnika ε ilość energii pobierana z akumulatora betonowego jest wystarczająca. Moc pompy ciepła może być dodatkowo zwiększona w zależności od czasu wykorzystywania zbiornika buforowego τ_{zb}, zgodnie ze wzorem [10]:

$$Q_{PC*} = Q_{PC} * \frac{\tau}{\tau - \tau_{zb}} = 2{,}16 * \frac{10}{10-2} = 2{,}7\,[\mathrm{kW}], \qquad (10)$$

gdzie: Q_{PC} – moc pompy ciepła bez wykorzystywania zbiornika buforowego [kW], τ – czas pracy instalacji [h], τ_{zb} – zakładany czas wykorzystania zbiornika buforowego [h].

Na podstawie na rys.2 (linia 3) stwierdzić można, iż w przypadku ciągłej pracy kurtyny powietrznej a więc ciągłego ochładzania betonu, wykorzystanie zbiornika buforowego było by najefektywniejsze pomiędzy τ=8÷10 godziną pracy układu. W tym okresie występuje bowiem przechłodzenie akumulatora. Należy pamiętać, iż zwiększenie mocy pompy w przypadku założonej na stałym poziomie wielkości energii źródła dolnego Q pociąga za sobą jednoczesny spadek (w stosunku do założonego we wzorze (9)) współczynnika ε. Równocześnie należy mieć na uwadze, iż do wyznaczenia wydajności kurtyny powietrznej służy wielkość Q_{PC} a nie Q_{PC*}.

4. PODSUMOWANIE

Powyższa analiza obliczeniowa daje podstawy do stwierdzenia, iż współpraca kurtyn powietrznych z pompami ciepła wykorzystującymi energię niskotemperaturową zgromadzoną w cienkowarstwowych akumulatorach betonowych może przynieść wymierne efekty. Brany pod uwagę w obliczeniach cienkowarstwowy akumulator betonowy zdołał, pomimo występującej w styczniu ujemnej średniej temperatury powietrza zewnętrznego oraz skróconego w stosunku do miesięcy letnich czasu oddziaływania natężenia promieniowania słonecznego, zaopatrzyć kurtynę powietrzną w potrzebną energię przez praktycznie cały brany pod uwagę okres jej funkcjonowania w trybie ciągłej pracy. Wartości zaprezentowane w analizie są przykładowe i uzyskane na drodze obliczeniowej. Faktyczna moc

pobierana z akumulatora cienkowarstwowego, której wartość na potrzeby obliczeń została przyjęta w niniejszej analizie, jest zależna od rzeczywistego przyrostu temperatury czynnika ochładzającego przy przepływie przez akumulator betonowy i wymaga praktycznej weryfikacji.

5. LITERATURA

[1] Polska Norma: PN-B-02025:2001: *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego*, załącznik C,

[2] Sałaciński B., Pisarev V.: *Program do określania charakterystyk cieplnych cienkowarstwowych konstrukcji betonowych*, materiał w druku, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2008 r.,

[3] Sałaciński B., Pisarev V.: *Weryfikacja komputerowej symulacji pracy cienkowarstwowego betonowego akumulatora ciepła*, materiał w druku, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2008 r.,

[4] http://www.infratec.de/index.php?id=149&L=4

[5] Heidemann W., Hahne E., *Numerische Untersuchung des thermischen Verhaltnes einer Speicherwand als Wärmequelle für eine Wärmepumpe*, The 9th International Conference of Air Conditioning. District heating. Szkalarska Poręba 04÷08.06.1998 – materiały konferencyjne. Edition PZiTS nr 756, Wrocław 1998.

[6] http://www.itc.polsl.pl/bialecki/przewodzenie.pdf

[7] http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html

[8] *Sprawocznik projektirowszczayka*. *Wentylacja i kondicionirowanie wozducha*. Część II, Strojizdat, 502s, 1977r.

[9] http://www.bursa.pl/grzejniki.php?page=detail/wsk,

[10] Rubik M.: *Pompy ciepła na tak*, Agencja Wydawnicza Jacek Santorski Sp. z o.o., Warszawa 1999 r.

COOPERATION OF AIR CURTAINS WITH HEAT PUMPS THAT USES THIN, CONCRETE ACCUMULATORS OF ENERGY

SUMMARY

In the paper a possibility of usage a thin concrete accumulator of low temperature energy in a heat supply system for air curtain, that cooperates with a heat pump, was analyzed.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Agata SIWIŃSKA, mgr inż.
Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż., prof. nadzw. PS

Politechnika Szczecińska
Wydział Budownictwa i Architektury
Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: Halina.Garbalinska@ps.pl, siwinska@ps.pl

RÓWNANIE CHENA A IZOTERMY SORPCJI MATERIAŁU POROWATEGO

STRESZCZENIE

Referat dotyczy zagadnień związanych z sorpcją wilgoci zachodzącą w materiałach budowlanych. Zaprezentowano w nim wyniki badań oraz analiz, które przeprowadzono w odniesieniu do sześciu różnych materiałów. Pomiary przeprowadzono w trzech temperaturach, przy różnych poziomach wilgotności otoczenia. Na podstawie otrzymanych ustabilizowanych wilgotności sorpcyjnych wykreślono po trzy izotermy sorpcji dla każdego materiału. Otrzymane krzywe poddano analizie ze względu na stopień ich dopasowania do równania izotermy sorpcji zaproponowanego przez Chena Y. i Chena Z.

1. WPROWADZENIE

Do opisu stanu wilgotnościowej równowagi sorpcyjnej stosuje się równania izoterm sorpcji określające zależność zawartości wilgoci w materiale porowatym od parametrów wilgotnościowych otaczającego powietrza w stanie równowagi. W literaturze można znaleźć wiele modeli opisujących izotermy sorpcji. Wymienić można między innymi równanie Langmura, Freundlicha, Spisa, Dubinina i Raduszkiewicza, Redlicha-Petersona, Kisarowa, BET, Harkinsa-Jury, Hüttiga, Łykowa, Hansena, Chena Y. i Chena Z., Kisielewa, Hilla i de Boera, Jovanoviča, Dubinina-Serpinskiego, D'arcy-Watta, Dubinina-Astachowa, Totha, Unila, Kellera [1, 3, 4, 5, 7]. Wspomniane równania nie wyczerpują tematu, a wiele innych empirycznych równań można znaleźć w stale powiększającej się literaturze z tego zakresu.

Jak wynika z danych literaturowych (np. [3]) w przypadku wielu materiałów budowlanych wymienione równania nie oddają kształtu izoterm z dostateczna dokładnością w całym zakresie wilgotności względnych. Odnosząc się zatem do całego zakresu ciśnień od $p/p_s=0$ do $p/p_s=1$ można powiedzieć, że w przypadku tego typu materiałów nie ma prostej izotermy, która pozwalałaby opisać wszystkie zjawiska adsorpcji fizycznej występującej, gdy gaz jest w kontakcie z powierzchnią porowatych ciał stałych. Spowodowane jest to energetyczną heterogenicznością na powierzchniach adsorpcyjnych, dużą różnorodnością kształtów porów, rozmiarów i ich powiązań oraz różnymi właściwościami adsorbowanych cząsteczek. Niemniej, wymienione powyżej równania izoterm znajdują praktyczne zastosowanie w eksperymentach, czy procesach przemysłowych. Wielu badaczy opisując dane eksperymentalne korzysta z wymienionych modeli i uzyskuje wysoką zgodność.

W referacie do matematycznego opisu uzyskanych eksperymentalnie izoterm wykorzystano równanie zaproponowane przez Chena Y. oraz Chena Z. Oceniono jego przydatność do opisu danych doświadczalnych z badań sorpcji.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW I BADANIE SORPCJI

Do badań przyjęto następujące materiały gotowe: cegłę ceramiczną CC, silikatową CS oraz beton komórkowy BK, a także materiały wykonane w laboratorium: zaprawę cementową ZC, modyfikowaną włóknami polipropylenowym ZM i cementowo-wapienną ZCW. Poszczególne mieszanki, w przeliczeniu na 1 dm^3, sporządzono według następujących receptur:

- 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.

Badanie sorpcji [7, 9, 10] przeprowadzono na próbkach o grubości 1 cm i wymiarach 12×6,5 cm w przypadku materiałów gotowych oraz 10×6 cm dla zapraw. Średnią gęstość wraz z odchyleniem standardowym gęstości dla 54 próbek danego materiału zebrano w Tabeli 1.

Tabela 1. Średnia gęstość próbek do badania sorpcji
Table 1. Average density of samples for sorption research

Materiał	ρ [g/cm^3]	s_ρ [g/cm^3]
Cegła ceramiczna	1,547	0,0218
Cegła silikatowa	1,727	0,0571
Beton komórkowy	0,626	0,0225
Zaprawa cementowa	2,053	0,0274
Zaprawa modyfikowana	2,004	0,0224
Zaprawa cementowo-wapienna	1,681	0,0177

Na podstawie uzyskanych wyników badań sorpcji określono dla każdego poziomu badanej wilgotności i temperatury wartości równowagowego zawilgocenia sorpcyjnego, wyrażonego jako procentowa zawartość wilgoci odniesiona do masy suchej próbki. W każdym z 18 klimatów wilgotność sorpcyjna wyznaczana była jako średnia arytmetycz-

na z wyników uzyskanych dla trzech próbek. Wypadkowe wyniki zebrane w odniesieniu do dwóch grup materiałów zestawiono w Tabeli 2 (materiały konstrukcyjne) oraz w Tabeli 3 (materiały wykończeniowe).

Tabela 2. Średnia ustabilizowana wilgotność sorpcyjna CC, CS, BK
Table 2. Average stabilized sorption moisture of CC, CS, BK

T=5°C				T=20°C				T=35°C			
φ [%]	CC	CS	BK	φ [%]	CC	CS	BK	φ [%]	CC	CS	BK
	w [%]				*w* [%]				*w* [%]		
11	1,51	2,01	4,13	11	1,22	1,68	3,75	11	1,15	1,62	3,63
34	1,25	2,37	4,51	33	1,14	2,16	4,89	32	1,11	2,18	4,32
59	1,09	2,96	4,95	54	1,36	2,47	5,06	50	1,34	2,57	5,38
76	1,24	3,76	5,89	75	1,11	3,32	6,13	75	1,28	3,30	6,23
88	1,17	6,28	9,78	85	1,19	4,30	7,89	83	1,51	4,05	7,20
98	1,88	10,07	25,25	98	1,66	10,48	21,61	97	1,47	7,07	12,03

Tabela 3. Średnia ustabilizowana wilgotność sorpcyjna ZC, ZM, ZCW
Table 3. Average stabilized sorption moisture of ZC, ZM, ZCW

T=5°C				T=20°C				T=35°C			
φ [%]	ZC	ZM	ZCW	φ [%]	ZC	ZM	ZCW	φ [%]	ZC	ZM	ZCW
	w [%]				*w* [%]				*w* [%]		
11	0,94	0,99	0,59	11	0,74	1,00	0,50	11	0,77	0,94	0,60
34	1,51	1,46	0,97	33	1,46	1,72	1,06	32	1,28	1,37	0,97
59	2,42	2,30	1,84	54	2,45	2,26	1,38	50	1,95	1,72	1,16
76	3,53	3,30	3,76	75	3,94	3,72	3,08	75	3,07	3,03	2,42
88	5,80	6,53	5,25	85	4,99	4,87	3,79	83	4,46	3,45	3,18
98	8,49	8,41	11,96	98	7,46	8,10	8,15	97	5,45	5,24	5,27

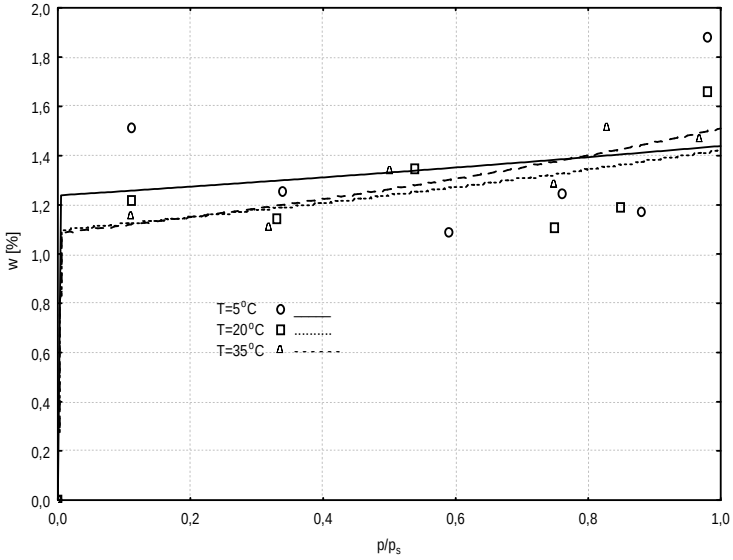
3. OPIS IZOTERM SORPCJI RÓWNANIEM CHENA

Wyznaczone doświadczalnie średnie ustabilizowane wilgotności sorpcyjne pozwoliły na wykreślenie izoterm sorpcji dla testowanych materiałów przy trzech temperaturach. Za pomocą metod statystycznych określono następnie zgodność zaproponowanego przez Chena Y. i Chena Z. równania izotermy z uzyskanymi danymi eksperymentalnymi. Równanie ma postać [1, 5]:

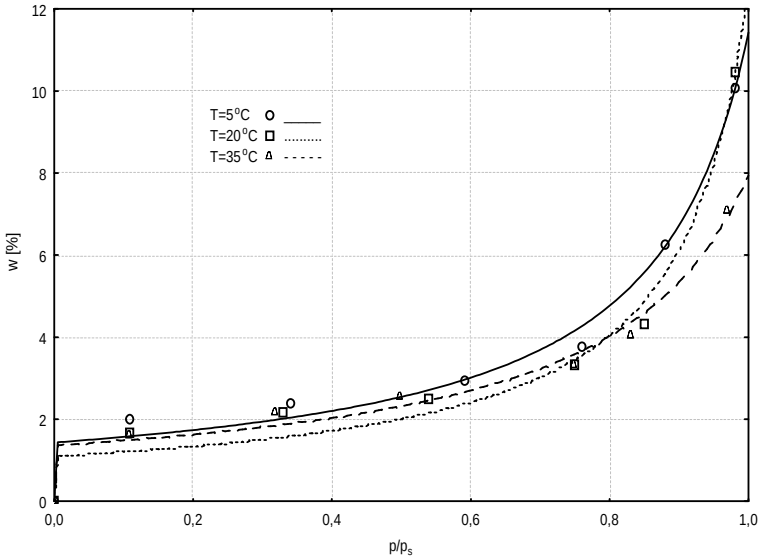
$$u_L = \frac{a\varphi}{(1+b\varphi)(1-c\varphi)} \tag{1}$$

w którym u_L oznacza wilgotność masową, φ – wilgotność względna powietrza, a współczynniki *a, b, c* są wielkościami wyznaczanymi eksperymentalnie.

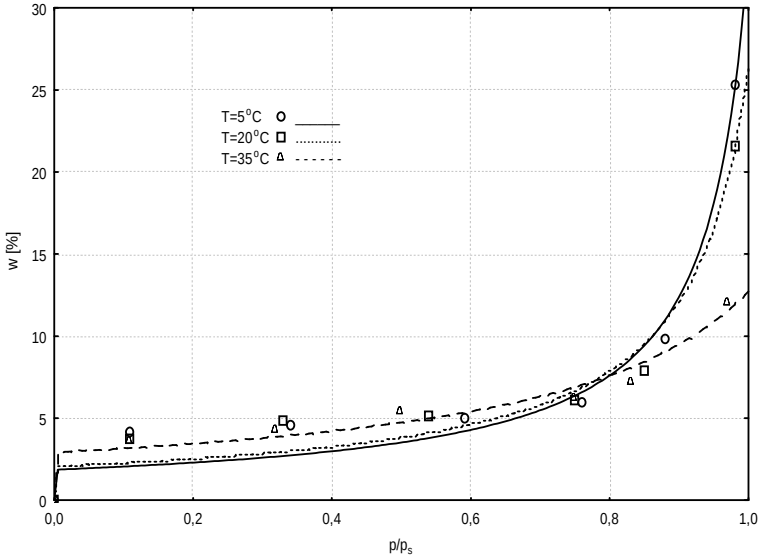
Na wykresach na rys. 1÷6 przedstawiono graficznie uzyskane rozwiązania dla każdego z sześciu testowanych materiałów przy trzech temperaturach.



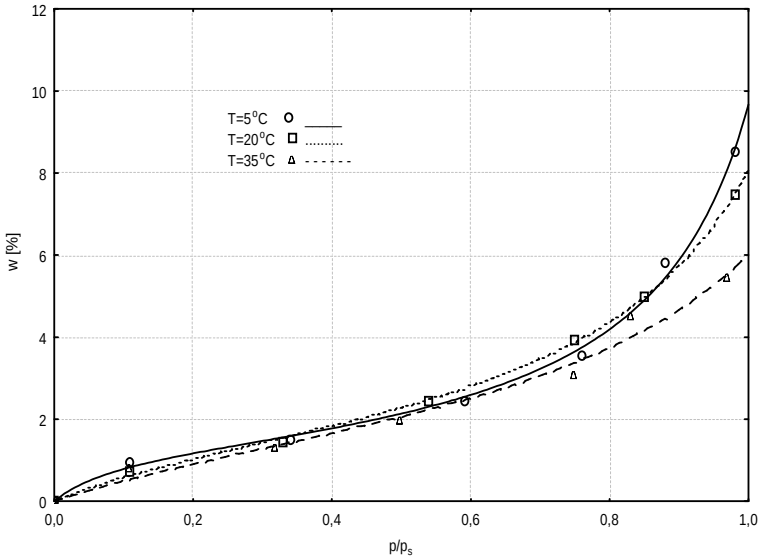
Rys. 1. Izotermy sorpcji CC W T=5, 20, 35°C
Fig. 1. Sorption isotherms of CC AT T=5, 20, 35°C



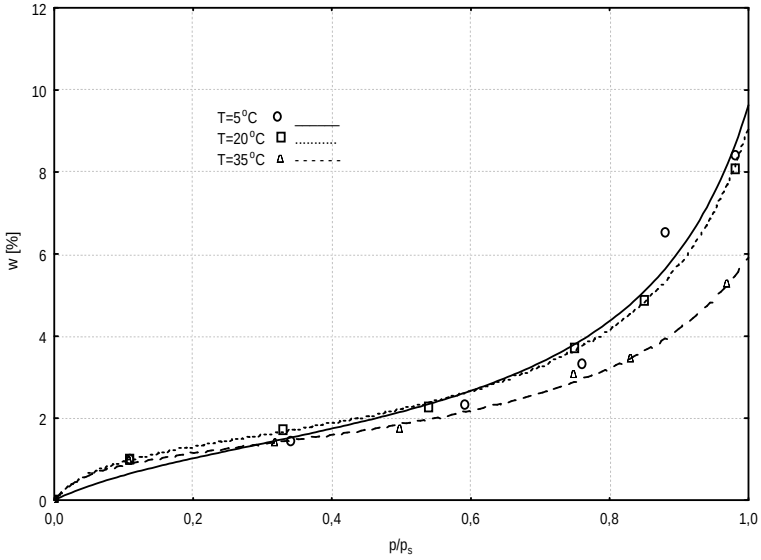
Rys. 2. Izotermy sorpcji CS W T=5, 20, 35°C
Fig. 2. Sorption isotherms of CS AT T=5, 20, 35°C



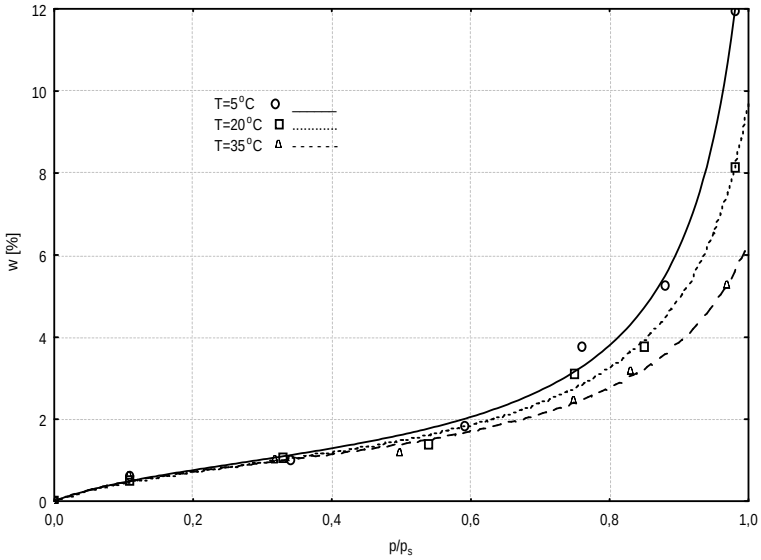
Rys. 3. Izotermy sorpcji BK W T=5, 20, 35°C
Fig. 3. Sorption isotherms of BK AT T=5, 20, 35°C



Rys. 4. Izotermy sorpcji ZC W T=5, 20, 35°C
Fig. 4. Sorption isotherms of ZC AT T=5, 20, 35°C



Rys. 5. Izotermy sorpcji ZM W T=5, 20, 35°C
Fig. 5. Sorption isotherms of ZM AT T=5, 20, 35°C



Rys. 6. Izotermy sorpcji ZCW W T=5, 20, 35°C
Fig. 6. Sorption isotherms of ZCW AT T=5, 20, 35°C

Do oceny jakości dopasowania równań do danych eksperymentalnych wykorzystano współczynnik korelacji *r* oraz estymator najmniejszych kwadratów. Wyniki estymacji parametrów analizowanego równania dotyczące badanych materiałów zestawiono w tabeli 4 [2, 10, 11].

Tabela 4. Wyniki estymacji parametrów równania Chena
Table 4. Results of parameters estimation of Chen equation

Materiał	T=5°C		T=20°C		T=35°C	
	Współczynniki	R	Współczynniki	R	Współczynniki	R
CC	a=4749306 b=3835830 c= 0,13962	0,89156	a=5262930 b=-0,22896 c=-4796042	0,95009	a=3016358 b=2778837 c= 0,28117	0,98992
CS	a=14988170 b=10475256 c= 0,87474	0,99575	a=4653576 b=4258117 c= 0,91286	0,99232	a=9219183 b=6793047 c= 0,82907	0,99348
BK	a=6261465 b=3374830 c= 0,9447	0,98759	a= 6151862 b= 2986142 c= 0,92181	0,98253	a=14749767 b=5069126 c= 0,7712	0,98579
ZC	a=13,98991 b=9,51542 c=0,86245	0,99802	a=6,974335 b=3,028314 c=0,785073	0,99970	a=5,572380 b=2,186856 c=0,709144	0,99157
ZM	a=7,991044 b=4,427210 c=0,847095	0,98749	a=21,53638 b=14,83924 c=0,84958	0,99974	a=21,71562 b=17,54009 c=0,80172	0,99884
ZCW	a=6,513824 b=5,566831 c=0,935869	0,99828	a=6,080168 b=5,462139 c=0,902864	0,99811	a=7,124433 b=6,929895 c=0,856971	0,99774

4. PODSUMOWANIE

Otrzymane wysokie wartości współczynnika *r* świadczą o przydatności zastosowanego modelu Chena. Najwyższe *r* odnotowano dla zaprawy modyfikowanej w temperaturze 20°c oraz 35°c, natomiast w 5°c dla zaprawy cementowo-wapiennej. Generalnie wartość współczynnika *r* przekraczała 0,9. jedynie w przypadku cegły ceramicznej w temperaturze 5°c uzyskano r=0,8916.

Analiza przebiegów izoterm, dla poszczególnych materiałów, wskazuje że punkty odzwierciedlające zarejestrowane dane rozkładają się wokół wyestymowanej zależności, co może świadczyć o jej adekwatności.

W świetle powyższego uznano, iż równanie Chena oferuje dokładny opis izoterm sorpcji w odniesieniu do wszystkich analizowanych materiałów i testowanych temperatur. Przeanalizowane równanie w zadowalający sposób przybliża dane eksperymentalne i może być z powodzeniem stosowane do opisu izoterm sorpcji pary wodnej w odniesieniu do testowanych porowatych materiałów budowlanych.

5. LITERATURA

[1] Chen Y., Chen Z.: Transfer Function Method to Calculate Moisture Absorption and Desorption in Buildings. Building and Environment, Vol. 33, No. 4, 201-207, 1998

[2] Garbalińska H., Siwińska A.: Izotermy sorpcji cegły ceramicznej, silikatowej i betonu komórkowego. Czasopismo Naukowe tom II, Sekcja Fizyki Budowli Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Łódź 2007, s. 41-46

[3] Gawin D.: Modelowanie sprzężonych zjawisk cieplno-wilgotnościowych w materiałach i elementach budowlanych. Zeszyty naukowe nr 853, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Łódź 2000

[4] Keller J., Staudt R.: Gas adsorption equilibria. Experimental Methods and Adsorption Isotherms. Springer, New York 2005

[5] Marynowicz A., Wyrwał J.: Badanie właściwości wilgotnościowych wybranych materiałów budowlanych w warunkach izotermicznych. Studia z zakresu inżynierii, z. 52, Warszawa 2005

[6] Paderewski M. L.: Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa 1999

[7] PN-EN ISO 12571:2002 Cieplno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie właściwości sorpcyjnych

[8] Praca zbiorowa pod redakcją B. Ambrożka: Kinetyka i dynamika procesowa. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej Nr 558, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2000

[9] Siwińska A.: Sorpcja wilgoci w materiałach na spoiwie cementowym. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice-Szczyrk 2007, Budownictwo z. 112, s. 345-352

[10] Siwińska A. Związek między izotermą sorpcji a współczynnikiem przewodzenia ciepła porowatego materiału budowlanego. Rozprawa doktorska, Szczecin 2008

[11] Siwińska A., Garbalińska H.: Izotermy sorpcji materiałów na spoiwie cementowym. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007, s. 349-354

CHEN'S EQUATION AND SORPTION ISOTHERMS OF POROUS MATERIAL

SUMMARY

This paper describes issues related to moisture sorption in building materials. It presents the results of tests and analyses that were conducted with respect to six different materials. Measurements were taken in three temperatures, with different levels of ambient humidity. On the basis of obtained stabilized sorptive moisture contents, three sorption isotherms were generated for each material. The obtained curves were analyzed in view of their degree of fit to sorption isotherm equation proposed by Y. Chen and Z. Chen.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Marek SKUPIŃSKI, mgr inż.

Hibernatus Sp. z o.o.
34-100 Wadowice
ul. Iwańskiego 9
e-mail: mareks@hibernatus.com.pl

NOWATORSKIE ROZWIĄZANIA W SYSTEMACH NA POMPACH CIEPŁA

STRESZCZENIE

Pompy ciepła wciąż nie są doceniane w budownictwie. W referacie chciałbym przedstawić rozwiązania, które zostały już kilkukrotnie wdrożone w wielu inwestycjach, a pokazują jak wielkie możliwości dają nam systemy na pompach ciepła. A przede wszystkim jak wielkie korzyści ekonomiczne jak i ekologiczne możemy otrzymać poprzez stosowanie tych systemów zarówno w przemyśle jak i w sektorze prywatnym.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach można zauważyć znaczący wzrost zainteresowania pompami ciepła w Polsce. W wielu czasopismach pojawiają się coraz to różniejsze artykuły. Również pojawia się coraz więcej prezentacji tych systemów na wielu konferencjach. Przyczyną wzrostu zainteresowania jest przede wszystkim znaczący wzrost cen paliw i konieczność ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery, które musimy spełnić po wejściu do Unii Europejskiej. Ostatnia zmiana cen gazu, która stała się faktem w kwietniu spowoduje, że zainteresowanie pompami ciepła znowu wzrośnie.

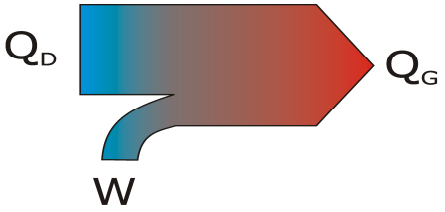
Aktualnie na polskim rynku działa kilkanaście firm z kapitałem polskim i zagranicznym oferujących pompy ciepła. Są to przede wszystkim sprężarkowe pompy ciepła napędzane silnikami elektrycznymi. Jedną z bardziej znanych polskich firm produkujących pompy ciepła jest firma Hibernatus z Wadowic. Powstała w 1991 roku i od powstania sukcesywnie propaguje w Polsce rozwój efektywnego zarządzania energią, zarówno w budow-

nictwie mieszkalnym jak i w przemyśle stosując odnawialne, a zarazem ekologiczne źródła energii takie jak pompy ciepła. Dla potrzeb efektywnego wykorzystania źródeł energii zarówno dla ogrzewania jak i chłodzenia firma wprowadziła do swojej oferty wiele urządzeń oraz rozwiązań tzw.trój-medialne pompy ciepła, sprzęgła cieplne itd.

2. ZASADA DZIAŁANIA POMPY CIEPŁA

Pompy ciepła są urządzeniami umożliwiającymi transformację energii cieplnej ze źródła niskotemperaturowego, określanego jako tzw dolne źródło ciepła, na wyższy poziom energetyczny określany pojęciem górnego źródła ciepła. Pompa ciepła pozwala więc przekazywać ciepło ze źródła dolnego o niskiej temperaturze (np. 0^oC) do źródła górnego o temperaturze w okolicach $+60^oC$. Transport energii cieplnej odbywa się kosztem doprowadzonej do pompy ciepła energii elektrycznej. Ponieważ przepływ ciepła pomiędzy dwoma ciałami zależy od różnicy temperatur pomiędzy tymi ciałami, teoretycznie energię cieplną można odbierać ze źródła o dowolnej temperaturze (także ujemnej). W praktyce pompy ciepła są ekonomicznie uzasadnione w przypadku jeżeli pracują z dolnym źródłem o temperaturze nie niższej niż -5^oC.

Przepływ energii w pompie ciepła możemy w sposób uproszczony przedstawić na wykresie pasmowym (bilans cieplny pompy ciepła – rys. 1). Energia cieplna Q_D odebrana ze źródła dolnego jest transportowana przy pomocy wykonanej pracy W do źródła górnego Q_G. Jak widać powstaje następująca zależność: $Q_G = Q_D + W$.



Rys. 1. Wykres pasmowy Sankeya
Fig. 1. Sankey diagram

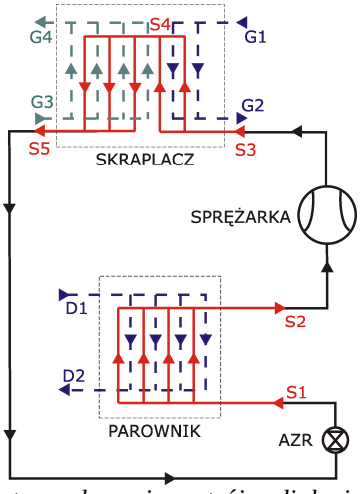
W nazewnictwie praktycznym W jest energią elektryczną doprowadzoną do pompy ciepła, Q_D to moc chłodnicza pompy ciepła, Q_G jest to moc grzewcza pompy ciepła. W układach z pompą ciepła możliwe jest wykorzystanie zarówno strony ciepłej (górne źródło) jak i strony zimnej (dolne źródło). Stronę ciepłą wykorzystuje się np. do celów grzewczych, stronę zimną można wykorzystać w przypadku zapotrzebowania na chłód a więc np. w klimatyzacji lub chłodnictwie. W zależności od sposobu wykorzystania pompy ciepła należy dobierać ją ze względu na zapotrzebowanie na moc grzewczą lub moc chłodniczą. Efektywność pompy ciepła E jest stosunkiem energii odebranej z pompy ciepła do energii włożonej w napęd pompy ciepła.

$$COP = \frac{Q_G}{W} \qquad (1)$$

Energia odebrana ze środowiska naturalnego lub z procesów technologicznych jest energią odnawialną, nie trzeba jej produkować. Przy sprawności pompy ciepła 4, ¾ energii jest darmowa i ekologiczna, a tylko ¼ energią elektryczną zużytą dla przepompowania energii cieplnej ekologicznej.

3. WYSOKI PARAMETR W POMPACH CIEPŁA

Aktualnie na rynku istnieje wiele rozwiązań związanych z ogrzewaniem pomieszczeń, zarówno medium wysokotemperaturowym (~55°C) jak i niskotemperaturowym (~35°C). Trzeba pamiętać, że każda część instalacji musi być odpowiednio dobrana, aby cały układ mógł efektywnie pracować. Zaczynając od maszynowni pompy ciepła, a kończąc na odbiornikach ciepła w pomieszczeniach. Maksymalna temperatura wody jaką osiągamy na górnym źródle nie przekracza 60°C. Firma Hibernatus z Wadowic jako jedyny producent posiada opatentowany sposób na dostarczenie wody o temperaturze sięgającej nawet +88°C, tzw. trój-medialne pompy ciepła. Uzyskanie tak wysokiego parametru na pompie ciepła udało się poprzez odpowiednie wykorzystanie par przegrzanych czynnika chłodniczego (rys. 2). Para przegrzana opuszczająca sprężarkę ma temperaturę sięgającą nawet +120°C. Przepływa ona przez pierwszy wymiennik ciepła (S3-S4), w którym się schładza do temperatur rzędu +90°C i oddaje ciepło podgrzewając wodę do temperatury +88°C (G1-G2). Następnie para z pierwszego wymiennika płynie do drugiego, oddając ciepło (S4-S5), głównie ciepło skraplania, które zapewnia skroplenie czynnika roboczego. Tym samym podgrzewając wodę do temperatury w granicach 35°C do 55°C (G3-G4). Aby jednak efektywnie wykorzystać to ciepło potrzebne jest sprzęgło cieplne. Otrzymaną tak wysoką temperaturę możemy użyć np. do przygotowania ciepłej wody użytkowej w pełnym zakresie.



Rys. 2. Obieg termodynamiczny trójmedialnej pompy ciepła
Fig. 2. Thermodynamic cycle of the tri-media heat pump

Rys. 3. Schemat połączeń pompy ciepła ze sprzęgłem cieplnym
Fig. 3. Connection of the heat pumps with HIBERNATUS "thermal coupling"

4. SPRZĘGŁO CIEPLNE W PRAKTYCE

Sprzęgło cieplne (rys.3) to zbiornik przegrodzony dwoma przeponami. Przepony te umożliwiają utrzymywanie trzech różnych wartości temperatury wody górnego źródła. Zbiornik ten został wymyślony na potrzeby trój-medialnych pomp ciepła Hibernatus. I tak woda o temperaturze >+55°C jest skierowana do górnej części zbiornika zwanego sprzęgłem cieplnym. Do środkowej części jest skierowana woda z drugiego skraplacza o temperaturze 35-55°C. W dolnej części sprzęgła cieplnego utrzymywana jest temperatura wody <35°C. Jest to woda powracająca.

Stosowna perforacja przepon przeciwdziała samoczynnemu (grawitacyjnemu) mieszaniu się wody i wyrównywaniu jej temperatury w poszczególnych strefach. Temperatury podane na rysunku powyżej są przykładowe, przez odpowiednią regulację natężenia przepływu wody przez poszczególne skraplacze można regulować temperaturę w poszczególnych częściach sprzęgła cieplnego.

Korzyści płynące ze stosowania sprzęgła cieplnego to:

–wyższa temperatura górnego źródła (do 88°C).

–mniejsze straty ciepła i wyższa sprawność obiegu pompy ciepła.

–większa elastyczność w uzupełnianiu się wody o różnych wartościach temperatury.

Uzasadnieniem celowości stosowania sprzęgła cieplnego jest przyrost entropii wody przejmującej ciepło od czynnika chłodniczego w skraplaczu w dwóch wariantach:

- woda jest gromadzona w jednym zasobniku ciepłej wody o jednej stałej temperaturze.
- woda jest gromadzona w sprzęgle cieplnym.

Porównując pracę pompy ciepła ze sprzęgłem i bez, jednoznacznie wynika, że zastosowanie sprzęgła cieplnego zmniejsza straty energii ponad trzykrotnie. Z całkowitego ciepła, które powinno przejść z czynnika do wody straty rozpraszania energii wynoszą:

- bez zastosowania sprzęgła 2,51%.
- z zastosowaniem sprzęgła 0,68%.

Sprawność obiegu bez sprzęgła: 0,3657
Sprawność obiegu ze sprzęgłem: 0,4039

Przykładem zastosowania trój-medialnych pomp ciepła Hibernatus jest Szkoła w Pawonkowie (2007/2008). Budowa obiektu została podzielona na dwa etapy. W pierwszym etapie została wybudowana hala gimnastyczna wraz z zapleczem socjalnym i maszynownia pomp ciepła dla całego obiektu. Następny etap to będzie budowa szkoły i podłączenie do już istniejącego węzła ciepła. Moc grzewcza instalacji 380kW. Jest to system monowalentny. Pompy ciepła są jedynym źródłem ciepła, zarówno dla centralnego ogrzewania, wentylacji jaki i grzania ciepłej wody użytkowej. Dolnym źródłem ciepła dla pomp ciepła jest poziomy kolektor gruntowy. Sprzęgło ciepła składa się z 3 zbiorników połączonych szeregowo. Każdy ze zbiorników odpowiada jednej ze stref temperaturowych.

Zdjęcie 1. Instalacja trój-medialnych pomp ciepła w szkole (Pawonków)
Photography 1. System with three-medium heat pumps in school (Pawonków)

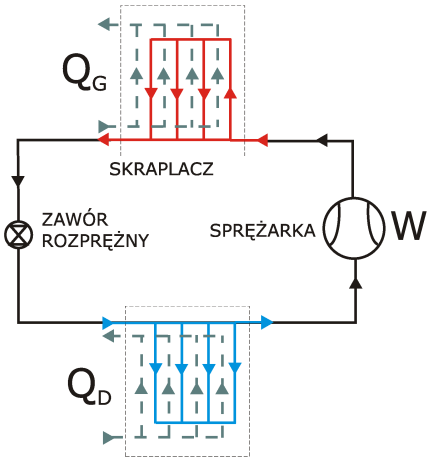
5. POMPY CIEPŁA W SYSTEMACH SKOJARZONYCH W PRZEMYŚLE

Pompy ciepła w gospodarce skojarzonej charakteryzują się wysokim współczynnikiem wydajności. W klasycznej pompie ciepła wykorzystujemy ciepło dolnego i górnego źródła pompy ciepła (Rys. 4). Jeżeli będzie wykorzystane ciepło dolnego i górnego źródła ciepła pompy ciepła, to znaczy pompa będzie jednocześnie grzała i chłodziła, wtedy mamy gospodarkę skojarzoną pompy.

Bardzo dobrymi przykładami gospodarki skojarzonej są:
Pompy ciepła w mleczarniach. Odprowadzone ciepło podczas chłodzenia mleka (dolne źródło ciepła) wykorzystywane jest do podgrzewania wody potrzebnej do celów technologicznych (np. mycia zbiorników, rurociągów, posadzek) i ogrzewanie ciepłej wody użytkowej, centralnego ogrzewania itd. Następnym bardzo dobrym przykładem systemu skojarzonego jest zakład przetwórstwa mięsnego. Ciepło odprowadzone z chłodni procesu przetwarzania mięsa po przejściu przez pompę ciepła jest wykorzystane do grzania ciepłej wody użytkowej, technologicznej oraz centralnego ogrzewania.

Współczynnik efektywności pompy ciepła:

$$COP = \frac{Q_G}{W} \qquad (2)$$



Rys. 4. Obieg termodynamiczny pompy ciepła
Fig. 4. Thermodynamic cycle of the heat pump

Współczynnik efektywności pompy ciepła w systemie skojarzonym:

$$COP = \frac{(Q_G + Q_D)}{W} \qquad (3)$$

6. NOWE TRENDY W POMPACH CIEPŁA

W roku 1930 większość naturalnych czynników chłodniczych zostało zastąpionych niepalnymi odpowiednikami, w większości wypadków ze względu na bezpieczeństwo, w chłodnictwie zaczęły królować związki CFC(R12), HCFC (R22), HFC (R407C). W ostatnich latach zaczęły się pojawiać niepokojące informacje związane z oddziaływaniem tych związków na środowisko, a w szczególności na powłokę ozonową. Spowodowało to ponowne zainteresowanie czynnikami naturalnymi, a w szczególności propanem, amoniakiem lub dwutlenkiem węgla. W latach 2004 – 2007 firma Hibernatus uczestniczyła w międzynarodowym projekcie badawczym „Sustainable Heat and Energy Research for Heat Pumps Applications (SHERHPA)", zorganizowanym i finansowanym według reguł 6 Programu Ramowego Badań i Rozwoju Unii Europejskiej. Celem projektu było opracowanie nowej generacji pomp ciepła dla systemów ogrzewania spełniających najnowsze wymagania efektywnego użytkowania energii i skutecznej ochrony środowiska. Grupa obejmowała 20 firm oraz placówki naukowe z Austrii, Francji, Hiszpanii, Irlandii, Niemiec, Szwecji i Włoch, a także Bułgarii, Czech, Holandii, Polski, Ukrainy i Wielkiej Brytanii.

Efektem współpracy było stworzenie odpowiednio zoptymalizowanego obiegu pompy ciepła na propan, dwutlenek węgla oraz amoniak.

Polska firma Hibernatus miała za zadanie zbudować pompę ciepła na propan o mocy grzewczej ~7kW. Konstrukcja pompy ciepła uwzględniała następujące aspekty:

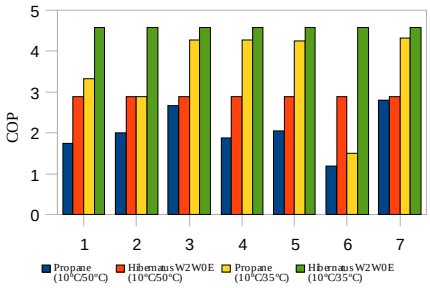
zastosowanie nowych spiralnych wymienników ciepła, zarówno dla parownika jak i skraplacza,

zminimalizowanie ilości gazu w układzie, aby w wypadku wycieku zminimalizować możliwość wybuchu,

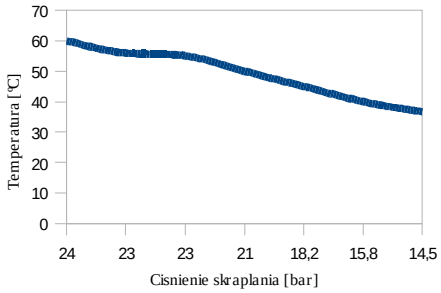
uzyskać maksymalny współczynnik efektywności pompy ciepła.

W celu zminimalizowania ilości gazu w układzie, testy przeprowadzono na trzech podstawowych układach chłodniczych:

A) w tym układzie zastosowano podstawowe elementy obiegu termodynamicznego tj. parownik, kompresor, skraplacz, zawór termostatyczny oraz zawór rozprężny,



Rys. 5. Współczynni efektywności
Fig. 5. Efficiency



Rys. 6. Maksymalna temperatura
Fig. 6. Max temperature

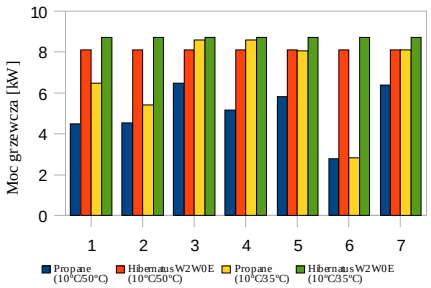
B) w tym układzie, aby zoptymalizować pracę urządzenia dodano zbiornik cieczy,

C) w ostatnim układzie, zastosowano dochładzacz cieczy wraz ze zbiornikiem cieczy.

W celu optymalizacji wyników badań stosowano w wyżej wymienionych układach różne ilości czynnika chłodniczego oraz stosowano w zaworach rozprężnych różne dysze. Dodatkowo zostały zastosowane zbiornik czynnika oraz dochładzacz czynnika.

Na powyższym wykresie (Rys.5) zostały porównane współczynniki efektywności COP dla różnych konfiguracji pompy ciepła w porównaniu do pompy ciepła Hibernatus W2W0E pracującej na freonie R407c. Przy najmniejszej ilości gazu 0,9 kg (1) współczynnik efektywności jest znacząco niski w porównaniu do referencyjnej pompy ciepła firmy Hibernatus. Przy ilości gazu równej 1 kg (3) możliwe było osiągniecie podobnej wartości współczynnika COP do pompy referencyjnej. Aby zwiększyć efektywność wymiany skraplacza zastosowaliśmy zbiornik cieczy o pojemności 0,5L. Przy ilości gazu równej 0,9 kg (2) możliwe było osiągnięcie nieznacznie zwiększonej efektywności. Następnym elementem jaki zmieniliśmy w konfiguracji był dochładzacz cieczy. Dzięki niemu udało się obniżyć temperaturę cieczy oraz temperaturę skraplania, a zarazem zwiększyć moc chłodniczą na parowniku. W wypadku tej konfiguracji byliśmy zmuszeni dodać dodatkową ilość gazu do obiegu ponieważ dosyć mocno spadła efektywność układu (6). Po ilości gazu równej 1,35 kg (7) współczynnik efektywności znacząco się podniósł i osiągnął zbliżone rezultaty jak referencyjna pompa ciepła Hibernatus W2W0E. Dodatkową zaletą tego rozwiązania było uzyskanie na wyjściu wodnego obiegu ciepła górnego źródła temperaturę 60°C przy ciśnieniu skraplania 24 bar (Rys. 6).

Jak widać na wykresie poniżej (Rys.7) przy mniejszej ilości gazu różnice w osiągniętych mocach grzewczych do pompy referencyjnej są dosyć spore (1,2). Po zastosowaniu zbiornika cieczy oraz odpowiedniej ilości gazu (5,7) moc grzewcza jest porównywalna z osiągnięta w pompie ciepła Hibernatus W2W0E. W konfiguracji numer 6 znowu widać



Rys. 7. Moc grzewcza
Fig. 7. Heating efficiency

brak wystarczającej ilości gazu przy zastosowaniu zbiornika cieczy oraz dochładzacza czynnika.

7. PODSUMOWANIE

Myślą przewodnią artykułu jest naświetlenie jak wiele możliwości zastosowań dają nam systemy na pompach ciepła. Zarówno w budownictwie wszelakiego typu jak i w przemyśle. Ekonomiczne aspekty stosowania tych urządzeń są szczególnie widoczne w przemyśle. Pompa ciepła jest urządzeniem, które w aktualnych czasach jest wstanie całkowicie zabezpieczyć gospodarkę grzewczo - chłodniczą większości systemów. W skali kraju i świata przy szerokim zastosowaniu pomp ciepła ¾ energii cieplnej produkowanej metodą spalania można zastąpić energią odnawialną co zdecydowanie poprawiłoby efekt ekologiczny. A przede wszystkim zmniejszy emisję gazów cieplarnianych. Ciągły rozwój tych urządzeń powoduję, że stają się one coraz bardziej efektywne oraz jeszcze bardziej ekologiczne. Większość szkodliwych opinii jakie powstały na temat pomp ciepła, była spowodowana złymi kryteriami doboru oraz błędnym projektowaniem. Dlatego bardzo ważnym elementem jest wybór odpowiednio doświadczonej i kompetentnej firmy, która nie tylko zajmuje się sprzedażą pomp ciepła, ale także projektowaniem kompletnych systemów.

INNOVATORY SOLUTIONS IN HEAT PUMP BASED SYSTEMS

SUMMARY

Most of heat pumps systems are heating-only applications. They can be used for either any normal heating need or space/water heating. Newest technology gives us possibilities to use it as a friendly user system for HVAC technology. Today, heat pumps systems evolve rapidly in order to use it in combined heating and cooling systems. The tools of heat integration have been used to determine the strategies for the efficient energy consumption in the process industries. The presentation focuses on demonstrating how much the heat pumps based systems are economic and ecology.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Janusz SŁAWIŃSKI, prof.[1],
Zbigniew GÓRSKI, dr inż.[2],
Izabela MAGDZIAREK, inż.[1],
Monika POWIERZA, inż.[1]

(1)State Higher Vocational School,
Institute of Ecotechnology
Ks. Kard. St. Wyszyńskiego 38, 62-200 Gniezno, Poland.
e-mail: j.slawinski@verim.ch
(2)Technical University of Poznań,
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry,
Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Poland
e-mail: zgorski_n@wp.pl

A FAST AND SENSITIVE METHOD FOR DETERMINATION OF POLYMERS DEGRADATION BY ENVIRONMENTAL FACTORS USING AN ULTRAHIGH SENSITIVE CCD CAMERA AND SINGLE PHOTON COUNTING IMAGING TECHNIQUE

ABSTRACT

The interaction of polyethyleneterephthalate (PETP) and polycarbonate (PC) foils with light, UV radiation, humidity and artificial acid rains was studied using absorption spectroscopy, testing mechanical properties of foils and chemiluminescence imaging. The most destructing agents are broad band radiation (200-1000 nm) and oxidative character of acid rains. These agents change slightly absorption spectra and more mechanical properties of polymeric foils. The most sensitive and pertinent to the physicochemical mechanisms of foils' degradation method appears to be chemiluminescence enhanced by molecular probes such as luminol, lucigenin and hydrogen peroxide. This method allows multiparametric comparison of many samples in the same time and conditions. It is expected that the method adopted to semiconducting organic photovoltaic materials may be useful for testing their resistance to detrimental environment conditions.

1. INTRODUCTION

Organic polymers exposed to solar radiation and changing atmospheric conditions undergo photochemical free radical destructive processes. This is particularly detrimental to photovoltaic foils because of the decrease in the efficiency of the solar energy - to electricity transformation and worsening of mechanical foil properties. We studied the effect of UV, visible and near IR radiation in dry and humid atmosphere and artificial acid rains on optical and mechanical properties of polyester foils.

2. MATERIALS AND METHODS

The material tested, methods and structure of our research were following :
polyethyleneterephthalate ester foil (PETP)
polycarbonate ester foils (PC) with (uvp) and without anti UV protection (screen).

2.1. Irradiation conditions

Irradiation wavelength: 254 nm, 366 nm, 200-1000 nm.
Irradiation time: 15, 45 and 135 min.
Humidity and atmosphere: dry air, humidity 27-33 hPa,
artificial acid "rain" 0.1 M HNO_3 + 0.1 H_2SO_4, temperature 21-33 ^oC.

2.2. Reagents

Chemiluminescence-enhancing molecular probes: 0.l micromolar 3-aminophthalhydrazide (luminol) and bis-N-methylacridinium dinitrate (lucigenin), 1 milimolar hydrogen peroxide, Sigma, pro anal.

2.3. Methods and apparature

Absorption spectroscopy, V-530 Jasco absorption spectrometer, 200-1100 nm, Japan; Luminescence imaging Molecular Light Imager LB 981 CCD camera ("Night Owl") Berthold, Germany; spectral range 250-1000 nm, maximum efficiency 85% at λ = 630 nm. Mechanical properties of foils: 5 kN Zwick FB005 TN apparatus, Germany.

3. RESULTS

3.1. Absorption spectra and mechanical properties of foils

Absorption spectra of control and tested foil samples cover the spectral range 220-400 nm and show main absorption maxima around 210 nm, then a sharp decrease and a gradual diminution of absorbance with increasing wavelength. Slightly higher absorption in the spectral range 350-650 nm exhibited samples exposed to detrimental conditions in comparison to the control. The full radiation in the range 220-1000 nm caused stronger changes than UV radiation with λ = 254 nm. No new absorption bands or distinct changes of absorbance that might be valuable for analytical purposes were observed.
Comparison of mechanical properties of foils gives Table 1.

3.2. Chemiluminescence imaging and kinetics

Samples of foils were inserted in the light-tight compartment of "Night Owl" camera and photographs taken (2s, weak illumination). This illumination induced ultraweak luminescence of samples that gradually decayed during the first part of the measurements,

Table 1. Mechanical properties of foils exposed to detrimental environments
Tabela 1. Właściwości mechaniczne folii eksponowanych na szkodliwe warunki otoczenia

Foil	E [MPa]		σx [MPa]	C M %
PETP	350.5	c	4.7	11.6
	306.8	d ir	4.9	13.7
	262.3	h ir	5.7	16.9
PC	1053.1	c	32.4	7.5
	924.8	d ir	28.2	7.7
	885.6	h ir	28.7	7.1
PC uvp	694.5	c	25.1	7.5
	575.0	ir	0.12	6.7

c – control: dry, non irradiated
d ir – dry, irradiated
uvp – ultraviolet protected
h ir – humid, irradiated

E – modulus of elasticity (Young's modulus)
σx – elastic limit
CM – relative elongation at the maximum of strength

Table 2. Identification number of samples and conditions of theirs treatment.
Tabela 2. Numery identyfikacyjne i warunki traktowania próbek

Degradation conditions of samples	Number of sample							
	PETP			PC		Control		
	Acid rains	Dry conditions	Humid atmosphere	Humid atmosphere no uv screen	Dry conditions uv screen	Dry atmosphere no uv protection	Luminol	Lucigenin
Non irradiated	1 26	5 30	9 34	13 38	17 42	21 46	-	-
Irradiated λ=254 nm	2 27	6 31	10 35	14 39	18 43	22 47	-	-
Irradiated λ=366 nm	3 28	7 32	11 36	15 40	19 44	23 48	-	-
Irradiated λ=200 ÷1000 nm	4 29	8 33	12 37	16 41	20 45	24 49	-	-
-	-	-	-	-	-	-	25	50

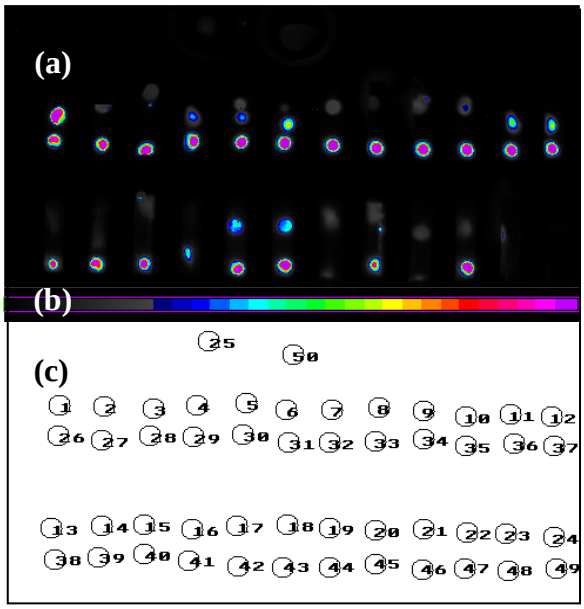


Fig.1. Chemiluminescence images of foil samples exposed to various environmental conditions recorded after 16 h in the Molecular Light Imager "Night Owl"
(a). One drop (50 µL) of luminol, lucigenin and 1 mM hydrogen peroxide were imposed on the samples (upper part), pseudocolorization scale (b), identification numbers and localization (c), description in the text.
Rys. 1. Obrazy chemiluminescencyjne próbek folii eksponowanych na różne warunki środowiska rejestrowane po 16 godzinach za pomocą Molecular Light Imager: 50 µL luminolu, lucigeniny i H_2O_2 naniesiono na próbki(górna część (a), skala pseudokoloryzacji (b) oraz rozmieszczenie próbek (c) - opis patrz w tekście.

lasting 16 hours. Kinetic curves I = f(t) of the delayed luminescence are presented in Figs 2-4. The second part of experiments involved imaging of control and environment-affected foils alone and with drops of luminol, lucigenin or hydrogen peroxide solutions. Details of measurements, analysis of data and interpretation are given elsewhere [6,8].
Images of chemiluminescence are shown in Fig. 1.
Kinetics of delayed luminescence, spontaneous and induced chemiluminescence (Fig. 1,upper part, A) from foil samples was analyzed (Fig. 2-5). The intensity of luminescence is given in the number of photocounts per 1 square mm and 1 s.
The numbers given in legends correspond to numbers of foil samples from Table 2. Lum – luminol, luc – lucigenin. Values of emitances (the intensity of emission) given in figures are numbers of samples in Table 2. Emitances of samples not shown in figures were in the value of background.

4. DISCUSSION

Comparison of chemiluminescence intensity and kinetics (Fig.1-4) provides convincing arguments for the oxidative character of foils deterioration.

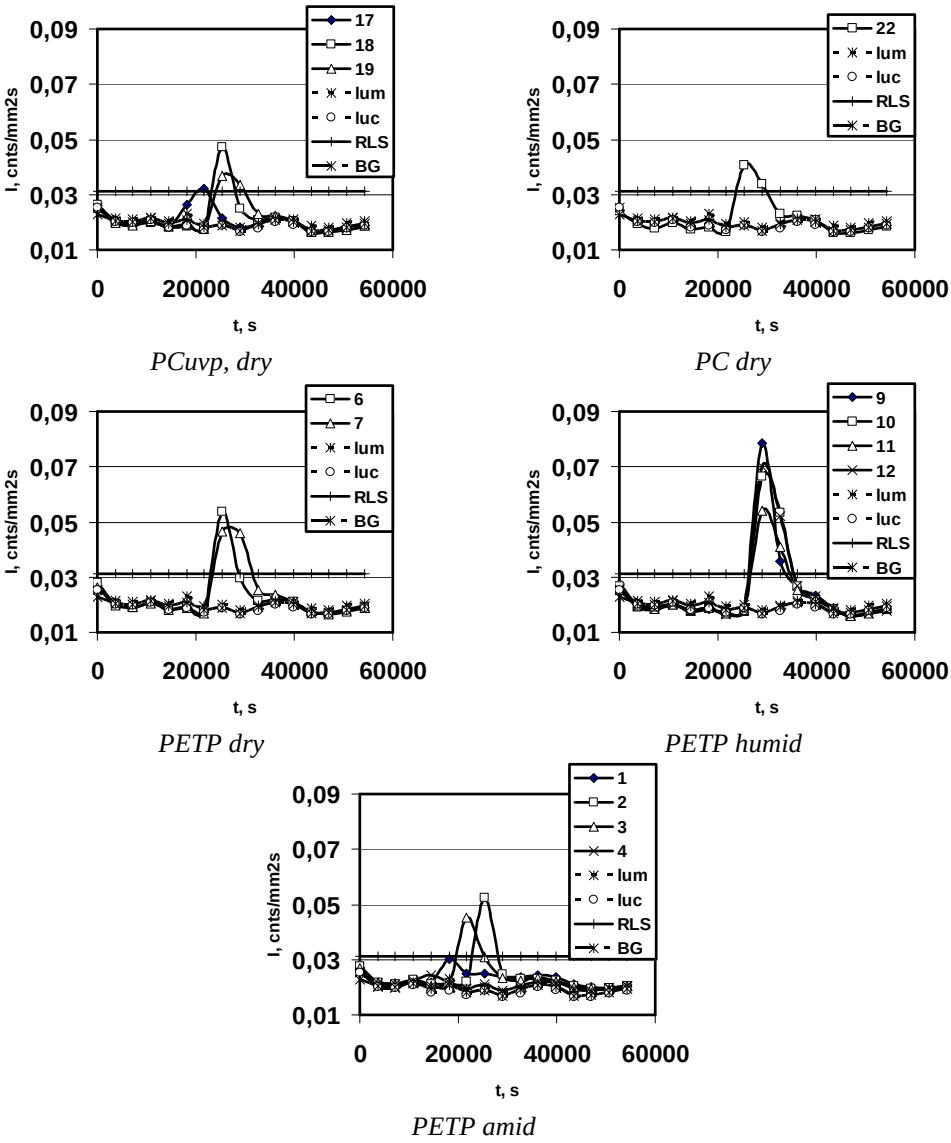


Fig.2. Kinetic curves I = f(t) of chemiluminescence from foil samples recorded after 16 hours with Molecular Light Imager. No hydrogen peroxide added.
RLS - radioluminescence from the internal standard ^{60}Ni – porcelain incorporated.
BG – background emission.
Rys. 2. Krzywe kinetyczne I = f(t) chemiluminescencji próbek folii eksponowanych na różne warunki środowiska rejestrowane po 16 godzinach za pomocą Molecular Light Imager. Bez dodatku nadtlenku wodoru H_2O_2,
RLS – standard radioluminescencyjny ^{60}Ni w porcelanie, BG – tło.

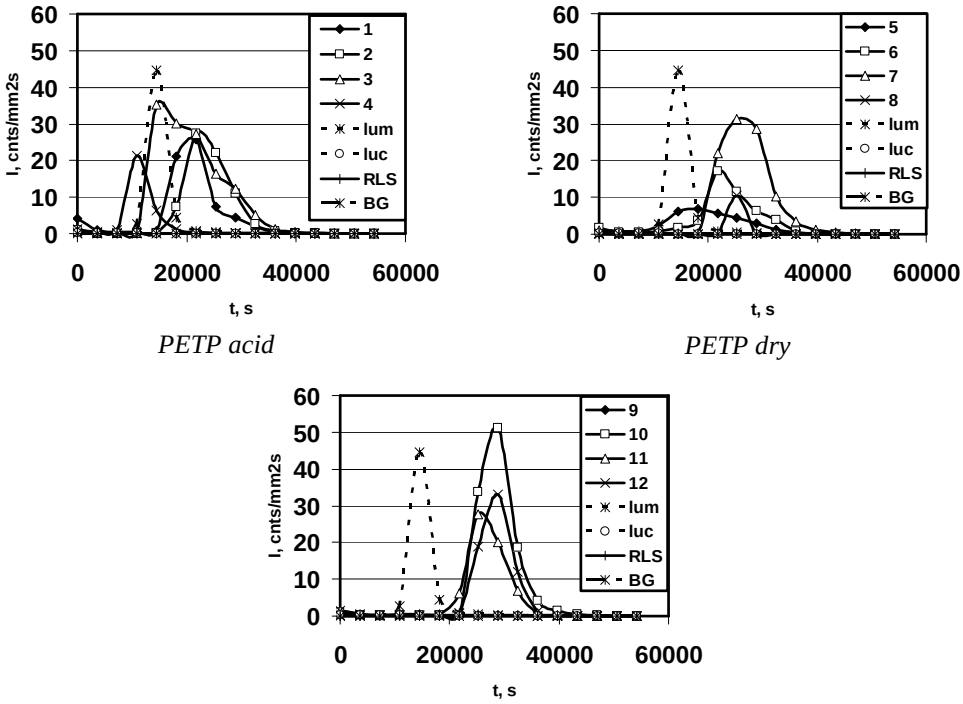


Fig. 3. Kinetic curves I = f(t) of chemiluminescence from foil samples (PETP) with 1 mM H_2O_2 recorded after 16 hours with Molecular Light Imager
Rys. 3. Krzywe kinetyczne I=f(t) chemiluminescencji folii (PETP) z dodatkiem 1 mM H_2O_2 zarejestrowane po 16 godzinach za pomocą Molecular Light Imager.

From the experimental results presented here and literature data [5,7] it is clear that the tested foils exposed to detrimental environment conditions undergo slow oxidative processes involving free radical mechanisms. The most pronounced effect of hydrogen peroxide on the intensity of chemiluminescence (Fig. 1-4) indicates that the formation of H_2O_2 and organic peroxides in the tested materials may be the rate limiting step in deterioration of foils mechanical and optical properties. These two kinds of properties are particularly important for semiconducting organic foils synthetised for the conversion of solar energy into electricity [2,4]. Solar radiation not only produces electricity, but at the same time deteriorates organic photovoltaic material. The degree of deterioration depends mainly on the intensity and spectrum of radiation and oxidative properties of atmosphere. Formation of ozone under UVC radiation may significantly contribute to degradation of organic materials [3,5,7,9,10] Our results suggest that the visible part of the solar radiation and acid rains are dominant factors inducing negative effects in tested foils.

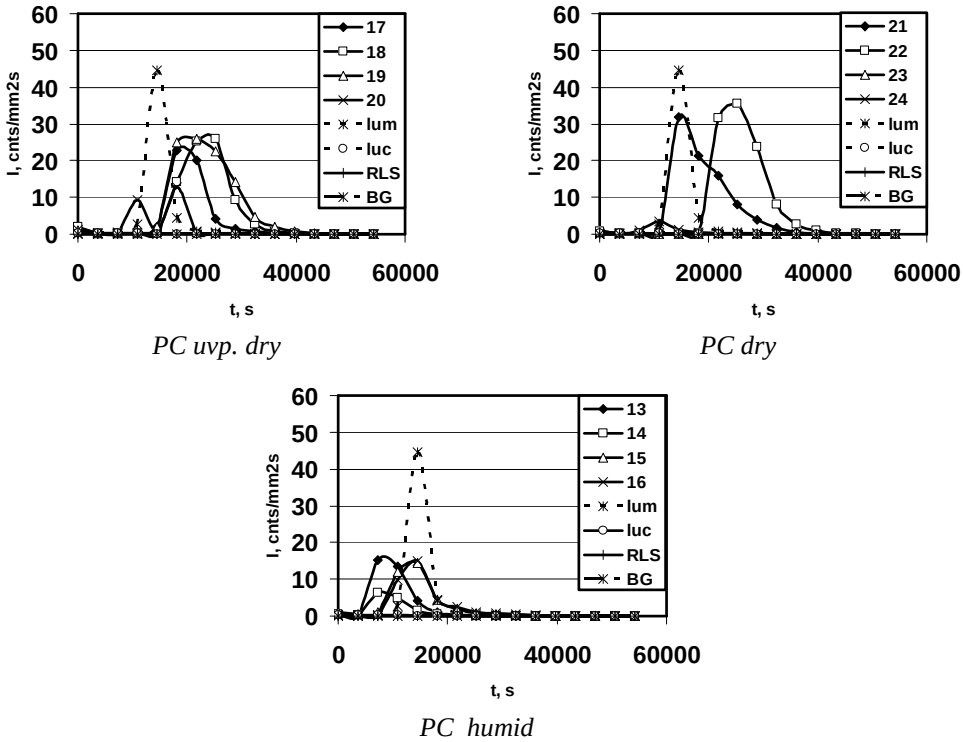


Fig. 4. Kinetic curves I = f(t) of chemiluminescence from foil samples (PC) with 0.1 mM H_2O_2 recorded after 16 hours with Molecular Light Imager
Rys. 4. Krzywe kinetyczne I=f(t) chemiluminescencji folii (PC z dodatkiem 0.1 mM H_2O_2 zarejestrowane po 16 godzinach za pomocą Molecular Light Imager.

5. SUMMARY

Degradation of polymeric foils PETP and PC by environmental factors was investigated using optical and mechanical methods: absorption spectrometry in the range 200 - 1000 nm, chemiluminescence imaging and kinetics and testing tensile properties. The broad band electromagnetic radiation (200-1000 nm) and oxidative character of acid rains and atmosphere are most destructing agents for PETP and PC foils. These agents change slightly absorption spectra and more distinctly mechanical properties of polymeric foils. The most sensitive and pertinent method to the physicochemical mechanisms of foils' degradation appears to be their chemiluminescence enhanced by molecular probes such as luminol, lucigenin and hydrogen peroxide. Chemiluminescence measurements of images and kinetics of foils allows multiparametric comparison of many samples in the same time and conditions. AntyUV protecting screen on PC foils gives only small effect. It is expected that the method adopted to semiconducting organic photovoltaic materials may be useful for testing their resistance to detrimental environment conditions.

6. REFERENCES

[1] Biniek D. Stabilizatory UV – po co i dlaczego? Rynek Tworzyw, 2, 2007.

[2] Godlewski J., Szydłowska A. Organiczne ogniwa fotowoltaiczne. Folia Sci. Univ.Tech. Resoviensis, 40,143-155; Solina 2003.

[3] Górski Z., Sławinski J. Use of CCD-monitored chemiluminmescence imaging for sensing of the UV and ozone-induced degradation of humic substances. Proc.SPIE, 4887, 23-31, 2002.

[4] Sławinski J. Sensitized thin conjugated polymers for photovoltaic applications. Folia Sci. Univ. Tech. Resoviensis, 451-458, 2006; Solina 2006.

[5] Sławinska D., Sławinski J., Górski Z. Chemiluminescence methods for the evaluation of degradative processes in soil organic matter. Optical security safety, Proc. SPIE, 5566, 5-10,2004.

[6] Z. Górski, T. Bembnista, J. Floryszak-Wieczorek, M. Domański, J. Sławiński: Computer-aided photometric analysis of dynamic digital bioluminescent images. Photometric analysis of bioluminescent image. Proc. SPIE, 5064 (2003),1-10.

[7] Z. Górski, J. Sławiński: Chemiluminescence imaging of humic acid interactions with UV radiation and ozone. In: Chemiluminescence at the Turn of the Millenium. Eds. S. Albrecht, T. Zimmermann, H. Brandl. Schweda_Werberdruck GmbH, Dresden 2001, 53-58.

[8] Paczkowski J. Fotochemia polimerów, Teoria i zastosowania. PWN, 2003.

[9] Rabek J.F. Polymer photodegradation. Mechanisms and experimental methods. Chapman & Hall, 2005.

[10] Plucinski P.,Górski Z., Sławinski J. Resistance of model humic acids to UV radiation. Acta Agrophysica. 9 (1), 2007,191-202.

SZYBKA I CZUŁA METODA BADANIA POLIMERÓW DEGRADOWANYCH CZYNNIKAMI ŚRODOWISKOWYMI ZA POMOCĄ ULTRACZUŁEJ KAMERY CCD OBRAZUJĄCEJ W TECHNICE ZLICZANIA POJEDYNCZYCH FOTONÓW

PODSUMOWANIE

Badano degradację folii polimerowych PETP i PC przez czynniki środowiskowe za pomocą metod optycznych i mechanicznych: spektrofotometrii absorpcyjnej 9200-1000nm), właściwości mechanicznych oraz obrazowania i kinetyki chemiluminescencji.

Promieniowanie zakresu 200-1000 nm oraz utleniający charakter kwaśnego deszczu i atmosfery okazały się najbardziej destrukcyjnymi czynnikami. Widma absorpcji nieznacznie się zmieniały, bardziej wyraźnie właściwości mechaniczne. Najbardziej adekwatną do mechanizmów destrukcji metodą jest obrazowanie chemiluminescencji oraz jej kinetyki z użyciem sond molekularnych – luminolu, lucigeniny i nadtlenku wodoru. Umożliwia ona wieloparametrowe porównanie dużej liczby próbek folii w tych samych warunkach i czasie. Osłony przeciw promieniowaniu UV wykazały ich małą efektywność.

Można oczekiwać, że metoda obrazowania i kinetyki chemiluminescencji może okazać się użyteczna dla badania trwałości przewodzących folii organicznych stosowanych w fotowoltaice.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Janusz SŁAWINSKI, prof.,
Justyna KARASIEWICZ, ing.,
Karolina DOLATA, ing.

The State Higher Vocational School, Institute of Ecotechnology,
PL, 62-200 Gniezno, Poland
Państwowa Wyższa Szkola Zawodowa, Instytut Ekotechnologi,
ul.Ks.Kard.St.Wyszyńskiego 38, 62-200 Gniezno

APPLICATION OF *MISCANTHUS* x *GIGANTEUS* AS A SOURCE OF RENOVABLE ENERGY AND CONSTRUCTION MATERIAL

ABSTRACT

This paper presents possibilities to use high productivity perennial C4-grass called *Miscanthus x Giganteus* as a biofuel and fibre for usage in building materials, paper biodegradable packing materials, geotextiles and many environment friendly products. Full stems of the grass combined with cement and/or gips in the form of plates have been prepared in our laboratory.

1. INTRODUCTION

The major alternatives to the conventional fossil fuels are nuclear energy and removable sources such as solar, wind, tidal, rivers and biomass. Renovable energies are not associated with pollution of environment. Each year photosynthesis produces biomas with an energy content of ca $3 \cdot 10^{21}$ J, i.e. about 10 times more than global consumed energy use and 200 times more than food energy consumption [1]. The reliance on biomass fuels is also justified because of adverse climatic effects. Biomass is capable of providing high density storable chemical fuels.

This paper presents possibilities to use high productivity perennial C_4-grass called *Miscanthus* x *Giganteus* as a biofuel and fibre for usage in building materials, paper, biodegradable materials, geotextile and mats for acoustic protection. Full stems specially treated

with selected chemicals in order to increase their adhesion to plaster and cement were prepared and their mechanical properties were measured.

2. AGROENERGETIC ASPECTS OF THE CULTIVATION AND USAGE OF *MISCANTHUS* x *GIGANTEUS*

2.1. Cultivation

As a perennial plant C_3 has a different anatomy, physiology and different assimilation organs than the C_3 plants which are indigenous and the most wide-spread in Middle, Western and Northern Europe. Its appearance and also in part the relatively high demands made on the location, temperature and water supply are similar to maize, millet, sugar, cane. Compared to the C_3 plants, C_4 plants have a better utilization (by ca 40%) of the carbon-dioxide content of the air and need higher daytime temperatures. Their water demand per each kg of dry matter is low. The plants should be harvested from the beginning of December until the end of March after vegetation is completed. *Miscanthus* requires three years for establishment. Full productivity is reached from the third year on, and under favorable conditions between 25.000 and 40.000 kg fresh mass can be harvested. Highest biomass yield is reached in November because leaves (ca 40 %) can also be harvested [1.2].

2.2. The main average nutrients content

Burnable elements:

The carbon content is ca 50%, the hydrogen is approximately 5.4 %, the sulphur is under 0.1 % and is significantly less than in fossil energy sources. The chlorine varies between 0.1 – 0.4%. When used as fuel with a yield of 20 – 25 t of dry matter/ha, about 40 t of CO_2 are set free. However, approximately the same amount of CO_2 is bound again by photosynthesis in contrast to fossil energy.

The ash fraction:

Total ash is in average 3 % and contains the following macro and micro elements:

Macroelements: SiO_2 is the major part of the total ash – ca 54 %. The K_2O content varies from 10 to 20% and it lies within the field of wood and straw ash. The P_2O_5 content rises from 2 to 3% and is similar to wood.

The MgO content is changeable; in average 4%, CaO content varies from 4.7 to 6.3 %. Fe_2O_3, Al_2O_3 and Na_2O 0.2 %. The major fraction of these minerals, about 500 – 700 kg/ha and the year can come back to the soil by recycling.

Trace elements (in ppm) are present in the ash of the waterfree biomass, such as Pb, 10-30, Cd 0.1- 0.7, Cu 10-120 and Hg 02.

Miscanthus shows a favourable ecological balance. It protects the soil from erosion due to strong, extensive roots, and on the other hand, make desirable loosening of the soil in the intensively farmed fields [3, 4].

2.3.1. Fuels derived from the biomass

Miscanthus giganteus posses inherent capability for capturing and storing large quantities of solar energy in the form of chemical organic compounds. Glucose has as many oxygen atoms as carbon atoms. Carbohydrates are inherently low in energy, 14 GJ/t. Cellulose has much higher energy content than carbohydrates [5].

Biomass- to-energy systems can be summarized in two major types: (a) direct combustion

of biomass materials for heat, steam or electricity; (b) production of molecules that are rich in carbon or hydrogen or both and poor in the elements like oxygen and nitrogen which do not contribute to high energy content. The second approach is of greatest scientific interest and requires extended research.

Comparison of heating values of fuels gives Table 1 [1,4].

Table 1.Heating values of fuels

Tabela 1. Wartości opalowe paliw

Fuel	Heating value in MJ/kg
Cellulose	15.0
Lignin	28.0
Straw	14.5
Energy cereals	15.0
Miscanthus giganteus	**17.0**
Wood	17.0
Brown coal	20.0
Peat coal	32.0
Diesel Oil	42.0
Rape Oil	40.0
Gasoline	46.0
Ethanol	26.9
Methanol	19.5
Biogas	61.0
Hydrogen	144.0

The metabolic engineering of microorganisms directed to design the improved ability to alcoholic fermentation and simultaneous enzymatic hydrolysis of cellulose, hemicellulose and lignocellulose from maize straw, shugar cane and wheat are considered [6,7] . New pilot plants builded in Brasil, Canada and Sweden in 2004-2006 produce bioethanol from these crops. One can expect that a fast progress in recent research in microbioengineering will also include the use of miscanthus as a substrate for ethanol production [8,9].

Another possibility might be elaboration of the anaerobic gasification technology of biomass from the grass, i.e. pyrolysis at 400-600^{0}C. This process produces both gaseous and liquid fuels as well as many usable products such as eg. pyroligneous acid (a raw acetic acid), pyroligneous spirit (methanol), charcoal, tar and ash. However, one has to take into account an accumulation of heavy metals in some of these liquid and solid products, particularly in ash. Miscanthus giganteus uptakes heavy metal ions from the soil, and is considered to be a fitoremediation plant [10]. Certain solid products of its alteration can contain significant amounts of heavy metals and should be treated in a special way guaranteeing safety.

3. MISCANTHUS x *GIGANTEUS AS AN INDUSTRIAL ROW MATERIAL*

Stems of the miscanthus grass are strong, springy, inside empty pipes with hydrophobic external surface.

They are very similar to bamboo – some miniature of the bamboo. They can be used for production of a variety of products.

1. The stems can be bundled and use as dams in marshlands in order to slow down the water or be woven to mats for usage on waterfronts and slopes.
2. Miscanthus-made mats are environment friendly fences around buildings, in gardens , anti-snow screens. Because of their hydrophobic surface they are relatively durable, sun - temperature and water –resistant materials.
3. Mats made of Miscanthus may be used as noise-damping screens along highways.
4. Chopped stems are used in the production of building materials: with length 20-25 mm in ceiling elements, fiber plates and window-frames, part of automobile. In these cases chopped material is mixed with other substances as polymers of traditional building materials.
5. Miscanthus grass is also suitable for paperpulp production as it stems contain 24% lignin and 63% raw cellulose. An increasing demand for paper production may additionally support cultivation of this grass. A lot of miscelaneous products environment friendly can be produced from this grass, like baskets, casts, containers and decorative articles.
6. In our laboratory full stems with the length of 20-40 cm were treated with selected chemicals in order to increase adhesion between the surface of stems to building materials such as cements and plasters. These experiments have been aimed to obtain strong, light construction elements for seilings and inner walls with high quality acoustic and thermal properties [11].

4. CONCLUSIONS

Agroenergetic aspects of cultivation of Miscanthus giganteus grass and the use of its biomass as a renovable source of energy as well as construction material or additive to building elements indicates the increasing prosperity of this direction of research and practical applications.

5. PODSUMOWANIE

W pracy omówiono agrotechniczne i energetyczne aspekty uprawy i wykorzystania trawy chińskiej *Miscanthus Giganteus* jako źródła energii odnawialnej oraz wykorzystania jako dodatku do materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie oraz jako ekologicznie przyjaznych materiałów w ochronie środowiska. Przedstawione dane wskazują na przyszłościowy charakter badań i możliwości wszechstronnego, praktycznego wykorzystania tej rośliny dla celów energetycznych i jako pomocniczego materiału w budownictwie.

6. REFERENCES

[1] El Bassam N. Dambroth M. A concept of energy plant's farm. In: Biomass for energy, industry and environment, 6-th E.C. Conference, eds. G.Grassi, A. Colina, H. Zibetta. Elsevier Applied Science.34-40, 1990.

[2] Van der Wef H.M.G. Meijer W.J.M. Mathijssen. EWJM and A. Darwinkel. Potential dry matter production of Miscanthus sinensis in the Netherlands. Industrial Crops Products, 1,203-210,1993
[3] Huisman & Kortleve W.J. Mechanization of crop establishment, harvest & post harvest conservation of Miscanthus sinensis giganteus. Industrial Groups & Products. 2.1-11, 1994.
[4] Cieśla L. Trawa chinska (Miscanthus sinensis). Aura, 9, 10-11.1995.
[5] Libhard P. Miscanthus sinensis giganteus renovable biamass as fuel and industrial row material. European Seminar Technologies & Development strategy. 24th November 1993, Evreux, France, 2-15.
[6] Grabek-Leyko D., Ryabova O.B., Oklejewicz B., Voronovsky A.V., Sibirny A.A. J. Industr. Microbiol. Technol.33, 934-940, 2006.
[7] Sibirny W, Puchalski Cz., Sibirny A. Biotechnologia 4 (79) 38-54, 2007.
[8] Kotowski W. Biomas-to-liquid (BTL) or Sun Fuel. Agroenergetyka 2 (24) 2 kw.2008.
[9] Kotowski W. Sweet Grass. Agroenergetyka, 2 (24) 21-22, 2008.
[10] Von Th. Diez, M.Krauss, A. Wurzinger, E. Bihler, D.Nast. Schwermetall-Aufhahme und – Austrag von Extrem Belasteten unter Pflanzenbaulicher Nutzung. Landwirtschaftliches Jahrbuch 69, Jhrg. Heft 1/92
[11] Karasiewicz J. and Dolata K. Wykorzystanie trawy chińskiej Miscantus x giganteus jako biopaliwa i materialu konstrukcyjnego. Ingineer Dissertation, PWSZ In Gniezno, 2008.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Wiktoria SOBCZYK, dr hab. inż., prof. nadzw. AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza
Katedra Ekologii Terenów Przemysłowych
Al. A. Mickiewicza 30; 30-059 Kraków
sobczyk@agh.edu.pl

WYKORZYSTANIE ALTERNATYWNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W ZAWOI PRZYSŁOPIE (MAŁOPOLSKA)

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono proekologiczną i edukacyjną działalność dwu placówek: dydaktycznej i pozadydaktycznej w małej miejscowości w Małopolsce - Zawoja Przysłop. Opisywany region posiada walory krajobrazowe sprzyjające rozwojowi alternatywnej energetyki. Miejscowa społeczność żywo interesuje się problematyką ekologiczną, jest kreatywna i chętna do działań na rzecz zrównoważonego rozwoju swojego regionu.

1. WPROWADZENIE

Pod pojęciem źródło energii rozumiemy źródło nie przetworzonej energii pierwotnej paliw, wód, wnętrza Ziemi, wiatru, promieniowania Słońca i rozpadu jądra atomu. Podstawowym źródłem energii na Ziemi jest promieniowanie słoneczne. Aż 45% tej energii pochłaniają lądy i morza, ok. 30% odbijane jest przez atmosferę, pozostała część zostaje zużyta w procesie fotosyntezy. Przez setki milionów lat dzięki fotosyntezie tworzyły się pokłady paliw kopalnych: węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego.

Olbrzymie zapotrzebowanie na energię rozpoczęło się w dobie rewolucji przemysłowej. W drugiej połowie XX wieku węgiel przestał być głównym źródłem energii, zwłaszcza w krajach wysoko rozwiniętych. Zastąpiły go inne surowce: ropa naftowa i gaz ziemny, a ważną rolę odegrały względy ekologiczne. W trakcie spalania węgla następuje emitosja pyłów oraz tlenków węgla, siarki i azotu. Ropa naftowa jest łatwiejsza w wydobyciu i transporcie, ma też wyższą wartość opałową niż węgiel. Po II wojnie światowej wzro-

sło znaczenie gazu ziemnego. Zanieczyszczenie środowiska wynikające ze spalania gazu ziemnego jest minimalne.

Największym i niewyczerpalnym od kilku miliardów lat źródłem energii jest Słońce. Wykorzystanie nawet niewielkiej części jego mocy mogłoby złagodzić skutki kryzysu energetycznego. W technice największą nadzieję budzą dwie metody przetwarzania energii słonecznej: konwersja fotowoltaiczna i termoelektryczna. Pierwsza z nich bezpośrednio zamienia promieniowanie fotonowe na energię elektryczną w specjalnych półprzewodnikowych ogniwach fotoelektrycznych. Druga z metod wykorzystuje ciepło promieniowania słonecznego [Pluta 2000].

W odróżnieniu od elektrowni cieplnych elektrownie wodne nie zanieczyszczają środowiska naturalnego. Wymagają odpowiedniego ukształtowania terenu i znacznego potencjału wód, a także zapewnienia wysokich nakładów na budowę zapór wodnych. Jednak w eksploatacji są tańsze od cieplnych i bardziej czyste pod względem ekologicznym. Elektrownie wodne dostarczają 21% ogółu energii elektrycznej na świecie. Wiatr w przeciwieństwie do innych źródeł energii jest niewyczerpalny, jest to źródło stale odnawiające się oraz najobficiej występujące na Ziemi. Energia wiatru była jednym z najstarszych źródeł zamieniających energię kinetyczną na energię mechaniczną. Jest to energia czysta ekologicznie i tania, jednakże praktyczne wykorzystanie nie jest łatwe z powodu braku jej powtarzalności.

Energia geotermalna jest energią bardzo rozproszoną w porównaniu do energii zawartej w paliwach kopalnych. Najczęściej wykorzystuje się gorącą wodę do bezpośredniego ogrzewania budynków lub w przypadku pary wodnej do generowania energii elektrycznej. Ten rodzaj energii wykorzystywany był na długo przed ropą naftową czy węglem.

Biomasa to materia organiczna, do której powstania przyczynił się proces fotosyntezy. Biomasę tworzą podstawowe pierwiastki: węgiel, wodór i tlen.

Wyczerpywanie złóż surowców energetycznych, kryzysy naftowe, rosnące koszty produkcji energii, spowodowały, że świat rozpoczął poszukiwania alternatywnych źródeł energii. W pierwszej kolejności zwrócono się ku najstarszym, znanym od wieków rozwiązaniom: wykorzystaniu energii zawartej w Słońcu, w biomasie i w sile wiatru.

2. ŚCIEŻKA PRZYRODNICZA FORMĄ EDUKACJI EKOLOGICZNEJ

Niezbędnym elementem programu społecznego i gospodarczego, zmierzającym do realizacji nowej ery ekologicznej, jest edukacja ekologiczna. Jest ona składnikiem wielostronnego rozwoju osobowości człowieka. W ekoedukacji można zastosować formy i środki dydaktyczne znacznie wzbogacające proces nauczania. Zajęcia terenowe to jedna z form edukacji ekologicznej, oparta na działalności praktycznej. Celem zajęć jest analiza zagrożeń środowiskowych, rozbudzanie wrażliwości i poczucia współodpowiedzialności za stan środowiska.

Edukacja ekologiczna zwana jest również edukacją środowiskową. Tworzy ona pełny zakres relacji między człowiekiem, społeczeństwem i przyrodą, ukazuje zależności człowieka od środowiska, uczy odpowiedzialności za zmiany dokonywane w środowisku przyrodniczym [Kiełczewski 1999].

Założenia Polityki Ekologicznej Państwa zostały zrealizowane przez wprowadzenie przedmiotów ekologicznych do programów nauczania, a także zmianę świadomości ekologicznej społeczeństwa poprzez niekonwencjonalne działania edukacyjne.

Międzynarodowa strategia edukacji ekologicznej mówi, że edukacja środowiskowa jest procesem otwartym, w czasie którego społeczeństwo przyswaja sobie wiedzę, opanowuje umiejętności, nabywa doświadczenia, kształtuje wolę działania w celu rozwiązywania problemów środowiskowych. W edukacji ekologicznej konieczne jest rozumienie współzależności między ekologią i ekonomią, poznanie skutków degradacji środowiska, reprezentowanie stylu życia i zachowania człowieka nie szkodzącego środowisku [Balicki 1994].

Edukacja ekologiczna kładzie mniejszy nacisk na przekazywanie słuchaczom wiedzy teoretycznej, większy zaś na umiejętności praktyczne, działanie, kształtowanie zainteresowań i odpowiedzialności za własne czyny.

Zajęcia terenowe to jedna z metod nauczania, oparta na działalności praktycznej. Celem zajęć jest poznanie roli człowieka w środowisku, zrozumienie praw rządzących przyrodą, ocena zagrożeń ze źródeł antropogenicznych, rozbudzanie wrażliwości. Zajęcia w terenie zbliżają człowieka do przyrody, kształtują emocjonalny stosunek do zwierząt, roślin i otaczającego terenu, pomagają realizować zamiłowania przyrodnicze, krajoznawcze, turystyczne, geograficzne, uczą myśleć przyrodniczo, są doskonałą lekcją przyrody i geografii, motywują do odpowiedniego zachowania się w środowisku [Poskrobko 1998].

Ścieżka przyrodnicza jest prostą i bardzo atrakcyjną formą przedstawiania elementów i przemian otaczającej przyrody. Organizacja zajęć terenowych wiąże się z odpowiednim przygotowaniem prowadzącego i uczestników. Prowadzący dobiera tematykę, przygotowuje podstawy teoretyczne, samodzielnie poznaje teren wycieczki, dobiera atrakcyjne środki dydaktyczne.

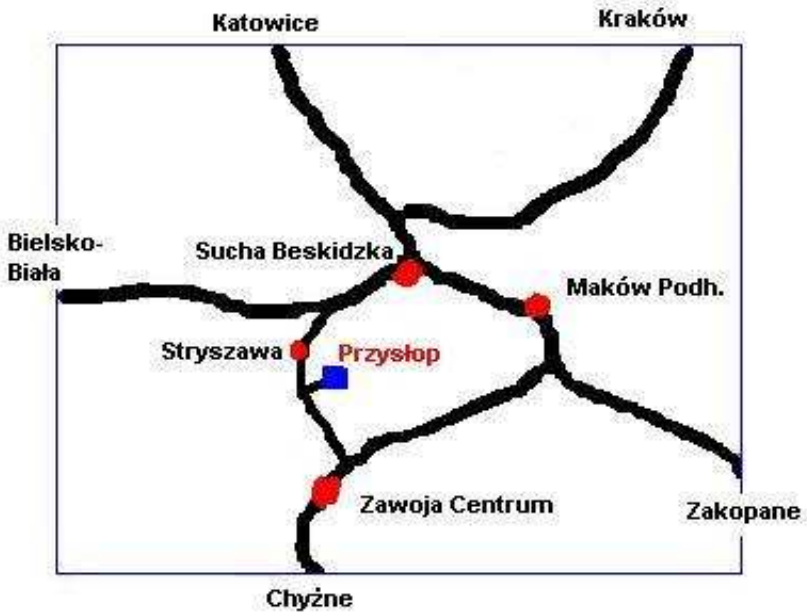
Szlak programowy tworzą stanowiska dydaktyczne. Ich liczba i rozmieszczenie zależą od rodzaju zadania dydaktycznego. Celem wyznaczenia ścieżki dydaktycznej jest bezpośrednie zapoznanie się ze zjawiskami przyrodniczymi *in situ*, a także obserwacja form oddziaływania człowieka na środowisko naturalne, uczulenie na degradację środowiska, śledzenie zmian w przyrodzie, uwrażliwienie na piękno przyrody [Poskrobko 1998]. Ścieżka edukacyjna powinna być przygotowana na określonej trasie, umożliwiającej obserwacje różnorodnych elementów przyrody ożywionej i nieożywionej. Najbardziej wartościowe są ścieżki dydaktyczne utworzone w sposób profesjonalny, z myślą o powszechnej edukacji, na przykład w parkach narodowych, parkach krajobrazowych, w lasach, na trasach turystycznych. Organizacja ścieżki dydaktycznej w ramach zajęć z ochrony środowiska jest prosta. W praktyce umożliwia weryfikację wiedzy i znajomości pojęć z ekologii. Pozwala obserwować elementy środowiska, wyzwala umiejętność kojarzenia faktów, poznania związków między działalnością człowieka a przyrodą i środowiskiem. Rozwija poczucie więzi z przyrodą i odpowiedzialności za jej stan [Sobczyk 2003].

Ścieżki w zależności od prezentowanej tematyki noszą nazwy: przyrodniczych, ekologicznych, edukacyjnych, poznawczych, krajobrazowych. Pod zróżnicowanymi nazwami często kryje się bardzo zbliżona treść. Zasadniczo wyróżnia się dwie grupy ścieżek: przyrodniczą i historyczno-kulturową. Wśród ścieżek przyrodniczych najbardziej atrakcyjne są ścieżki prezentujące różne formy ukształtowania terenu, czyli ścieżki geograficzne i krajoznawcze. Z kolei ścieżki geologiczne ukazują budowę geologiczną, uczą rozpoznawania skał i minerałów. Na ścieżkach faunistycznych rozpoznaje się gatunki zwierząt oraz sposoby ich ochrony [Stachyrak, Wojnicki 1999].

3. ŚCIEŻKA DYDAKTYCZNA W ZAWOI PRZYSŁOPIE

3.1. Lokalizacja ścieżki edukacyjnej

Zawoja to miejscowość leżąca w Beskidzie Żywieckim, zaś Przysłop jest przysiółkiem usytuowanym na pograniczu trzech gmin: Zawoja, Stryszawa i Maków Podhalański. Z miejsc widokowych można podziwiać pasma Babiej Góry, Policy i Jałowca. W bliskim sąsiedztwie rozpościera się Babiogórski Park Narodowy.



Rys. 1. Lokalizacja terenu badań
Fig. 1. Locality of investigation terrain

Ze względu na walory krajobrazowe, przyrodnicze i kulturowe, cenne inicjatywy na rzecz rozwoju lokalnego oraz działalność proekologiczną Przysłop stał się atrakcyjnym miejscem zwiedzania przez turystów indywidualnych i grup wycieczkowych z całej Polski, jak również przez gości zagranicznych. W Przysłopie krzyżują się piesze szlaki turystyczne i ścieżki rowerowe.

3.2. Oznakowanie ścieżki dydaktycznej

Ścieżka ma długość około 7 km. Czas przejścia wraz ze zwiedzaniem wynosi 4 godziny. W niniejszym artykule zostanie opisana tylko ta część ścieżki, która związana jest tematycznie z alternatywnymi źródłami energii.

Początkowym przystankiem ścieżki jest Szkoła Podstawowa nr 4, w której działa Ośrodek Edukacji Środowiskowej. Pełni on funkcję dydaktyczną, informacyjną, wystawienniczą i kulturotwórczą w zakresie edukacji ekologicznej i regionalnej. W Szkole realizowane są zadania inwestycyjne z zakresu energii alternatywnej (zamontowano 8 kolektorów słonecznych).

Placówka prowadzi współpracę z Fundacją Partnerstwo dla Środowiska w Krakowie oraz z Babiogórskim Parkiem Narodowym. Fundacja Ośrodka Edukacji Ekologicznej EKO-OKO z Warszawy przyznała Szkole Zielony Certyfikat - znak jakości szkoły przyjaznej środowisku.

Na trasie ścieżki można spotkać najstarszy obiekt Przysłopia – starą chatę z 1890 r.; obiekty architektury sakralnej (liczne przydrożne kapliczki); obiekty geologiczne (odkrywka fliszu karpackiego zbudowanego z warstw piaskowca i łupków).

3.3. Elektrownia wiatrowa

Elektrownie wiatrowe przeznaczone są do przetwarzania energii wiatru na energię elektryczną. Są to wolno-, średnio- i szybkoobrotowe elektrownie o osi poziomej z trójłopatowym (najczęściej) wirnikiem, współpracujące z generatorem asynchronicznym. Wirnik z nastawianymi automatycznie łopatami wraz z generatorem wyniesiony jest na wysokość kilkudziesięciu metrów. Konstrukcją wznoszącą turbinę na taką wysokość jest stalowa wieża w kształcie walca. Projekty elektrowni uwzględniają najnowsze tendencje w dziedzinie energetyki wiatrowej.

Rys. 2. Elektrownia wiatrowa W Zawoi [Fot. W. Sobczyk]
Fig. 2. Wind power station in Zawoja [photo W. Sobczyk]

Na wysokości około 700 m n.p.m., w pobliżu klasztoru oo. Karmelitów Bosych, znajduje się elektrownia wiatrowa - atrakcja turystyczna ziemi babiogórskiej. Inicjatorem budowy był ojciec Romuald Wilk, znany również z realizacji innych rozwiązań proekologicznych w klasztorze (piec na biomasę, pompy ciepła, kolektory słoneczne). Budowa elektrowni wiatrowej finansowana była przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Bielsku Białej, Ekofundusz i Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska z Warszawy, prywatnych sponsorów i zakon. Zautomatyzowana elektrownia wiatrowa EW 160 została

zbudowana przez znaną firmę NOWOMAG SA z Nowego Sącza. Pracą elektrowni steruje układ mikroprocesorowy wykonany przez firmę SALTA Sp. z o.o. Kraków. Trzyskrzydłowy silnik wiatrowy ma średnicę wirnika 22 m. Dla uzyskania stałej prędkości wirnika łopaty posiadają regulowany kąt ustawienia do wiatru. Prądnica asynchroniczna, przekładnia walcowa i hamulec tarczowy umieszczone są w obrotowej głowicy na wieży. Elektrownia uzyskuje moc znamionową 160 kW przy prędkości wiatru 14 m/s.

Ojciec Romuald Wilk jest znany również z realizacji innych rozwiązań proekologicznych w klasztorze (piec na biomasę, 14-kilowatowa pompa ciepła, kolektory słoneczne).

Rys. 3. Panele słoneczne na dachu Klasztoru W Zawoi [Fot. W. Sobczyk]
Fig. 3. Solar energy collectors on the roof of the cloister in Zawoja [photo W. Sobczyk]

4. ZAKOŃCZENIE

Produkowanie energii pochodzącej z alternatywnych źródeł jest ogromną szansą na poprawę jakości środowiska.

W Polsce istnieją duże zasoby energii niekonwencjonalnej. Mogłyby one zaspokoić około 90% obecnego zapotrzebowania na energię. W 2005 roku udział energii pochodzącej z odnawialnych źródeł w zużyciu energii w Polsce wynosił 7,2 procent, natomiast celem dla Polski będzie osiągnięcie udziału zielonej energii w zużyciu energii na poziomie 15 procent w 2020 roku [Tudor 2008].

Państwa UE będą miały swobodę w doborze środków do osiągnięcia celów wyznaczonych w przyszłej dyrektywie, przy czym będą zobowiązane do przedstawienia wy-

branych przez siebie instrumentów w Narodowym Planie Działania przygotowanym do końca marca 2010 r.

W Polsce nie jest możliwa realizacja takich zadań w zakresie udziału energetyki alternatywnej w bilansie paliwowo-energetycznym, jakie stawia sobie UE, zwłaszcza w krótkim okresie do roku 2010. Jest to spowodowane przede wszystkim wieloletnim opóźnieniem naszego kraju w stosowaniu mechanizmów wspierających rozwój alternatywnych źródeł energii. Mimo tego coraz większa grupa inwestorów przekonuje się do słuszności inwestycji promujących energetykę alternatywną. Na rynku są dostępne najnowocześniejsze urządzenia i techniki do wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych. Istnieje także możliwość otrzymania dotacji od funduszy ekologicznych.

Chęć podnoszenia standardu życia zmusza społeczeństwo do zużywania coraz większej ilości energii. Powstaje problem źródeł energii, które można wykorzystywać w szerokim zakresie przy jak najmniejszym zanieczyszczaniu środowiska. Zasoby paliw kopalnych wyczerpują się. Dalsze ich wydobywanie będzie wiązało się z rosnącymi kosztami. Uprzemysłowione kraje świata bazują w dużej mierze na jednym nośniku energii - ropie naftowej. Nasza energetyka była i jest oparta na krajowym węglu. Dodatkowo działalność związana z wykorzystaniem alternatywnych źródeł energii rozwija się dynamicznie i zaskakuje nas nowymi polskimi rozwiązaniami, zarówno od strony teoretycznej, jak i praktycznej. Służy temu rozpowszechnienie zalet ekoenergetyki poprzez prośrodowiskową działalność i powszechną edukację ekologiczną.

5. LITERATURA

[1] Pluta Z.: Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.

[2] Poskrobko B. (red.): Naturalne środki dydaktyczne, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 1998.

[3] Sobczyk W.: Edukacja ekologiczna i prozdrowotna, Prace Monograficzne nr 293, Wydawnictwa Naukowe Akademii Pedagogicznej, Kraków 2003.

[4] Stachyrak J., Wojnicki T.; Wytyczne do opracowania ścieżki przyrodniczej, Zarząd Zespołu Karpackich Parków Krajobrazowych w Krośnie, Wyd. FCEEW Krosno 1999.

[5] I. Tudor, Jaka jest przyszłość odnawialnych źródeł energii w najbliższej dekadzie, „Gazeta Prawna” nr 44, 3 III 2008.

[6] www.zawoja.interia.pl

ALTERNATIVE SOURCES OF EGERGY IN ZAWOJA PRZYSLOP (MALOPOLSKA REGION)

SUMMARY

The article presents an environment-friendly and educational activities of two institutions: one – didactic, and the other – non-didactic, in Zawoja Przyslop - a small town in the Malopolska region. The topography of the described region is suitable for the development of the alternative power industry. The local community is really interested in environmental matters; show creativity and willingness to work for the sustainable development of the region.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Antoni STACHOWICZ, prof. dr hab. inż.
Małgorzata FEDORCZAK-CISAK, dr inż.

Politechnika Krakowska
Zakład Budownictwa Ogólnego i Przemysłowego
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: mporanna@wp.pl

EFEKTYWNE BIERNE WYKORZYSTANIE ENERGII SŁONECZNEJ W JEDNORODZINNYM BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM JAKO PROBLEM OPTYMALIZACJI WIELOKRYTERIALNEJ

STRESZCZENIE

W pracy problem racjonalnego doboru przeszklenia ścian budynku oraz właściwości termicznych okien sformułowano jako dwukryterialne zadanie ekstremalne. Minimalizowano koszt przegród zewnętrznych oraz zużycie energii na ogrzewanie. Wyznaczono rozwiązanie kompromisowe metodą kryterium globalnego. Uzyskane wyniki rozwiązań zadań ekstremalnych prowadzi do sformułowania wniosków dotyczących projektowania okien w niskoenergetycznych jednorodzinnych domach mieszkalnych.

1. WPROWADZENIE

Analizując wyniki ogólnie sformułowanego zadnia optymalizacji budynków jednorodzinnych [1,2,3] zauważono istotny wpływ na bilans energetyczny budynku (w okresie grzewczym) doboru współczynników przeszklenia dla poszczególnych jego ścian oraz wyboru typu okien dla budynku. W sensie jakościowym jest to zgodne z wynikami innych autorów [4,5]. Natomiast interesujące wydają się wyniki ilościowe uzyskane dla obszernego zbioru rozwiązań materiałowo - konstrukcyjnych i różnej formy budynków i ich zabudowy [1]. Wspomniane wyżej wyniki dotyczące optymalnego doboru przeszklenia skłoniły nas do przeprowadzenia oceny wpływu na wynik rozwiązania optymalnego dobru dla poszczególnych ścian budynku zarówno wielkości ich przeszklenia jak i rodzaju okien.

Optymalny dobór wspomnianych parametrów decyduje o efektywnym biernym wykorzystaniu energii słonecznej.

Sformułowanie takiego zadania i uzyskane wyniki przedstawiono w referacie.

2. SFORMUŁOWANIE ZADANIA

2.1. Założenia

Dla oceny wpływu optymalnego doboru okien analizę przeprowadzono dla jednego budynku parterowego o powierzchni mieszkalnej 169 m^2 i rzucie kwadratowym (długość boków 13 m, wysokość ścian 3m), o orientacji osi budynku N-S. Przyjęto jedno rozwiązanie materiałowo – konstrukcyjne ścian zewnętrznych (ściana dwuwarstwowa z cegły silikatowej z izolacją ze styropianu). Założono stałe współczynniki przenikania ciepła dla stropodachu i podłogi na gruncie wynoszące odpowiednio: U_d= 0,16 [W/m^2K], U_g=0,19 [W/m^2K].

2.2.Zmienne decyzyjne:

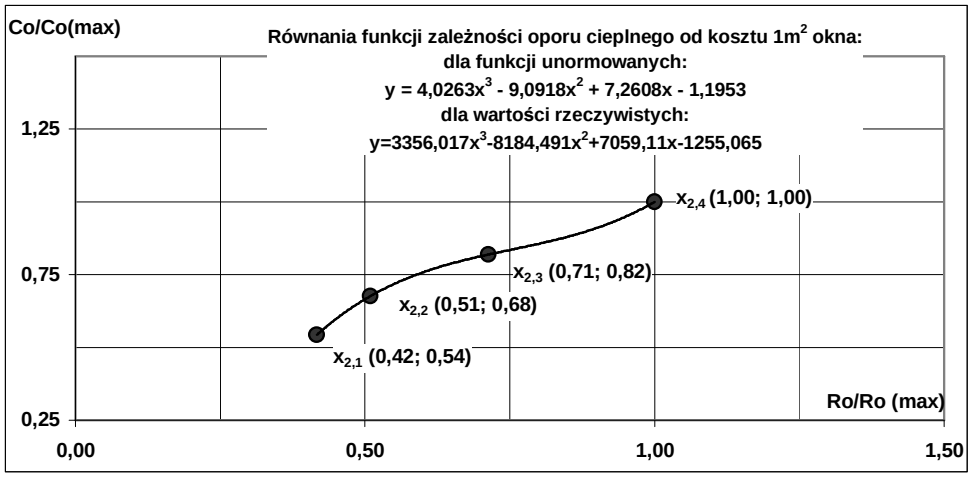
x_1 – opór cieplny ścian zewnętrznych nieprzeźroczystych,
x_{2i} – współczynnik przeszklenia i-tej ściany (A_o/ $A_ś$) (i = 1,2,3,4)
x_{3i} – opór cieplny okien na i-tej ścianie (i = 1,2,3,4) (1)

W problemach projektowych wartości zmiennych x_{3i} zdefiniowane są w zbiorach dyskretnych (typy okien), dlatego też, w ogólnym przypadku zadanie prowadzi do problemu optymalizacji dwupoziomowej. W tym jednak zadaniu, dla prześledzenia relacji pomiędzy wpływem zmiennych x_{2i} i x_{3i} na wynik rozwiązania zdecydowano się na zastąpienie dyskretnych zmiennych x_{3i} zmiennymi ciągłymi.

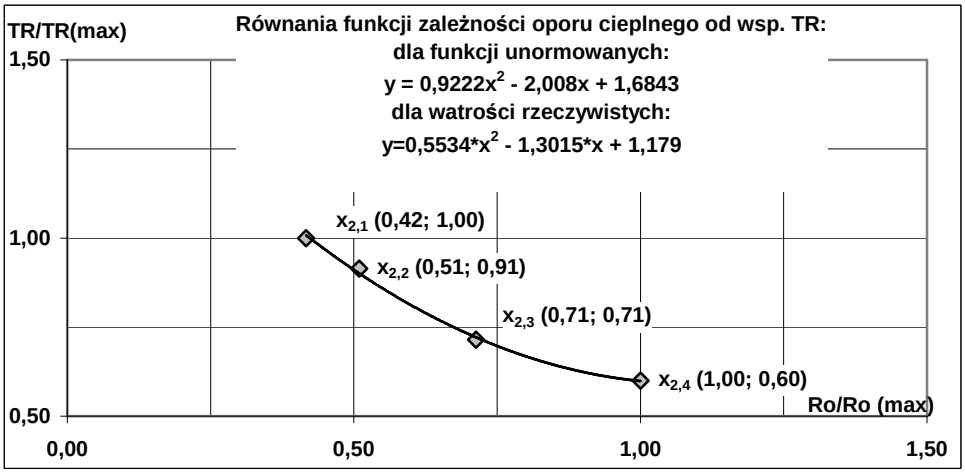
Wykorzystując zależności pomiędzy oporem cieplnym okien R_o a ceną C_o [m^2] okna, oraz oporem cieplnym R_o a współczynnikiem przepuszczalności promieniowania cieplnego TR, wyznaczono aproksymując (metoda minimum kwadratu odchylenia) wartości funkcje zmiennych decyzyjnych ciągłych x_{3i} (tabl.1, rys.1 i 2). Zestawienie zmiennych decyzyjnych podano w tabeli 2

Tabela 1. Zbiór zmiennych decyzyjnych dyskretnych x_{3i}, (unormowane wartości cech zmiennych x_{3i} do maksymalnych)).
Table 1. The set of decision variables x_{3i}.

$_{3,i}$	**Okna:**	**R_0**	**U**	**TR**	**Cena**
		[m^2K/W]	**[W /m^2K]**	**[-]**	**[zł/m^2]**
$_{3,1}$	- podwójne	0,45 (0,42)	2,22 (1,00)	0,70 (1,00)	570 (0,54)
$_{3,2}$	- potrójne z szyba zespoloną jednokomorową z jedną powłoką niskoemisyjną	0,55 (0,51)	1,81 (0,82)	0,64 (0,91)	710 (0,68)
$_{3,3}$	- specjalne	0,77 (0,71)	1,30 (0,59)	0,50 (0,71)	860 (0,82)
$_{3,4}$	- niskoemisyjne ^{PLUS}	1,08 (1,00)	0,92 (0,41)	0,42 (0,60)	1050 (1,00)



Rys.1. Koszt okna jako funkcja oporu cieplnego okna
Fig. 1. The windows cost as thermal resistance function



Rys.2. Współczynnik przepuszczania promieniowania słonecznego jako funkcja oporu cieplnego
Fig. 2. Coefficient TR as thermal resistance function

Tabela.2 Zestawienie zmiennych decyzyjnych.
Table 2. Decision variables.

	Opis	Symbol	Jednostka
x_2	opór cieplny ścian zewnętrznych	R_s	[m^2K/W]
$x_{1,i}$ (i=1,..,4)	wsp. przeszklenia i-tej ściany	r_i	[-]
$x_{3,i}$	opór cieplny i – tego okna	R_o	[m^2K/W]
Przyjęto orientacje: 1 – S, 2- W, 3- N, 4- E			

2.3. Zbiór ograniczeń

Zbiór **G** obejmuje:

$g_1 = \{g_{1min}, g_{1max}\}$ - ograniczenia wartości oporu cieplnego ściany zewnętrznej,
$g_{2i} = \{g_{2i\,min}, g_{2i\,max}\}$ - ograniczenia wartości współczynnika przeszklenia przegrody i (i=1,..,4),
$g_{3i} = \{g_{3imin}, g_{3imax}\}$ - ograniczenia wartości oporu cieplnego okna na i-tej ścianie (i=1,..,4). (2)

Tabela 3.Ograniczenia wartości oporu cieplnego ściany zewnętrznej R_s (g_1)
Table 3. The limit of thermal resistance the external partition R_s (g_1)

g_1 [m^2K/W]	
$g_{1\,min}$	g_{1max}
3,33	10,0

Tabela 4.Ograniczenia na współczynnik przeszklenia r_i ($g_{2,i}$).
Table 4. The limit of coefficient r_i ($g_{2,i}$).

$g_{2,i}$[-]		
$g_{2,i}$	$g_{2,i\,min}$	$g_{2,i\,max}$
$g_{2,1}$	0,101	0,28 (0,80)
$g_{2,2}$	0,101	0,28 (0,4)
$g_{2,3}$	0,101	0,28
$g_{2,4}$	0,101	0,28 (0,4)

Tabela 5. Ograniczenia wartości oporu cieplnego okna R_o(g_6)
Table 5. The limit of window thermal resistance R_o(g_6)

$g_{3,i}$[m^2K/W]		
$g_{3,i}$	$g_{3,i\,min}$	$g_{3,i\,max}$
$g_{3,i}$	0,45	1,08

2.4. Funkcje celu

K_1 – koszt przegród zewnętrznych.

$$\mathbf{K_1 (x) = K_{1o}(x) + K_{1s}(x)+ K_{1d}(x)+ K_{1p}(x)} \quad (3)$$

K_{1o} – koszt przegród przeźroczystych [zł]

K_{1s} – koszt ścian zewnętrznych, w tym : koszt materiału, robocizny oraz sprzętu budowlanego [zł]

K_{1d} – koszt stropodachu [zł]

K_{1p} – koszt podłogi na gruncie [zł]

K_2 – zapotrzebowanie energii cieplnej do ogrzewania w sezonie grzewczym.

$$\mathbf{K_2(x) =Qs +Qd+Qp+Qo+Qv-0,9(Qzo+Qzb)} \quad (4)$$

gdzie:

Q_s- straty ciepła przez ściany zewnętrzne [kWh],

Q_d - straty ciepła przez stropodach [kWh],

Q_p - straty ciepła przez podłogę na gruncie [kWh],

Q_o - straty ciepła przez przegrody przeźroczyste [kWh],

Q_v - straty ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego [kWh],

Q_{zo} – słoneczne zyski cieplne przez okna [kWh],

Q_{zb} – bytowe zyski cieplne [kWh].

- Straty i zyski ciepła w sezonie grzewczym wg obowiązujących normatywów [6].

2.5. Metoda rozwiązania

Zadanie sformułowano jako zadanie dwukryterialne z ograniczeniami. Zadania minimalizacji funkcji K_1 i K_2 to zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami. Zadanie wyjściowe rozwiązano numerycznie wykorzystując program Camos [7]. W pracy wykorzystano do obliczeń zadań optymalizacji jednokryterialnej (poziom dolny min $\mathbf{K_1}$, min $\mathbf{K_2}$) metodę kombinowaną złożoną z metody losowej i metody zmiennych tolerancji. Rozwiązanie zadania dwukryterialnego uzyskano poprzez zastosowanie metody kryterium globalnego.

3. WYNIKI

Analizując warunki konieczne dla minimum funkcji K_1 i K_2 (warunki Khuna-Tuckera) można wykazać, że ograniczenia nierównościowe są ograniczeniami aktywnymi. Można więc sterować rozwiązaniem poprzez dobór wartości ograniczeń. Dlatego też rozwiązano zadania dla kilku układów ograniczeń na wartości współczynników przeszklenia. Wyniki przy ograniczeniach podanych w tabl. 4, przedstawiono w tablicach 6,7,8.

Tabela 6. Wartości funkcji celu oraz zmienne decyzyjne, przy ograniczeniu przeszklenia na południowej ścianie 0,28.
Table 6. The values objective functions, decision variables (limit coefficient r_1=0,28 on south)

		min F_1		**min F_2**		**min (F_1;F_2)**	
	F_1 [zł]	**155444**		**192673**		**174118**	
	F_2 [kWh/a]	**13848**		**9658**		**10423**	
S	**r_1**	0,135	min	0,28	max	0,28	max
W	**r_2**	0,135	min	0,28	max	0,135	min
N	**r_3**	0,135	min	0,135	min	0,135	min
E	**r_4**	0,135	min	0,28	max	0,135	min
	Rs	3,33	min	10	max	7,8	
S	**Ro_1**	0,45	min	1,08	max	0,51	
W	**Ro_2**	0,45	min	1,08	max	0,91	
N	**Ro_3**	0,45	min	1,08	max	0,97	
E	**Ro_4**	0,45	min	1,08	max	0,93	

Tabela 7. Wartości funkcji celu oraz zmienne decyzyjne, przy ograniczeniu przeszklenia na południowej ścianie 0,80.
Table 7. The values objective functions, decision variables (limit coefficient r_1=0,80 on south)

Orientacja		**min F_1**		**min F_2**		**min (F_1;F_2)**	
	F_1 [zł]	**155369**		**206450**		**182617**	
	F_2 [kWh/a]	**13846**		**8556**		**9567**	
S	**r_1**	0,135	min	0,80	max	0,8	max
W	**r_2**	0,135	min	0,28	max	0,145	~min
N	**r_3**	0,135	min	0,135	min	0,135	min
E	**r_4**	0,135	min	0,28	max	0,135	min
	Rs	3,33	min	10,00	max	7,6	
S	**Ro_1**	0,45 D	min	0,108 A	max	0,55 C	
W	**Ro_2**	0,45 D	min	0,108 A	max	0,9 A	
N	**Ro_3**	0,45 D	min	0,108 A	max	1,08 A	max
E	**Ro_4**	0,45 D	min	0,108 A	max	0,9 A	

Tabela 8. Wartości funkcji celu oraz zmienne decyzyjne, przy ograniczeniu przeszklenia na południowej ścianie 0,80, wschodniej i zachodniej 0,4.
Table 8. The values of objective functions, decision variables (limit coefficients: r_1=0,80 on south; r_2 and r_4 =0,4 on west and east)

		min F1		**min F2**		**min (F1;F2)**	
	F_1	**155492**		**209693**		**182585**	
	F_2	**13838**		**8495**		**9545**	
S	**r_1**	0,135	min	0,80	max	0,80	max
W	**r_2**	0,135	min	0,40	max	0,135	min

N	**r_3**	0,135	min	0,135	min	0,135	min
E	**r_4**	0,135	min	0,40	max	0,135	min
	Rs	3,33	min	10,0	max	7,7	
S	**Ro_1**	0,45	min	1,08	max	0,55	
W	**Ro_2**	0,45	min	1,08	max	0,96	
N	**Ro_3**	0,45	min	1,08	max	0,97	
E	**Ro_4**	0,45	min	1,08	max	0,95	

Tabela 9. Ograniczenie zmiennej x_2, wartości wskaźnika E
Table 9. The Limits on x_2, coefficient E.

Ograniczenie x_2				**E [kWh/m^{3}a]**		
S	**W**	**N**	**E**	**min K_1**	**min K_2**	**min K_1 K_2**
0,28	0,28	0,28	0,28	27,3	19,0	20,6
0,80	0,28	0,28	0,28	27,3	16,9	18,9
0,80	0,40	0,28	0,40	27,3	16,8	18,8

4. PODSUMOWANIE

1^0 Zwiększanie przeszklenia ściany południowej pozwala na znaczące zmniejszenie wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na energię (~12%).

2^0 Zwiększenie przeszklenia ściany wschodniej lub zachodniej nie ma, praktycznie biorąc, wpływu na wielkość wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na energię. Okna na tych ścianach mogą więc być projektowane głównie z uwagi w wymagania związane z formą i funkcją pomieszczenia.

5. LITERATURA

[1] Fedorczak-Cisak M. „Ocena energetyczna budynków z wykorzystaniem optymalizacji wielkoryterialnej i wielopoziomowej”, rozprawa doktorska 2007

[2] Fedorczak-Cisak M., Stachowicz A. „Low energy and smart buildings – Analysis of Energy Consumption in All Life Cycle Building“. CESB 07 PRAGUE Conference 25-29.09.2007 Praga

[3] Fedorczak-Cisak M., Stachowicz A. “Designing low energy buildings as multicriteria and multilevel problem”. BUDOVA A ENERGIA 7, 7 Vedecká Konferencia s Medzinárodnou Učasťou, 24.10 - 26.10. 2007, Podbanské, Słowacja

[4] Kisilewicz T. „Window sizing procedure for energy efficient buildings“ Czasopismo techniczne Budownictwo, Zeszyt 5-B/2006, cz II, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.

[5] Marks W. „Optymalizacja w fizyce budowli”, SFB, ŁÓDŹ, 2001

[6] PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na. ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego

[7] Osyczka A. “Computer Aided Multicriterion Optimization System (CAMOS)”. International Software Publisher, Kraków, 1992

EFFECTIVE PASSIVE USAGE OF THE SOLAR ENERGY SYSTEM IN FAMILY HOUSING AS MULTICRITERIAL OPTIMIZATION PROBLEM

SUMMARY

In the article is framed the problem of choice size glazing external walls and the problem of choice the thermal characteristics of windows. Problems are framed as a two-criteria optimization problem. In work are framed two inverse criterions: minimum building cost including cost of materials and erection external partitions and minimum seasonal demand of heating energy. Compromise solution determined by global criterion method. The solutions external problems give possibility of framed reasons to designing size and kind of windows in low-energy housing buildings.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Antoni STACHOWICZ , prof. dr hab. inż.
Jolanta GINTOWT, mgr inż.

Politechnika Krakowska
Zakład Budownictwa Ogólnego i Przemysłowego
Ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: jolanta.gintowt@interia.pl

OPTYMALIZACJA WYBRANYCH KSZTAŁTÓW PODSTAWY BUDYNKÓW MIESZKALNYCH JAKO ZADANIE OPTYMALIZACJI WIELOKRYTERIALNEJ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono różne warianty kształtu budynku mieszkalnego, jednorodzinnego w zależności od usytuowania budynku w stosunku do stron świata. Zmiennymi decyzyjnymi były powierzchnie przeszklenia, długości boków, długości wcięć boków. Kryterium analizy były minimum kosztu inwestycyjnego i minimum energii do celów ogrzania budynku.

1. WPROWADZENIE

Do celów ogrzania budynków mieszkalnych zużywa się około 30 % energii w Polsce. Do prawa krajowego transponuje się wymagania Unii Europejskiej zawarte w Dyrektywie 2002/91/WE w celu ograniczenia emisji CO_2. W tym zakresie Polska spełnia wymagania, ale wynika to przede wszystkim ze zmniejszenia produkcji przemysłu ciężkiego nie zaś działań ograniczających emisję CO_2. Jednym ze skutecznych sposobów osiągnięcia tego celu jest termomodernizacja budynków mieszkalnych. Spośród wielu działań, które zmniejszają zużycie energii do ogrzania, na etapie projektowania czy przebudowy budynków mieszkalnych, wybór kształtu budynku jest jednym z ważniejszych. Kształt bryły budynku skorelowany z innymi elementami obudowy tj. powierzchnia przeszklenia, izolacyjność termiczna czy powierzchnia zabudowy daje możliwość zmniejszenia zużycia ener-

gii bez konieczności ponoszenia dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Wydaje się więc prostym narzędziem do oszczędzania energii.

2. PRZEDMIOT ANALIZY

Analizie poddano budynek jednorodzinny parterowy z nieużytkowym poddaszem. Parametry geometryczne i techniczne:
Podstawa budynku o powierzchni 150 m^2. Ściany o konstrukcji murowej z cegły pełnej grubości 25 cm, termoizolacja to wełna mineralna o optymalizowanej grubości. Minimalna grubość termoizolacji wynika ze spełnienia warunku U=0.3 [W/(m^2K)], maksymalna U=0,1[W/(m^2K)]. Wykończenie ścian to obustronny tynk. Podłoga pełna na gruncie o U=0.1 [W/(m^2K)]. Dach U=0,1[W/(m^2K)]. Wysokość kondygnacji w świetle 3 m. Wentylacja dla całego budynku 1 m^3/h^{-1}.

3. METODA ANALIZY

Obliczenia przeprowadzono programem CAMOS [1]. Temperatura wewnętrzna +20 ^{0}C, nasłonecznienie według [2]. Zmienne decyzyjne : x(1), x(2), x(3), x(4)- procentowy udział powierzchni przeszklenia na elewacji odpowiednio wschodniej, południowej, zachodniej, północnej [%], x(5)- opór cieplny ściany [m^2K/W], x(6)- simplex boków podstawy[-], x(7), x(8)-simplex wcięcia po stronie odpowiednio zachodniej, wschodniej [-].

4. WYNIKI

Uzyskane wyniki zestawiono w tabelach 1i 2. Analiza porównawcza[3] i wyników z tabeli 2: wartość F2 zmalała średnio 14 %. Usytuowanie w kierunku SWW daje największą oszczędność energii 18 %, w kierunku SEE najmniejszą 8 %. Długości boków podstawy zwiększają się w kierunku SSW 10 %, SWW 8 %, SSE 15 %, SEE 8%. Wyniki te są zgodne z [2]. Uzyskane wartości. pokazano na rysunku 1 (wartości) i rysunku 2 (procentową zmianę).

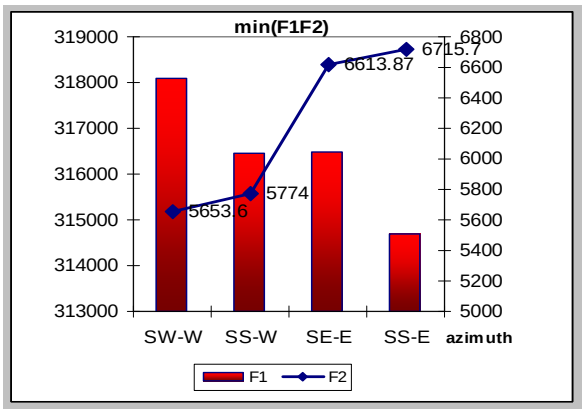
Tabela 1. Wcięcie budynku x(7), x(8).
Table 1. Indentation of a building x(7), x(8).

	F1	F2	x(1)	x(2)	x(3)	x(4)	x(5)	x(6)	x(7)	x(8)
SSW	316455.4	5774.8	max	0.399	min	min	max	1.2	min	min
SWW	318091.3	5653.6	0.55	max	min	min	max	1.0	min	min
SSE	314706.3	6715.8	max	0.283	min	min	8.33	1.25	min	min
SEE	316493.3	6613.9	max	0.476	min	min	9.33	1.04	min	min
O			3	1	2	3	4	5	6	7

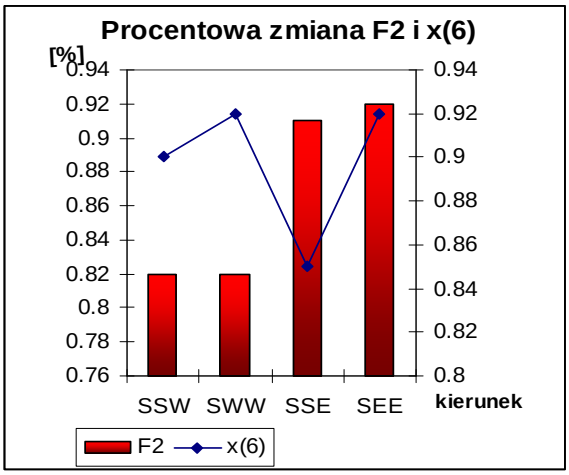
Ograniczenia: O, typ 1 kres górny : kres dolny 0.8-0.15
typ 2 kres górny : kres dolny 0.1-0.001
typ 3 kres górny : kres dolny 0.8-0.15
typ 4 kres górny : kres dolny 10-3.33
typ 5 kres górny : kres dolny 2-1
typ 6 kres górny : kres dolny 0.040-0.795
typ 7 kres górny : kres dolny 0.1633-0.2

Tabela 2. Wcięcie budynku x(7), x(8).
Table 2. Indentation of a building x(7), x(8).

	F1	F2	x(1)	x(2)	x(3)	x(4)	x(5)	x(6)	x(7)	x(8)
SSW	316511.4	4735.3	max	0.399	min	min	max	1.32	min	min
SWW	319091.3	4636	0.55	max	min	min	max	1.08	min	min
SSE	313998.3	6111.4	max	0.283	min	min	8.33	1.44	min	min
SEE	316393.3	6084.7	max	0.476	min	min	9.33	1.12	min	min
O			3	1	2	3	4	5	6	7



Rysunek 1. Zależność F1 i F2 zarówno od azymutu jak i wcięcia budynku
Fig.1. Interdependence both of the F1 and F2 of the azimuth and indentation of the shape



Rysunek 2. Procentowa zmiana zależności F1 i F2 zarówno od azymutu jak i wcięcia budynku
Fig.2. Percentage change of interdependence both of the F1 and F2 of the azimuth and indentation of the shape

5. PODSUMOWANIE

Kształtowanie bryły budynku przeprowadzono stosując kryteria minimum kosztu inwestycji, minimum zużycia energii do ogrzania. Przyjęcie danych godzinowego nasłonecznienia z przedziału o największym nasłonecznieniu w miejsce sum miesięcznych wydaje się celowe dla celów określania kształtu podstawy budynku. Wielkość wcięcia zwiększa się, bowiem rośnie wartość zmiennej decyzyjnej x(6)- simplex boków podstawy. Zacienienie budynku poprzez wcięcie powoduje nieprzegrzanie wnętrza a jednocześnie pozwala na uzyskanie większych zysków pasywnych.

6. LITERATURA

[1] Osyczka A., „Komputer aided multicriterion optimization system {CAMOS), International Software publishesrs, 1992.

[2] Chwieduk D.; „Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku", IPPT PAN, Warszawa 2006.

[3] Gintowt J., Stachowicz A.;"Optimization of low energy buildings of single –family houses ", Podbanske 2006.

[4] Jędrzejuk H, Marks W, "Przykład optymalizacji budynku wielorodzinnego o dyskretnych zmiennych decyzyjnych" -VI Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna, Energodom,2002.

OPTIMIZATION OF CHANGED SHAPES OF BUILDINGS AS A MULTICRITERION OPTIMIZATION

SUMMARY

The programming multicriterial optimization is constraint-sensitive. Independent argument of a function as a length, weight and area of windows (which are defined by inequality constrains) are separable variables. The variation of length to weight ratio as a SN windows percentage area in the walls defined problem of inseparable variables. Indentations attain min value. In the passive solar gain design, the calculation based on the hours solar radiation is more useful then the monthly method.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Aleksander A. STARAKIEWICZ, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: olekstar@prz.edu.pl

BADANIA ZUŻYCIA ENERGII NA POTRZEBY BYTOWE W BUDYNKU MIESZKALNYM

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań doświadczalnych całkowitego zużycie energii na potrzeby bytowe w budynku jednorodzinnym w okresie kilkudziesięciu lat. Porównano rzeczywiste zużycie energii dla zamrażarki starej i nowej generacji oraz jej teoretyczne zużycie wg wymagań normowych.

1. WPROWADZENIE

Każdy budynek mieszkalny wyposażony jest w wiele urządzeń niezbędnych do zaspokojenia potrzeb bytowych jego mieszkańców. Są to urządzenia przeznaczone do przygotowywania posiłków, przechowywania żywności, przygotowania ciepłej wody użytkowej, oświetlenia pomieszczeń, sprzęt AGD, RTV, komputerowy oraz zasilanie urządzeń technicznych. Urządzenia te spełniając swoje pierwotne funkcje dostarczają również energii cieplnej do budynków. Zużywana przez nie energia z jednej strony postrzegana jest jako niezbędna do zaspokojenia potrzeb bytowych mieszkańców z drugiej zaś jako energia cieplna wspomagająca ogrzewanie budynków, tzw. wewnętrzne zyski ciepła. Do zasilania tych urządzeń dostarczana jest energia pochodząca z różnych źródeł jak: energia elektryczna, energia z gazu ziemnego lub płynnego, z węgla, koksu, drewna, oleju opałowego czy słońca. Każda z wymienionych energii obciążona jest kosztem jej wytworzenia w zł/kWh. Zatem zużycie energii na potrzeby bytowe generuje różny poziom kosztów w gospodarstwach domowych, w określonych przedziałach czasowych (miesiąc, kwartał, rok, itd.).

Wielkość tych kosztów zależy od liczby i wieku mieszkańców, powierzchni budynku (mieszkania), poziomu wyposażenia (ilości sprzętu), klasy energooszczędności urządzeń, źródła pochodzenia energii zasilającej, świadomości związanej z energooszczędnością oraz przyzwyczajeń mieszkańców.
Ponoszone przez mieszkańców wysokie ogólne koszty zużycia energii na potrzeby bytowe, skłaniają do poszukiwania rozwiązań w kierunku ich obniżenia. Obniżenie tych kosztów związane jest z analizą ich pochodzenia (cena i ilość energii w zależności od źródła pochodzenia, klasyfikacja urządzeń pod względem zużycia energii i generowanych kosztów). W referacie zaprezentowane zostało zużycie energii na potrzeby bytowe, w budynku jednorodzinnym, w okresie kilkudziesięciu lat w zależności od pochodzenia energii zasilającej, rodzaj i liczby urządzeń (odbiorników).

2. OBLICZANIE ZUŻYCIA ENERGII NA POTRZEBY BYTOWE

Do obliczania zużycia energii na potrzeby bytowe możemy posłużyć się uproszczonymi algorytmami na wewnętrzne zyski ciepła z PN-B-02025:2001 [1].

Zużycie energii do przygotowania posiłków oblicza się z wzoru:

$$Q_{ic}(m) = 86400 * \Phi_c * Ld(m) \qquad [J]$$

gdzie:

Φ_c – uśredniony strumień cieplny od gotowania posiłków odniesiony do jednego mieszkania,

Zużycie energii do zasilania elektrycznych urządzeń oświetleniowych oblicza się z wzoru:

$$Q_{ios}(m) = 86400 * \Phi_{os} * Ld(m) \qquad [J]$$

gdzie:

Φ_{os} – uśredniony strumień cieplny od elektrycznych urządzeń oświetleniowych odniesiony do jednego mieszkania,

Zużycie energii do zasilania urządzeń elektrycznych oblicza się z wzoru:

$$Q_{iel}(m) = 86400 * \Phi_{el} * Ld(m) \qquad [J]$$

gdzie:

Φ_{el} – uśredniony strumień cieplny od urządzeń elektrycznych odniesiony do jednego mieszkania,

3. WYNIKI BADAŃ WYBRABYCH SKŁADNIKÓW ZUŻYCIA ENERGII NA POTRZEBY BYTOWE

W każdym gospodarstwie domowym zużywana jest energia do zaspokojenia potrzeb bytowych jego mieszkańców. Jest to najczęściej energia pochodząca z takich nośników jak: energia elektryczna, gaz ziemny, gaz płynny (propan-butan), węgiel, koks, drewno, olej opałowy lub sieć ciepłownicza. W analizowanym budynku jednorodzinnym podstawowym źródłem zasilania była energia elektryczna i energia z gazu płynnego a w ostatnich latach również z węgla kamiennego. Energia elektryczna używana była do przygotowywania ciepłej wody (do września 2005), oświetlenia budynku, zasilania wszelkich urządzeń elektrycznych a od października 1997 roku również do przygotowywania posiłków. Natomiast energia z gazu płynnego tylko do przygotowywania posiłków. Od września

2005 roku energia z węgla kamiennego całkowicie zastąpiła energię elektryczną przeznaczaną do przygotowywania ciepłej wody. Całkowite zużycie energii na potrzeby bytowe przez 6-cio osobową rodzinę w kolejnych kilkunastu latach, przy prawie tym samym wyposażeniu budynku, kształtowało się w przedziale od 8800 – 10000 kWh, przeciętnie na poziomie ok. 9400 kWh. Można zauważyć pewną falowość w zużywaniu energii. Po wysokim rocznym zużyciu energii następowało świadome poszukiwanie oszczędności i w efekcie obniżenie rocznego zużycia. Wzrost zużycia energii elektrycznej związany był np. z niższą ceną zakupu energii (uzyskanie pozwolenia i zainstalowanie licznika dwutaryfowego) ale również z ograniczeniem zużycia gazu płynnego (wzrost ceny o 55% w ciągu roku). Bardzo mocny spadek zużycia energii elektrycznej w budynku nastąpił od roku 2006 od kiedy przygotowywanie ciepłej wody pochodzi z energii z węgla kamiennego. Wyniki badań zużycia różnych rodzajów energii w budynku jednorodzinnym w okresie 22 lat zostały przedstawione w tablicy 1.

Tablica 1. Zużycie rodzajów energii w budynku jednorodzinnym.
Table 1. Consumption kind of energy in residential building.

Lp.	Rok	Zużycie energii elektrycznej w [kWh]			Energia z gazu płynnego w [kWh]	Energia z węgla kamien. w [kWh]	Całkowita energia na potrzeby bytowe w [kWh]	Uwagi
		Ciepła woda	Pozostałe potrzeby bytowe	Łączne zużycie				
1.	1986	-	-	4460	2477	0	6937	Jedna terma 80 l.
2.	1987	-	-	4510	2477	0	6987	
3.	1988	-	-	6330	2477	0	8807	Dwie termy 80 i 50 l.
4.	1989	-	-	6670	2477	0	9147	
5.	1990	-	-	6560	2477	0	9037	
6.	1991	-	-	6868	2477	0	9345	
7.	1992	-	-	6680	2477	0	9157	
8.	1993	-	-	7090	2477	0	9567	
9.	1994	3422	3041	6463	2477	0	8940	
10.	1995	3721	3206	6927	2477	0	9404	od 17.01. 2-taryfy elekt
11.	1996	3927	3074	7001	2477	0	9478	
12.	1997	4249	3148	7397	2202	0	9599	Od 1.10. kuch el-gaz
13.	1998	4313	3427	7740	1376	0	9116	
14.	1999	4184	3742	7926	1238	0	9164	55% wzrost cen gazu
15.	2000	4330	4212	8542	826	0	9368	
16.	2001	4332	4189	8521	826	0	9347	
17.	2002	4223	4045	8268	826	0	9094	
18.	2003	4307	4216	8523	963	0	9486	
19.	2004	4633	4410	9043	963	0	10006	
20.	2005	3053	4806	7859	826	2269	10953	Od 1.09 c.c.w
21.	2006	0	5163	5163	1101	6600	12864	Od 14.12. nowa zamr.
22.	2007	0	4143	4143	963	6600	11706	

Ilość zużywanej energii elektrycznej niezbędnej do zasilania sprzętu AGD w gospodarstwie domowym zależy od jego klasy energooszczędności (ilości pobieranej energii), czasu pracy, częstotliwości używania, mocy urządzenia. W budynkach jednorodzinnych niejednokrotnie mamy do czynienia ze sprzętem starej i nowej generacji. Sprzęt stary zwykle energochłonny (czasami bardzo energochłonny) natomiast sprzęt nowy charakteryzuje się wysoką energooszczędnością (czasami bardzo wysoką np. klasa A+). Wymiana sprzętu starego na nowy pociąga za sobą znaczne wydatki chociaż ze względu na koszty eksploatacji jest to ze wszech miar słuszne. Takie pragmatyczne podejście z punktu widzenia energooszczędności, kłóci się z tzw. „zdrowym rozsądkiem". Po co wymieniać stary, jeszcze bardzo sprawny sprzęt!? Podstawowy powód to relacja ceny zakupu do kosztów eksploatacji. W tablicy 2 przedstawiono wyniki pomiarów zużycia energii zamrażarki nowej i starej generacji oraz teoretyczne zużycie energii obliczone wg wymagań PN-B-02025: 2001. Nowa zamrażarka posiada najwyższą klasę energooszczędności (A+) i fabrycznie deklarowane roczne zużycie energii elektrycznej równe 198 kWh/rok.

Tablica 2. Zużycie energii elektrycznej przez zamrażarkę.
Table 2. Electricity consumption for deep-freeze.

Lp.	Miesiąc	Zużycie energii elektrycznej w [kWh]					
		Nowa zamrażarka		Stara zamrażarka		Zamrażarka wg PN	
		Miesięczne	Śr.dzienna	Miesięczne	Śr.dzienna	Miesięczne	Śr.dzienna
1.	I	14,9	0,46	51,4	1,66	14,88	0,48
2.	II	13,4	0,48	55,7	1,99	13,44	0,48
3.	III	15,6	0,50	64,2	2,07	14,88	0,48
4.	IV	15,3	0,51	69,0	2,30	14,40	0,48
5.	V	17,6	0,57	86,0	2,77	14,88	0,48
6.	VI	19,6	0,65	86,8	2,89	14,40	0,48
7.	VII	20,0	0,65	91,7	2,96	14,88	0,48
8.	VIII	20,4	0,66	91,8	2,96	14,88	0,48
9.	IX	17,6	0,59	87,3	2,91	14,40	0,48
10.	X	16,4	0,53	77,8	2,51	14,88	0,48
11.	XI	12,9	0,43	69,3	2,31	14,40	0,48
12.	XII	14,0	0,45	59,2	1,91	14,88	0,48
13.	**Rok**	**197,7**	**0,54**	**890,2**	**2,44**	**175,2**	**0,48**

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione całkowite zużycie energii na potrzeby bytowe w budynku jednorodzinnym w okresie 22 lat kształtowało się w przedziale od 6937 – 12864 kWh. Minimalne wartości odnoszą się do pierwszych lat eksploatacji budynku, gdy zainstalowana była jedna terma do podgrzewania ciepłej wody o pojemności 80 litrów a rodzina liczyła cztery dorosłe osoby. Wartości maksymalne odnoszą się do ostatnich aktualnych lat eksploatacji budynku, gdzie podgrzewania ciepłej wody odbywa się w zasobniku o pojemności 380 litrów

przez kocioł c.o. opalany węglem kamiennym a rodzina liczy sześć dorosłych osób. Ciepła woda jest bez ograniczeń ilościowych i jakościowych z dostępem prze całą dobę.

Przez okres blisko 20 lat w budynku zużywana była energia na potrzeby bytowe z dwóch podstawowych źródeł: energia elektryczna i gaz płynny (propan-butan). W początkowym okresie relacje między tymi energiami (prąd/gaz) kształtowały się jak 65/35, przez kolejnych 9 lat jak 72/28, by w kolejnych 4 latach przejść do relacji 90/10. Powody konsumowania energii w takich relacjach (prąd/gaz) były dwa a sprowadzały się ostatecznie do kosztów ponoszonych w gospodarstwie domowym. Pierwszy powód to dwie taryfy za prąd elektryczny (dzienna i nocna) gdzie cena taryfy nocnej stanowiła 45% ceny taryfy dziennej. Drugi powód to ponad 55% wzrost ceny gazu płynnego w ciągu jednego roku. W ostatnich latach należy odnotować radykalny spadek zużycia energii elektrycznej do poziomu ok. 4000 kWh jako najniższy w historii budynku. Związane jest to z kosztami przygotowania ciepłej wody przez węglowy kocioł c.o. (kilka razy niższe od energii elektrycznej) oraz obniżeniem zużycia energii przez zamrażarkę nowej generacji (4,5-krotne).

5. LITERATURA

[1] PN-B-02025:2001 „Obliczanie sezonowego zapotrzebowana na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego”.

THE INVESTIGATION OF COMSUMPTION OF ENERGY ON VITAL NEEDS IN RESIDENTIAL BUILDING

SUMMARY

The results of experimental investigations in report were introduced total the consumption of energy on vital needs in residential building in period several dozen years. The real consumption of energy was compared for old freezer and new generation as well as her the theoretical consumption according to standard requirements.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Romuald SULIMA, dr inż.

Fundacja EkoFundusz
ul. Bracka 4
00-502 Warszawa

PROMOCJA ENERGETYKI SŁONECZNEJ W PROJEKTACH EKOFUNDUSZU

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono efekty działalności Fundacji EkoFundusz w zakresie wdrażania i rozpowszechniania w Polsce rozwiązań wykorzystujących energię słoneczną. W oparciu o dane z wielu zrealizowanych projektów słonecznych odniesiono się do wybranych zagadnień, istotnych przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych przez przyszłych użytkowników instalacji słonecznych.

1. WPROWADZENIE

Chociaż potrafimy już transformować energię słoneczną na prąd elektryczny i ciepło użyteczne, jednak obecną sytuację można określić jako „słoneczne marnotrawstwo”, gdyż energia Słońca jest nadal wykorzystywana tylko w bardzo niewielkim stopniu. Głównym problemem, który jeszcze hamuje powszechne wykorzystanie tej energii do celów gospodarczych pozostaje wysoka cena instalacji słonecznych. W ostatnim 20-leciu cena ta zmalała kilkakrotnie, jednak osiągnięcie przez nią poziomu konkurencyjności w odniesieniu do rozwiązań konwencjonalnych (wykorzystujących paliwa kopalne) może nastąpić po upływie kolejnych 10 lat, pod warunkiem dostatecznego rozwoju rynku urządzeń słonecznych. Mając tego świadomość szereg krajów Unii Europejskiej stosuje mechanizmy dopłat dla indywidualnych inwestorów. Efektem takich działań jest gwałtowny rozwój techniki słonecznej w tych krajach. Przykładem są Niemcy, gdzie w ostatnich latach instalowano corocznie ponad milion m^2 kolektorów słonecznych a do roku 2010 r. ich łączna powierzchnia ma osiągnąć poziom 10 mln m^2.

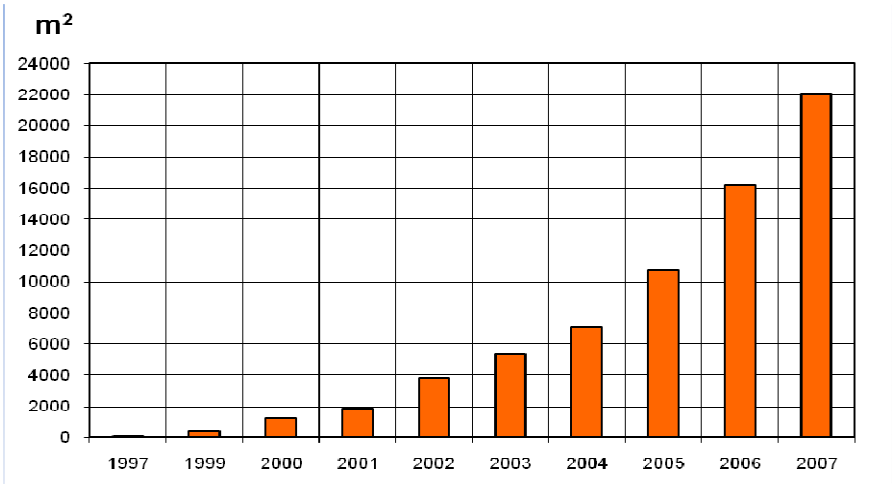
W Polsce brak jest oficjalnych danych o powierzchni zainstalowanych kolektorów. Na podstawie niepełnych informacji pochodzących m.in. od producentów tych urządzeń można tylko szacować (optymistycznie), że łączna powierzchnia zainstalowanych kolektorów zbliża się obecnie do 200 tys. m^2. W celu poprawy sytuacji w tej dziedzinie w naszym kraju, EkoFundusz od początku swojej działalności promuje inicjatywy inwestycyjne związane z gospodarczym wykorzystaniem traconej dotychczas energii słonecznej - poprzez udzielanie bezzwrotnych dotacji na realizację instalacji słonecznych.

2. PROJEKTY Z UDZIAŁEM EKOFUNDUSZU

W przekonaniu EkoFunduszu, pomimo uzupełniającego znaczenia energii słonecznej w stosunku do innych źródeł energii, należy promować jej wykorzystanie, głównie z myślą o przyszłości oraz zwłaszcza w miejscach gdzie eliminacja spalania węgla jest szczególnie pożądana dla zachowania wysokiej czystości powietrza (m.in. uzdrowiska i obszary ważne dla rekreacji i ochrony przyrody). Pierwszy projekt „słoneczny" z udziałem Fundacji został zrealizowany w 1997 r. na terenie szkoły w Bliznem, na Rzeszowszczyźnie.

W 2005 roku działania promocyjne Fundacji zostały wzmocnione poprzez wprowadzenie nowego mechanizmu finansowego w postaci dopłat do jednostki powierzchni instalowanych kolektorów słonecznych. Nowa zasada dofinansowania dotyczy projektów obejmujących swoim zakresem wyłącznie wybudowanie instalacji z kolektorami słonecznymi o łącznej powierzchni czynnej wynoszącej co najmniej 50 m^2. Dopłata ze strony Fundacji dla tego rodzaju projektów wynosi 1000 złotych za metr kwadratowy powierzchni czynnej kolektora, ale nie może przekroczyć 40% kosztów projektu.
Wnioski mogą dotyczyć zarówno kolektorów instalowanych na istniejących budowlach, jak też i nowobudowanych. Wszystkie obiekty muszą być własnością wnioskodawcy. EkoFundusz uwzględnia zgłoszenia zarówno projektów nowych, jak i zaawansowanych o ile finansowe ich zaawansowanie nie przekroczyło 60% kosztów projektu na dzień złożenia wniosku do EkoFunduszu. Rozpatrywanie wniosków o dotację dla projektów słonecznych zostało skrócone i uproszczone poprzez zastosowanie tzw. „szybkiej ścieżki dotacji".

Zastosowanie powyższych instrumentów spowodowało znaczny wzrost liczby realizowanych projektów. O ile w latach 1997-2004 zrealizowano z udziałem EkoFunduszu instalacje z kolektorami słonecznymi o łącznej powierzchni czynnej około 7 tys. m^2, to po zastosowaniu „szybkiej ścieżki", tylko w okresie trzech lat (2005-2007), w ramach kolejnych projektów zainstalowano kolektory o łącznej powierzchni ponad 15 tys. m^2.



Rys. 1. Powierzchnia czynna kolektorów słonecznych dofinansowanych przez Ekofundusz w latach 1997 – 2007 (narastająco)

Fig. 1. Effective area of the solar collectors subsidized by EcoFund in 199 7– 2007 (cumulative)

Łącznie w latach 1997-2007 przy pomocy środków EkoFunduszu zbudowano 168 instalacji słonecznych z kolektorami o łącznej powierzchni ponad 22 tys. m^2. Na realizację tych instalacji EkoFundusz przeznaczył bezzwrotne dotacje w łącznej kwocie około 24 mln zł. Efektem zrealizowanych z udziałem EkoFunduszu projektów słonecznych jest redukcja emisji dwutlenku węgla o około 3 tys. ton rocznie.

Oczekuje się, że do końca 2008 r. łączna powierzchnia kolektorów w projektach EkoFunduszu przekroczy 30 tys. m^2.

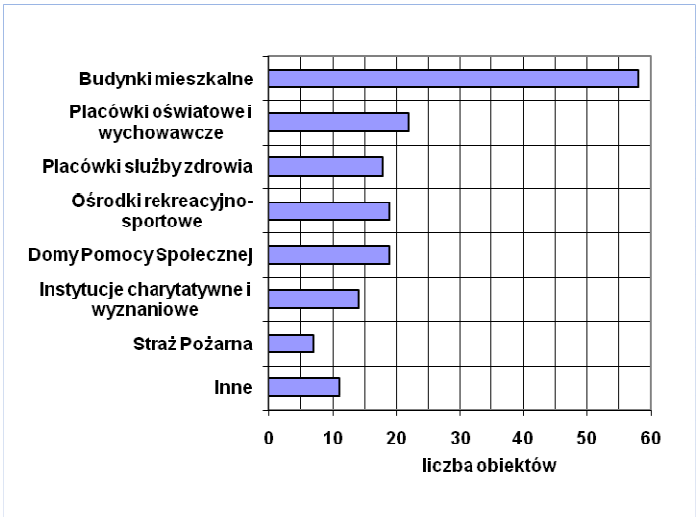
Rys. 2. Lokalizacja instalacji słonecznych dofinansowanych przez EkoFundusz

Fig. 2. Location of the solar installations subsidized by EcoFund

Zrealizowane przy wsparciu EkoFunduszu projekty dotyczyły wykorzystania energii słonecznej głównie do produkcji ciepłej wody użytkowej oraz do podgrzewania wody w basenach i kąpieliskach. Ostatnio oddano również do użytku system słoneczny wspomagający podgrzewanie wody w miejskiej sieci ciepłowniczej (Wołomin).W każdym przypadku kolektory słoneczne współpracują z podstawowym źródłem ciepła, którym jest zwykle kocioł opalany biomasą lub gazem a ostatnio, coraz częściej, pompa ciepła.

Systemy słoneczne zainstalowane zostały w obiektach należących do placówek oświatowych, służby zdrowia, spółdzielni mieszkaniowych, instytucji charytatywnych i wyznaniowych, straży pożarnej, ponadto w ośrodkach rekreacyjno-sportowych i innych obiektach użyteczności publicznej. Gospodarze tych obiektów, beneficjenci EkoFunduszu, nie są nastawieni na działalność komercyjną a środki finansowe, którymi dysponują, są z reguły w istotnym stopniu ograniczone. W takiej sytuacji są oni zainteresowani kolektorami słonecznymi umożliwiającymi obniżenie kosztów wytwarzania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), których koszty eksploatacyjne są znikome - wielokrotnie mniejsze od jakiegokolwiek innego źródła energii dla c.w.u.

.



Rys. 3. Obiekty wyposażone w instalacje słoneczne dofinansowane przez EkoFundusz
Fig. 3. Facilities outfitted with solar installations subsidized by EcoFund

Największa spośród funkcjonujących instalacji słonecznych, zrealizowanych dotychczas przy udziale EkoFunduszu, znajduje w szpitalu wojewódzkim w Częstochowie. Jest to największa obecnie w Polsce instalacja z kolektorami słonecznymi o łącznej powierzchni czynnej 1495 m^2, wspomagająca układ przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), której zużycie przez szpital wynosi ok. 20 tys. m^3/rok. Dzięki nowej instalacji udział energii słonecznej pokryje ok. 52% rocznego zapotrzebowania na c.w.u.
Koszt projektu wyniósł ponad 4 mln zł z czego EkoFundusz dofinansował, w formie dotacji, zakup kolektorów słonecznych wraz z konstrukcją wsporczą i zestawami montażowo-przyłączeniowymi o łącznej wartości ok. 1,5 mln zł.

Rys. 4. Największa w Polsce instalacja słoneczna w szpitalu w Częstochowie
Fig. 4. Poland's largest solar collector system at the Hospital in Częstochowa

Na wyróżnienie zasługuje również projekt budowy 10 instalacji z kolektorami słonecznymi o łącznej powierzchni czynnej 576 m^2, wspomagających układy przygotowania c.w.u. w 10 nowobudowanych domach osiedla mieszkaniowego w Lublinie. Rozwiązanie to zostało przewidziane już na etapie projektowania osiedla.

Koszt projektu wyniósł 1 mln zł z czego EkoFundusz dofinansował w formie dotacji zakup i montaż 4 instalacji słonecznych o łącznej wartości 400 tys. zł.

Rys. 5. Kolektory zaprojektowane wraz z budynkami osiedla w Lublinie
Fig. 5. Solar collector systems designed together with the buildings of a housing estate in Lublin

W grupie projektów będących obecnie w trakcie realizacji wyróżnia się wielkością system słoneczny w Praszce, w ramach którego na budynkach mieszkalnych zainstalowane zostaną kolektory o łącznej powierzchni czynnej około 4000 m^2.

Warto dodać, że do EkoFunduszu zgłoszony został wniosek dotyczący budowy systemu z kolektorami słonecznymi o łącznej powierzchni czynnej 10 tys. m^2, obejmującego kilkadziesiąt budynków spółdzielni mieszkaniowej w Łodzi oraz około 10 innych wniosków dotyczących projektów o mniejszej skali. Można więc powiedzieć, że obecnie zaobserwować można w Polsce znaczne ożywienie w zakresie budowy kolektorów słonecznych wspomaganych finansowo przez EkoFundusz tak, że za 2-3 lata ich łączna powierzchnia może przekroczyć 50 000 m^2.

Wspierając wdrażanie cieplnych kolektorów słonecznych EkoFundusz oczekuje jednocześnie na większą liczbę wniosków związanych z produkcją energii elektrycznej przy wykorzystaniu ogniw fotowoltaicznych (PV), które przetwarzają promieniowanie słoneczne bezpośrednio na energię elektryczną.

Ten rodzaj przedsięwzięć jest obecnie reprezentowany w EkoFunduszu przez jeden tylko projekt dotyczący utworzenia na Politechnice Warszawskiej Centrum Fotowoltaiki (PV). Zadaniem Centrum PV będzie włączenie światowych osiągnięć fotowoltaiki do nauki, gospodarki i życia codziennego w Polsce poprzez prowadzenie edukacji, badań i promocji w zakresie wykorzystania energii słonecznej. Zakres inwestycji obejmuje m.in. wykonanie i uruchomienie pierwszej w Polsce instalacji PV zintegrowanej z budownictwem, o istotnym znaczeniu użytkowym (moc 60 kW na powierzchni modułów PV ok. 600 m^2), na fasadzie Gmachu Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej oraz rozbudowę bazy aparaturowej laboratorium solarnego dla celów dydaktycznych i badawczych.

3. ANALIZA ZEBRANYCH DOŚWIADCZEŃ

Dotychczasowe doświadczenia EkoFunduszu, wynikające z zaangażowania w promocję wdrażania kolektorów słonecznych, pozwalają odnieść się do szeregu wybranych zagadnień, istotnych przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych przez przyszłych użytkowników instalacji słonecznych. Należą do nich:

- Wybór rodzaju kolektora
- Uzyski energetyczne kolektorów
- Koszt projektów słonecznych
- Wiarygodność urządzeń do pomiaru ilości ciepła
- Jakość wykonawstwa i wybór wykonawców
- Wpływ inwestycji słonecznych na wizerunek inwestora

3.1 Wybór rodzaju kolektora

Zrealizowane przy udziale EkoFunduszu instalacje posiadają z reguły kolektory płaskie a jedynie w kilku przypadkach zastosowano kolektory próżniowe. Główną i powszechnie znaną przyczyną znikomego udziału kolektorów próżniowych w projektach słonecznych jest ich wysoka cena, znacznie wyższa od ceny kolektorów płaskich. Jak wskazują rzeczywiste dane uzyskane z eksploatacji kolektorów, różnica tych cen jest niewspółmiernie duża w porównaniu z różnicą osiągów kolektorów próżniowych w stosunku do płaskich w skali całego roku.

Prezentowane w materiałach reklamowych uzyski energetyczne kolektorów próżniowych są nawet o kilkadziesiąt procent wyższe od kolektorów płaskich, co jednak nie uzyskało dotychczas potwierdzenia w instalacjach zrealizowanych przy udziale EkoFunduszu. Zdarza się nawet, że uzysk kolektorów próżniowych (ciepło wykorzystane) jest mniejszy niż kolektorów płaskich o takiej samej powierzchni czynnej. Przyczyną niepełnego wykorzystania potencjału kolektorów próżniowych w konkretnych instalacjach może być m.in. niewłaściwe zaprojektowanie tych instalacji oraz/lub błędy popełnione przez ich użytkowników.

3.2 Uzyski energetyczne kolektorów

Wielkością bardzo przydatną w ocenie energetycznej instalacji słonecznych jest roczny uzysk ciepła użytecznego, tj. wykorzystanego, odniesiony do jednostki powierzchni kolektora słonecznego, wyrażony np. w GJ/m^2*rok.

Informacje uzyskane od 41 użytkowników instalacji słonecznych, zrealizowanych przy wsparciu EkoFunduszu, wykazują bardzo duże zróżnicowanie ww. uzysków jednostkowych, które zawarte są w przedziale od 0,8 GJ/m^2*rok do 3,8 GJ/m^2*rok (!). Dla większości tych instalacji uzysk użyteczny nie przekraczał 1,7 GJ/m^{2*}rok. Powyższe informacje dotyczą roku 2006 i są oparte na wskazaniach ciepłomierzy.

W grupie ankietowanych przypadków, wbrew oczekiwaniom, nie stwierdzono istnienia zależności między kosztami poszczególnych instalacji i ich wydajnością energetyczną. Co więcej, w niektórych przypadkach znacznie wyższemu kosztowi instalacji towarzyszył niższy uzysk ciepła słonecznego.

W praktyce bardzo trudno jest uzyskać informacje o konkretnych przyczynach nieosiągania oczekiwanych uzysków ciepła, zwłaszcza gdy są one związane z błędami projektowymi, złym wykonawstwem lub niewłaściwą obsługą instalacji słonecznej.

3.3 Koszt projektów słonecznych

W znacznej większości rozpatrywanych do tej pory w EkoFunduszu projektów koszt inwestycyjny kompletnej instalacji odniesiony do 1m^2 powierzchni czynnej kolektora słonecznego mieścił się w przedziale 1500-3000 zł/m^2. Wysokość tego kosztu wynikała z rozstrzygniętych przetargów na wykonawstwo instalacji, przeprowadzonych przez inwestorów zgodnie z ustawą „Prawo zamówień publicznych”.

Koszty eksploatacji prawidłowo użytkowanych instalacji słonecznych są bardzo niskie. Składa się na nie przede wszystkim koszt napędu pomp cyrkulacyjnych oraz koszt okresowej (co kilka lat) wymiany płynu w obiegu cieplnym instalacji. Przy niewłaściwym użytkowaniu instalacji koszty te mogą znacznie wzrosnąć. Dotyczy to np. niepożądanych przerw w odbiorze ciepła z kolektorów, prowadzących do awarii systemu.

3.4 Wiarygodność urządzeń do pomiaru ilości ciepła

Wspomniane powyżej ogromne zróżnicowanie danych dotyczących uzysków jednostkowych ciepła użytecznego w instalacjach słonecznych oraz przypadki pojawiania się całkowicie nierealnych danych (opartych na wskazaniach ciepłomierzy !) uzasadniają konieczność zwrócenia większej uwagi na zagadnienie wiarygodności przyrządów pomiarowych, uznawanych do tej pory za całkowicie obiektywne. Trudno jest przecenić znaczenie wiarygodnych informacji, bez których wszelkie rozważania na temat oceny i porównań różnych rozwiązań solarnych tracą sens.

W praktyce nie jest możliwe dotarcie do dokumentów potwierdzających prawidłowość wskazań ciepłomierzy. Uzdrawianie tej sytuacji jest możliwe poprzez zapisywanie w dokumentach przetargowych i w umowach z dostawcami/wykonawcami warunków dotyczących konieczności dostarczania inwestorom wraz z urządzeniami odpowiednich certyfikatów uprawnionych podmiotów wraz z wynikami pomiarów kalibracyjnych.

3.5 Jakość wykonawstwa i wybór wykonawców

Jakość wykonawstwa instalacji słonecznej ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia jej właściwego funkcjonowania w okresie wieloletnim (25-30 lat), co przekłada się na maksymalne uzyski energetyczne i minimalne koszty eksploatacyjne oraz skraca tym samym okres zwrotu nakładów inwestycyjnych. Nierzadko zdarza się, że wykonanie instalacji ściśle według dokumentacji projektowej wcale nie zapewnia jej właściwego działania i w takich przypadkach tylko doświadczony wykonawca potrafi usunąć niedociągnięcia projektowe i ochronić inwestora przed ich kosztownymi skutkami. Aby uniknąć poważnych kłopotów i rozczarowań, inwestor powinien bardzo wnikliwie sprawdzać referencje oferentów na etapie wyboru wykonawców oraz dopilnować, aby nikt nie eksperymentował jego kosztem. Każdy system solarny powinien być wykonany na podstawie projektu uwzględniającego konkretną lokalizację, usytuowanie kolektorów oraz wskazującego optymalne rozwiązanie instalacji wewnętrznej. Przedstawienie takiego projektu powinno być bezwzględnie i oficjalnie wymagane od oferentów i stanowić warunek ich udziału w przetargu. Obecnie takie postępowanie nie jest, niestety, rozpowszechnione.

3.6 Wpływ inwestycji słonecznych na wizerunek inwestora

Prawidłowo wykonana i funkcjonująca instalacja słoneczna stanowi dla inwestora wieloletnią ”wizytówkę” na najwyższym poziomie. Dla lokalnego samorządu, urzędu lub firmy oznacza to dodatkowe korzyści, związane z poprawą wizerunku w kontaktach z partnerami (klientami). Poza tym niezwykle ważny jest aspekt edukacyjny, służący rozpowszechnieniu tej nowatorskiej metody produkcji energii. Można powiedzieć, że wszystkie dotychczas zbudowane systemy słoneczne mogą służyć jako instalacje referencyjne.

4. PODSUMOWANIE

1. Dotychczasowe działania EkoFunduszu spowodowały, że w wielu przypadkach realizacja instalacji słonecznych stała się możliwa, wpływając tym samym pozytywnie na rozwój produkcji tych urządzeń w Polsce i rozpowszechnianie rozwiązań wykorzystujących energię słoneczną.

2. Przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych przez przyszłych użytkowników instalacji słonecznych celowe jest zwrócenie większej uwagi na praktyczne znaczenie jakości wykonawstwa oraz wiarygodności danych dotyczących uzysków użytecznego ciepła słonecznego. Zagadnienia te powinny być uwzględniane w procedurach przetargowych oraz powinny stanowić element negocjacji inwestorów z potencjalnymi wykonawcami instalacji słonecznych.

PROMOTION BY ECOFUND OF THE USE OF SOLAR ENERGY

SUMMARY

Results of EcoFund activities are presented related to implementation and promotion of solar technics in Poland. On the basis of data from many working solar systems selected issues are discussed that are important for potential users of solar installations when taking investment decisions.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Władysław SZYMAŃSKI, dr inż.
Elżbieta RYBAK-WILUSZ, dr inż.
Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: wszym@prz.edu.pl
e-mail: elrywi@prz.edu.pl

EFEKTYWNOŚĆ DOCIEPLENIA POMIESZCZEŃ PIWNICZNYCH

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono możliwości docieplenia piwnic budynków, które nie zawsze powinno polegać na izolacji stropów. Docieplenie ścian zewnętrznych piwnic przynosi wymierne korzyści i pozwala na poprawienie jakości energetycznej budynku.

1. WPROWADZENIE

Zakres działań przedsięwzięć termomodernizacyjnych przedstawionych w formie audytu energetycznego obejmuje szereg usprawnień mających na celu zmniejszenie stopnia wykorzystania energii, które w sektorze mieszkaniowym związane jest przede wszystkim z ogrzewaniem pomieszczeń oraz przygotowaniem ciepłej wody. Obniżenia zapotrzebowaniem na ciepło osiąga się za sprawą ulepszenia izolacyjności cieplnej przegród, modernizacji systemów grzewczych i wentylacyjnych wraz z ich regulacją.

Zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło na pokrycie strat przenikania przez przegrody budowlane oraz na ogrzanie powietrza wentylacyjnego jest podstawowym usprawnieniem w algorytmie działań określonych w rozporządzeniu ministra infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego [1], a powinno również być, jak określa ustawodawca usprawnieniem racjonalnym z punktu widzenia efektywności cieplnej. Ponad to przyjęty optymalny wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego powinien spełniać określone przez ustawodawcę warunki tj. zmniejszyć zapotrzebowanie

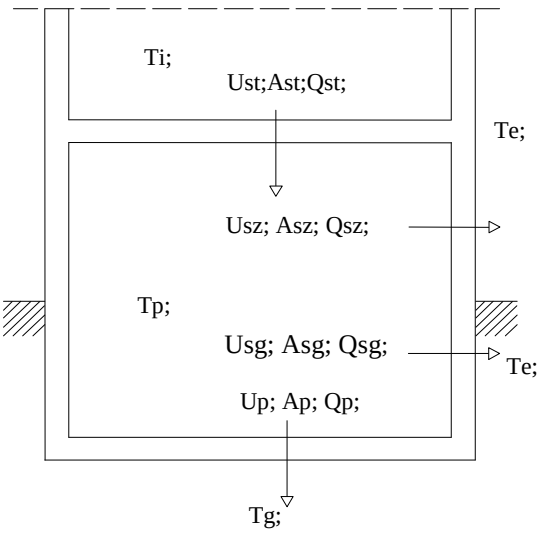
na ciepło, umożliwić spłatę kredytu kwotą oszczędności uzyskanych z realizacji przedsięwzięcia oraz przewidzieć odpowiedni udział środków własnych.

W opracowywanych audytach energetycznych standardowy zakres działań termomodernizacyjnych dotyczący poprawy izolacyjności cieplnej budynku odnosi się przede wszystkim do pomieszczeń ogrzewanych i uwzględnia docieplenie ścian zewnętrznych, stropodachu lub dachu budynku oraz docieplenie stropu piwnic. W większości budynków mieszkalnych wielorodzinnych piwnice, z uwagi na pełnioną przez nie funkcję, nie są ogrzewane. znajdują się tam przede wszystkim pomieszczenia gospodarcze budynku wykorzystywane jako składziki, magazyny lub pomieszczenia techniczne. Ściany zewnętrzne piwnic budynków wielorodzinnych lub budynków z piwnicami nieogrzewanymi po przeprowadzeniu termomodernizacji pozostają niedocieplone.

Uzasadnienie konieczności docieplenia stropu piwnicy wynika z ogólnego bilansu energetycznego budynku, który wskazuje, że udział ciepła niezbędnego na pokrycie strat związanych z „ucieczką" ciepła przez piwnice stanowi 3 – 6 % ogólnych strat ciepła [2]. Docieplenie stropu piwnicy nieogrzewanej może spowodować zmniejszenie tej wartości nawet o połowę.

2. BILANS CIEPLNY POMIESZCZENIA PIWNICY

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [1] zakłada przy planowaniu termomodernizacji izolację stropu w piwnicy do wartości oporu cieplnego R = 2,0 ($m^2 \cdot K$)/W, ścian zewnętrznych do wartości R = 4,0 ($m^2 \cdot K$)/W, nie zakłada się natomiast izolacji ścian zewnętrznych piwnic. Celem takiego działania jest zmniejszenie strat ciepła z
mieszkalnej ogrzewanej części budynku, a równocześnie uzyskanie wyższej temperatury powierzchni podłogi na parterze.



Rys. 1. Bilans cieplny piwnicy.
Fig. 1. Heat balance in the cellar.

Drugi z wymienionych powodów nie budzi zastrzeżeń i zamierzony cel jest osiągany po ulepszeniu izolacyjności stropu. Nie jest natomiast oczywiste czy izolacja stropu piwnicy

zamiast ścian jest rozwiązaniem korzystniejszym z punktu widzenia strat cieplnych budynku. Zagadnienie to będzie tematem poniższych rozważań.
Schemat bilansu cieplnego piwnicy przedstawia rys. 1. Wykorzystując schemat z rys. 1 bilans cieplny pomieszczenia piwnicy może być wyrażony zależnością:

$$Q_{st} = Q_{sz} + Q_{sg} + Q_p \tag{1}$$

$$U_{st} \cdot A_{st} \cdot (T_i - T_p) = U_{sz} \cdot A_{sz} \cdot (T_p - T_e) + U_{sg} \cdot A_{sg} \cdot (T_p - T_e) + U_p \cdot A_p \cdot (T_p - T_g) \tag{2}$$

gdzie:
Q_{st}, Q_{sz}, Q_{sg}, Q_p – strata ciepła na przenikanie przez strop pomieszczenia piwnicy, ścianę zewnętrzną piwnicy, ścianę zewnętrzną przyległą do gruntu, posadzkę piwnicy,
U_{st}, U_{sz}, U_{sg}, U_p – współczynnik przenikania ciepła stropu w piwnicy, ściany zewnętrznej pomieszczenia piwnicy, ściany zewnętrznej przyległej do gruntu oraz posadzki piwnicy,
A_{st}, A_{sz}, A_{sg}, A_g – pole powierzchni stropu, ściany zewnętrznej pomieszczenia piwnicy, ściany zewnętrznej przyległej do gruntu oraz posadzki piwnicy,
T_i, T_e, T_g, T_p, – temperatura wewnętrzna na parterze budynku, temperatura zewnętrzna, temperatura gruntu i w pomieszczeniu piwnicy.

Temperatura w pomieszczeniu piwnicy wyznaczona z bilansu cieplnego wynosi:

$$T_p = \frac{U_{st} \cdot A_{st} \cdot T_i + U_{sz} \cdot A_{sz} \cdot T_e + U_{sg} \cdot A_{sg} \cdot T_e + U_p \cdot A_p \cdot T_g}{U_{st} \cdot A_{st} + U_{sz} \cdot A_{sz} + U_{sg} \cdot A_{sg} + U_p \cdot A_p} \tag{3}$$

Po docieplenia stropu piwnicy współczynnik przenikania ciepła dla stropu obniży się do wartości $U_{st}^1 < U_{st}$,

a temperatura w piwnicy zmieni się do wartości:

$$T_p^{\,1} = \frac{U_{st}^{\,1} \cdot A_{st} \cdot T_i + U_{sz} \cdot A_{sz} \cdot T_e + U_{sg} \cdot A_{sg} \cdot T_e + U_p \cdot A_p \cdot T_g}{U_{st}^{\,1} \cdot A_{st} + U_{sz} \cdot A_{sz} + U_{sg} \cdot A_{sg} + U_p \cdot A_p} \tag{4}$$

Analiza wzoru (4) pozwala stwierdzić, że $T_p > T_p^{\,1}$.
Straty ciepła przez strop piwnicy po docieplenia osiągną wartość:

$$Q_{st}^{\,1} = U_{st}^{\,1} \cdot A_{st} \cdot (T_i - T_p^{\,1}) \tag{5}$$

Uzyskane zmniejszenie strat ciepła wynosi:

$$\Delta Q_{st} = U_{st} \cdot A_{st} \cdot (T_i - T_p) - U_{st}^{\,1} \cdot A_{st} \cdot (T_i - T_p^{\,1}) \tag{6}$$

Względne zmniejszenie strat ciepła:

$$\delta Q = \frac{\Delta Q_{st}}{Q_{st}} = 1 - \frac{Q_{st}^{1}}{Q_{st}} = 1 - \frac{U_{st}^{1} \cdot \left(T_i - T_p^{1}\right)}{U_{st} \cdot \left(T_i - T_p\right)} \tag{7}$$

Wyznaczenie względnego zmniejszenia strat ciepła w sposób ogólny nie jest możliwe, gdyż zależy to od właściwości przegród budowlanych piwnicy (równanie (4)), dlatego musi być wyznaczane indywidualnie dla każdego przypadku.
Oddzielnym zagadnieniem jest izolacja ścian zewnętrznych piwnic zamiast stropu, czemu poświęcona jest dalsza część rozważań.

3. EFEKTYWNOŚC CIEPLNA DOCIEPLENIA PIWNICY

W celu określenia efektywności docieplenia ścian zewnętrznych piwnicy wykonano obliczenia dla trzech budynków mieszkalnych podpiwniczonych z nie ogrzewanymi pomieszczeniami piwnicy. Obliczeniowa temperatura w pomieszczeniach mieszkalnych wynosi 20°C, temperatura w piwnicy została wyznaczona z bilansu cieplnego pomieszczeń (rys. 1). Ze względu na zróżnicowanie konstrukcyjne przegród w budynkach wyróżniono kilka pomieszczeń piwnicy: bud. 1 piwnica A, B, C i D, bud. 2 - piwnica A, B oraz bud. 3 piwnica A, B i C.

Tabela 1. Współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych piwnicy budynku oraz grubość izolacji cieplnej.
Table 1. The overall heat-transfer coefficients of walls and ceilings plus the thickness of heat insulation.

Nazwa bud.	Nazwa przegrody piwnicy	U_0 [W/m^{2}K]	U_1 [W/m^{2}K]	g [m]
Bud.1	Strop nad piwnicą - parkiet	0,37	0,37	-
	Ściana zewnętrzna piwnic	3,08	0,25	0,15
	Ściana zew. piwnic przy gruncie	1,77	0,23	0,15
	Ściana zew. szczytowa przy gruncie	0,52	0,24	0,09
Bud. 2	Strop nad piwnicą - parkiet	0,80	0,44	0,04
	Ściana zewnętrzna piwnic	2,83	0,24	0,15
	Ściana zew. piwnic przy gruncie (E)	2,51	0,24	0,15
	Ściana zew. piwnic przy gruncie (W)	1,49	0,23	0,15
Bud. 3	Strop nad piwnicą - parkiet	1,10	0,46	0,05
	Ściana zewnętrzna piwnic	3,48	0,25	0,15
	Ściana zew. piwnic przy gruncie	1,99	0,24	0,15

Przyjęto cztery stany budynku zależne od sposobu izolacji piwnic:
I – stan przed dociepleniem piwnic,
II – ocieplenie stropu piwnicy,
III – ocieplenie ścian zewnętrznych piwnicy położonych nad gruntem,
IV – ocieplenie ścian zewnętrznych piwnicy położonych nad i pod gruntem.

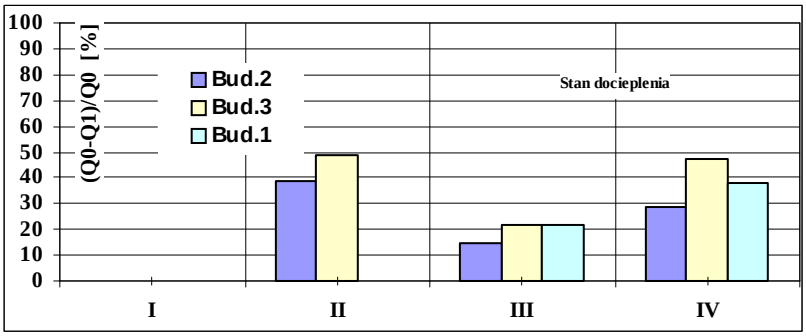
W każdym przypadku przyjęto izolację przegród styropianem o współczynniku przewodzenia λ = 0,04 [W/m K]. Grubość zastosowanej izolacji (tab.1) wynika z zachowania określonych w Rozporządzeniu [1] minimalnych wartości oporu cieplnego. Wartości współczynników przenikania ciepła dla rozpatrywanych przegród przed i po docieplenia przedstawiono w tab.1.

Tabela 2. Temperatura wewnętrzna w piwnicy T_i , temperatura podłogi na parterze T_{po} oraz straty ciepła Q_{st} przed i po docieplenia przegród budowlanych piwnicy budynku.
Table 2. The celler inside temperature T_i and the floor temperature in the ground floor T_{po} plus the heat loss through the cellar ceiling Q_{st} after and befor the warming-up.

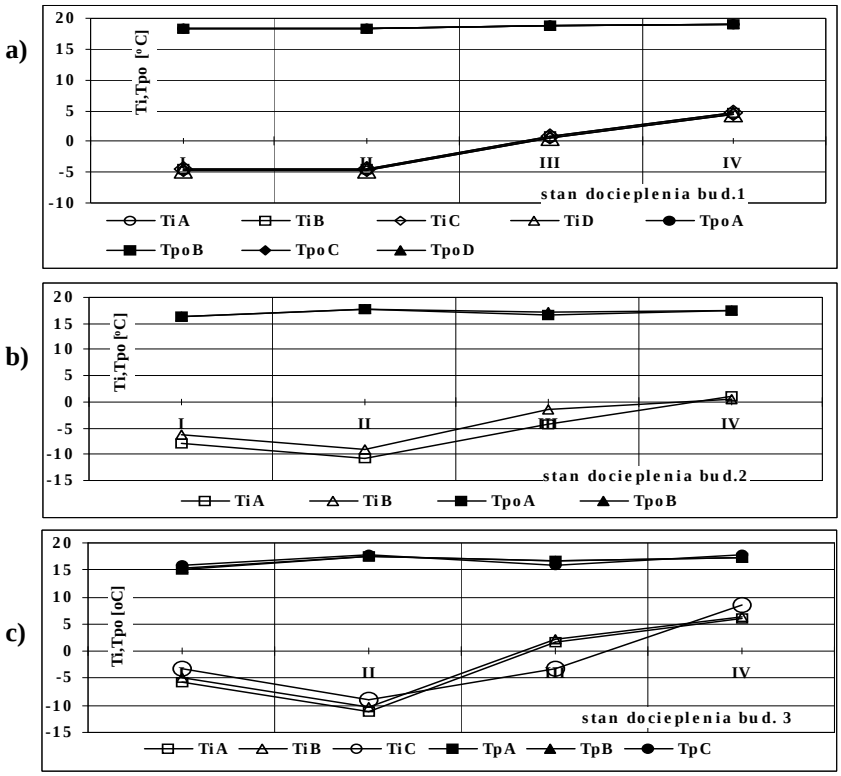
Nazwa pom.	Wariant działań termomodernizacyjnych											
	I			II			III			IV		
	T_p [°C]	T_{po} [°C]	Q_{st} [W]	T_p [°C]	T_{po} [°C]	Q_{st} [W]	T_p [°C]	T_{po} [°C]	Q_{st} [W]	T_p [°C]	T_{po} [°C]	Q_{st} [W]
Budynek 1												
Piw. A	-4,8	18,4	2340	-4,8	18,4	2340	0,6	18,8	1830	4,5	19,0	1462
Piw. B	-4,6	18,4	2322	-4,6	18,4	2322	0,8	18,8	1809	4,7	19,0	1439
Piw. C	-4,6	18,4	2322	-4,6	18,4	2322	0,8	18,8	1809	4,7	19,0	1439
Piw. D	-4,8	18,4	2340	-4,8	18,4	2340	0,6	18,8	1830	4,5	19,0	1462
Budynek 2												
Piw. A	-7,9	16,2	-5367	-11	17,7	-3283	-4,4	16,7	-4704	1,0	17,4	-3665
Piw. B	-6,3	16,4	-4256	-9,2	17,8	-2626	-1,4	17,1	-3473	0,5	17,4	-3158
Budynek 3												
Piw. A	-5,8	15,2	-10562	-11	17,5	-5382	1,6	16,6	-7529	6,0	17,4	-5701
Piw. B	-4,8	15,4	-9435	-10,4	17,6	-4872	2,1	16,7	-6793	6,3	17,4	-5204
Piw. C	-3,3	15,8	-5298	-8,9	17,8	-2761	-3,3	15,8	-5298	8,6	17,9	-2595

Dla każdego wariantu działań termomodernizacyjnych wyliczono:
Q_{st} – straty ciepła przez strop do piwnicy,
T_p – wynikową temperaturę w piwnicy,
T_{po} – temperaturę podłogi na parterze.
Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawiono w tab. 2 oraz na rys. 2.

Wprowadzenie docieplenia spowodowało w każdym stanie po docieplenia zmniejszenie strat ciepła przez strop z mieszkalnej części budynku, przy czym największe obniżenie strat ciepła wynoszące 39 - 49% dotyczy ocieplonego stropu piwnicy, izolacja ścian zewnętrznych spowodowała zmniejszenie o 15 - 22%, a izolacja ścian zewnętrznych nad i pod gruntem aż 29 - 47% , (rys. 2).



Rys. 2. Procentowe zmniejszenie strat ciepła przez strop piwnicy budynku.
Fig. 2.The decrease of the heat loss through the cellar ceiling in percentages.



Rys.3 . Zmiany temperatury w piwnicy T_i i temperatury podłogi na parterze T_{po} dla różnych stanów docieplenia przegród budowlanych piwnicy: a) Bud.1; b) Bud.2; c) Bud.3 .
Fig.3. The cellar temperature T_i plus the floor temperature in the ground floor T_{po} changes for different warming-up conditions of the cellar: a) Bu.1; b) Bu.2; c) Bu.3.

Docieplenie ścian zewnętrznych piwnicy spowodowało podwyższenie temperatury w piwnicy o ok. 10°C w porównaniu ze stanem przed dociepleniem oraz ok. 10÷17°C w stosunku do temperatury jaka występuje po dociepleniu stropu. Temperatura powierzchni podłogi w mieszkalnej części budynku po dociepleniu ścian zewnętrznych wzrosła nieznacznie w stosunku do stanu bez dociepleniem (tab. 2, rys. 3).

4. PODSUMOWANIE

W sektorze mieszkaniowym po wprowadzeniu usprawnień termomodernizacyjnych objętych działaniami audytowymi oraz przy odpowiedniej edukacji społeczeństwa w zakresie racjonalnego wykorzystania energii realne jest sukcesywne zmniejszenie zużycia ciepła, a tym samym podwyższenie standardu energetycznego budynku przez poprawienie jakości energetycznej budynku.

W artykule rozważano alternatywne docieplanie ścian piwnic zamiast stropu. Skutki takich działań wskazują, że efekty energetyczne są porównywalne, jednakże z nieznaczną przewagą izolacji stropu.

Docieplenia ścian piwnic zamiast stropu w piwnicy przynosi jednak również korzyści wyrażone podwyższeniem temperatury w piwnicy, zmniejszeniem strat ciepła z pomieszczeń mieszkalnych przez strop piwnic nieogrzewanych oraz zmniejszeniem zawilgocenia w piwnicy. Powoduje to zwiększenie trwałości ścian w piwnicy, a tym samym trwałości budynku.

Docieplenie ścian zewnętrznych piwnicy spowodowało tylko nieznaczne zwiększenie temperatury podłogi na parterze w stosunku do stanu bez docieplenia.

5. LITERATURA

[1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14.02.2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego (Dz.U. nr 33/2008 poz. 195.)

[2] Robakiewicz M., Panek A., „Termomodernizacja budynku”, Wyd. Narodowa Agencja Poszanowania Energii.

WARMING-UP EFFICIENCY OF CELLARS

SUMMARY

The study focuses on the possibility of warming-up the cellars. The insulation shouldn’t be done only on the ceilings but on the outside walls. The energy quality of the buildings is measurably improved by insulation of the outside cellar walls.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Jerzy SZYSZKA, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów
e-mail: jszyszka@prz.edu.pl

BADANIA WPŁYWU ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWYCH NA FUNKCJONOWANIE NIEWENTYLOWANEJ PRZEGRODY KOLEKTOROWO-AKUMULACYJNEJ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wstępne wyniki badań modelowych wpływu rozwiązań materiałowych na funkcjonowanie niewentylowanej przegrody kolektorowo-akumulacyjnych (PKA). Specyfika polskich warunków klimatycznych skłania do poszukiwania rozwiązań materiałowych i technicznych, poprawiających efektywność PKA. Konsekwencją tego może być wzrost zainteresowania wśród inwestorów i projektantów tą technologią do poziomu na jaki zasługuje.

1. WPROWADZENIE

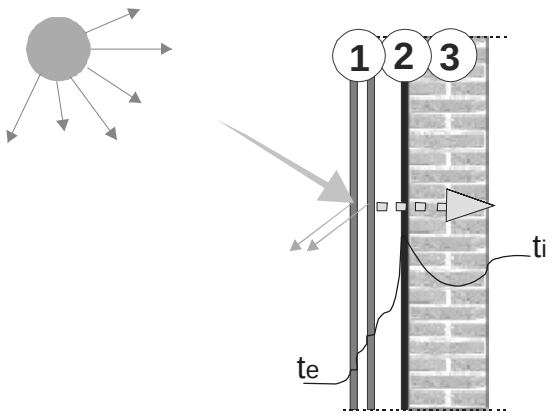
Badania efektywności funkcjonowania **PKA** w polskich warunkach klimatycznych są prowadzone od wielu lat. Mimo obiecujących wyników analiz rozwiązanie to nie cieszy się jeszcze wśród inwestorów i projektantów popularnością na jaką zasługuje. Przyczyn należy upatrywać obok małej popularyzacji tego rozwiązania pozyskiwania energii, w braku przejrzystych i zrozumiałych dla projektantów wytycznych obliczeń efektywności ich funkcjonowania. Problematyczne jest także spełnienie warunków dotyczących termoizolacyjności ścian zewnętrznych, określonych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 12.IV.2002 r. „w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie" (Dz.U.75 poz. 690). Rozporządzenie określa maksymalną wartość współczynnika przenikania ciepła dla ściany ($U<0,5W/m^2K$), nie uwzględniając zysków ciepła od promieniowania słonecznego.

Tę sytuację może odmienić rosnące zainteresowanie technologiami pozyskiwania energii słonecznej. Należy przypuszczać, iż będzie nadal stymulowane rosnącymi cenami energii konwencjonalnej a także polityką UE w zakresie ochrony środowiska. Dyrektywy dotyczące zwiększenia udziału w perspektywie kilkunastu lat, udziału energii odnawialnej w stosunku do energii konwencjonalnej powinny uruchomić mechanizmy sprzyjające stosowaniu rozwiązań pozyskiwania energii słonecznej (polityka państwa, korzystne kredytownie, itp.)

2. PLAN BADAŃ

Idea działania przegród kolektorowo-akumulacyjnych (PKA) jest prosta i znana od kilkudziesięciu lat. Typowa ściana kolektorowo-akumulacyjna składa się z następujących elementów (rys.1):

- przeszklenia (1),
- warstwy absorbującej promieniowanie słoneczne (absorbera) (2),
- warstwy akumulacyjnej (3).



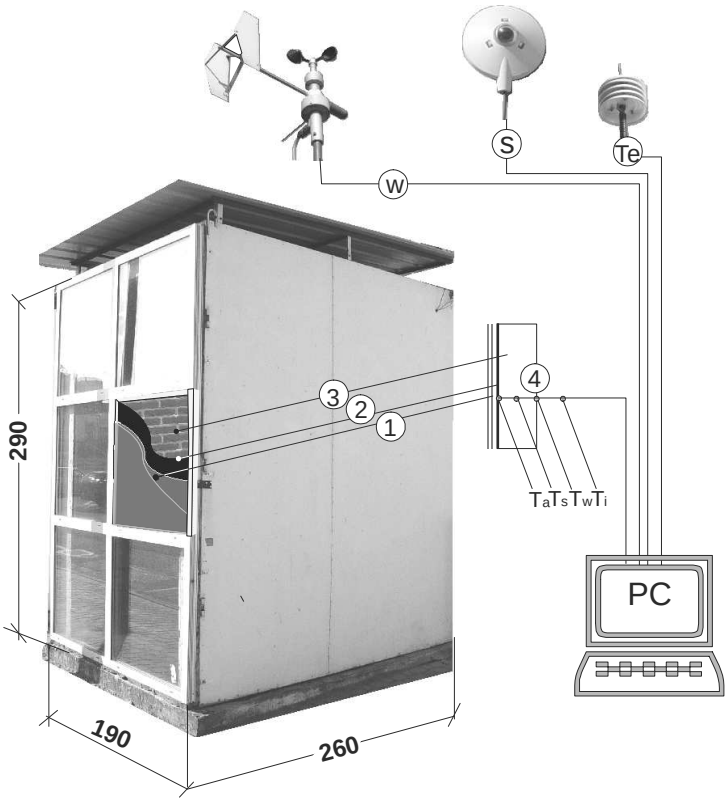
Rys. 1. Schemat ściany kolektorowo-akumulacyjnej
Fig. 1. The schema of the collector-accumulating wall

Zastosowane w przegrodzie przeszklenie umożliwia konwersję promieniowania słonecznego docierającego do przegrody na ciepło, które przenikając od warstwy absorbującej akumuluje się w ścianie przylegającej do ogrzewanego pomieszczenia podnosząc jej temperaturę. O tym jak będzie w określonych warunkach funkcjonowała PKA decydują parametry fizyczne wymienionych elementów a także ich współpraca. Zakresem badań objęto:
- wpływ doboru materiału akumulacyjnego PKA na jej funkcjonowanie,
- wpływ zastosowanego przeszklenia oraz
- sposoby poprawy efektywności cieplnej PKA.

2.1. Schematy stanowisk badawczych

Badania realizowane są przy użyciu dwóch nieogrzewanych komór izolacyjnych o wymiarach zewnętrznych 260x190x290cm. Ściany komór, wyłączając ścianę południowa, grubości 20 cm wypełnione są wełną mineralną. Na ścianach frontowych (południowych) przed murowaną częścią akumulacyjną zainstalowano przeszklenie.

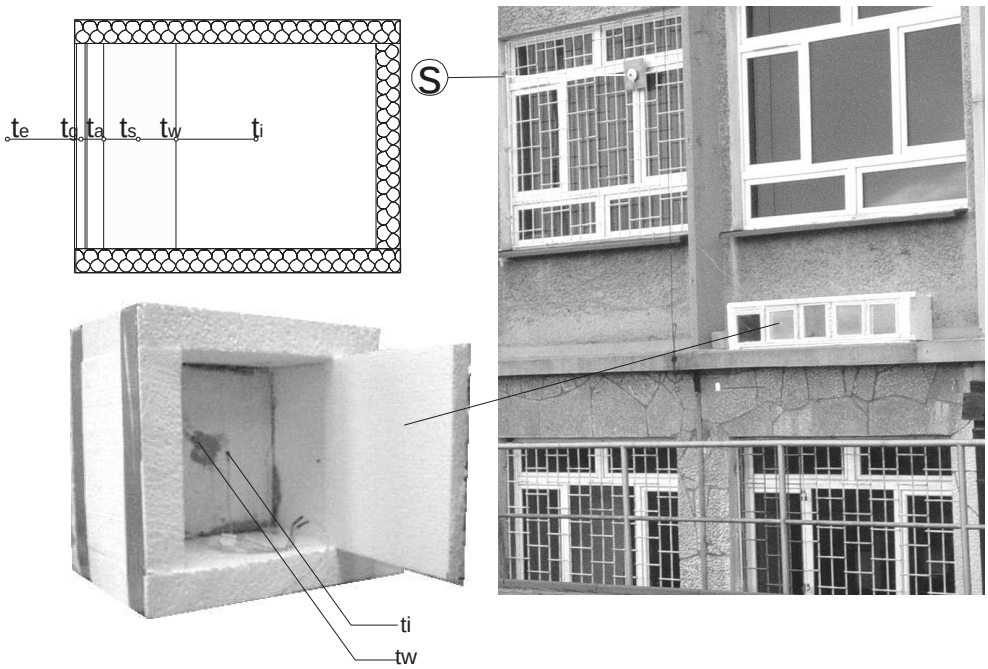
W celu rejestracji funkcjonowania ściany o różnych parametrach fizycznych w jednakowych warunkach klimatycznych dokonano jej podziału na 6 części oddzielonych termicznie przy pomocy 5cm grubości wkładek styropianowych. W pierwszej z komór zastosowano jednakowy rodzaj przeszklenia (U=1,5W/m^{2}K) oraz różne materiały w części akumulacyjnej (cegła ceramiczna grubości 12cm i 25cm, cegła silikatowa 25cm, beton komórkowy 24cm, pustak ceramiczny szczelinowy 19cm, cegła klinkierowa 25cm). W drugiej komorze zastosowano jednakowy materiał akumulacyjny (cegła silikatowa 25 cm) oraz szyby o zróżnicowanych: współczynniku przenikania ciepła **U** i współczynniku transmisyjności **TR**.



Rys. 2.Schemat stanowiska badawczego: 1-przeszklenie, 2-warstwa absorbująca, 3-materiał akumulujący, w-miernik prędkości i kierunku wiatru, S- miernik promieniowania słonecznego Kipp&Zonnen, Te,Ta, Tw,Ti – czujniki temperaturyDS18B20

Fig. 2. The schema of the research-chamber.1-glazing, 2- coating of absorption, 3- the material of heat accumulating

Równolegle prowadzone są pomiary w wykonanych ze styropianu komorach modelowych mniejszej skali 35x 45x35 cm (rys.3.). Dają one możliwość rozszerzenia zakresu badanych materiałów i konfiguracji po wcześniejszym przygotowaniu komory w laboratorium nawet w okresie zimowym.



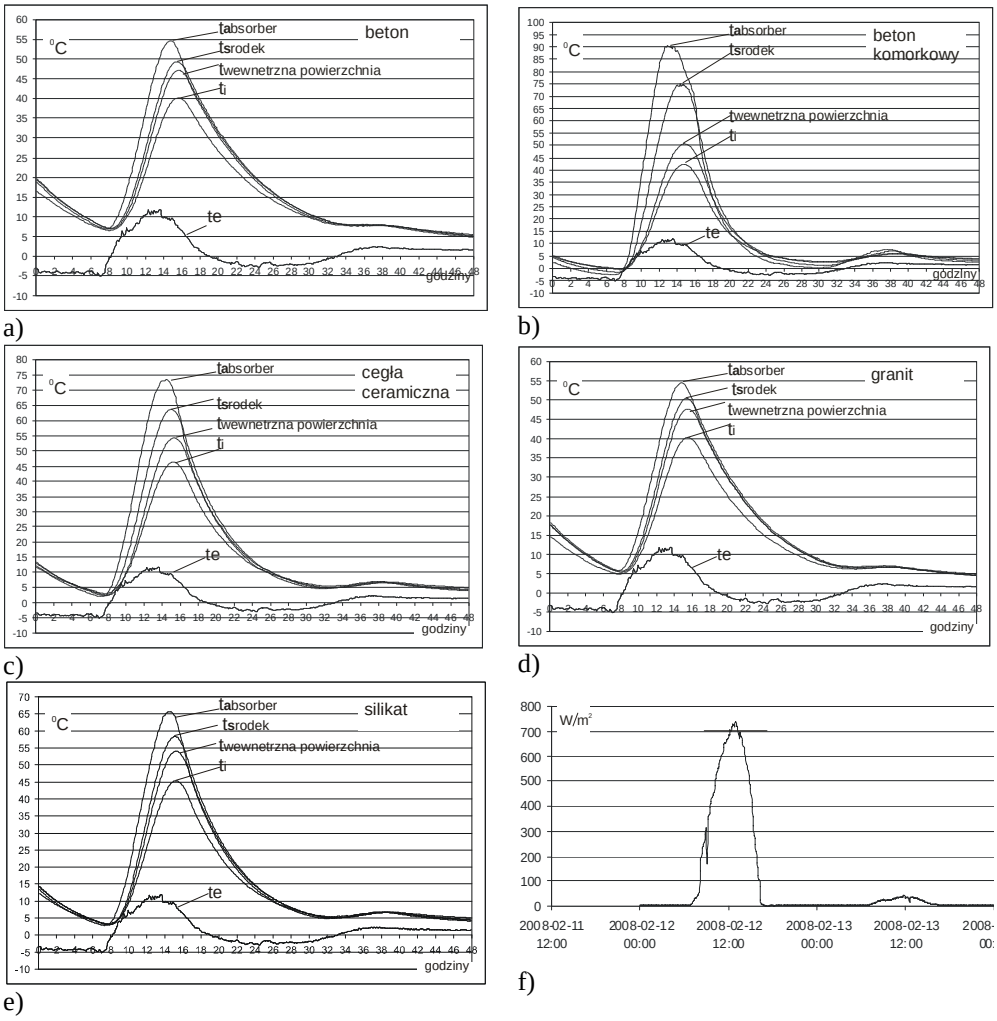
Rys. 3.Widok małej komory badawczej oraz schemat rozmieszczenia czujników temperatury

Fig. 3. The view of model of thermal storage wall

W bieżącym sezonie ogrzewczym w małych komorach porównywano następujące materiały akumulacyjne przy zastosowaniu jednakowego przeszklenia (U=3,0 W/m^{2}K, TR=0,82): granit (ρ=2800 kg/m3, λ=3,5 W/mK, c_w=0,92 kJ/kgK), beton zwykły (ρ=2400 kg/m3, λ=1,7 W/mK, c_w=0,84 kJ/kgK), silikat(ρ=1900 kg/m3, λ=0,9 W/mK, c_w=0,88 kJ/kgK), cegła ceramiczna (ρ=1800 kg/m3, λ=0,77 W/mK, c_w=0,88 kJ/kgK), beton komórkowy(ρ=600 kg/m3, λ=0,21 W/mK, c_w=0,84 kJ/kgK).

3. WPŁYW MATERIAŁU AKUMULACYJNEGO NA ROZKŁADY TEMPERATUR W PRZEKROJU PRZEGRODY

W dalszej części artykułu zaprezentowano rozkłady temperatur z przekrojach przegród wykonanych z wyżej wymienionych. materiałów (rys. 4a-4e). Do celów poglądowych wybrano kolejne dwa dni: słoneczny i pochmurny o natężeniu promieniowania słonecznego według rys. 4f.



Rys. 4. Rozkłady temperatur w przekrojach przegrody (a-e) oraz rozkład natężenia promieniowania słonecznego (f)

Fig. 4. Distribution of temperature in the thermal storage wall section (a-e), and distribution of solar radiation (f)

Otrzymane wyniki pomiaru temperatury w poszczególnych przekrojach umożliwiają analizę funkcjonowania przegrody w zakresie charakterystyk fluktuacji temperatury w przegrodzie jako funkcji warunków brzegowych (natężenia promieniowania słonecznego, temperatury powietrza zewnętrznego i prędkości wiatru), dyfuzyjności cieplnej poszczególnych rozwiązań, zdolności do akumulacji ciepła i prędkości jego dystrybucji. Na obecnym poziomie zaawansowania badań jako kryterium porównawcze przebadanych rozwiązań przyjęto rozkład strumienia ciepła q od promieniowania słonecznego przenikającego do komory. Strumień ciepła określono z zależności:

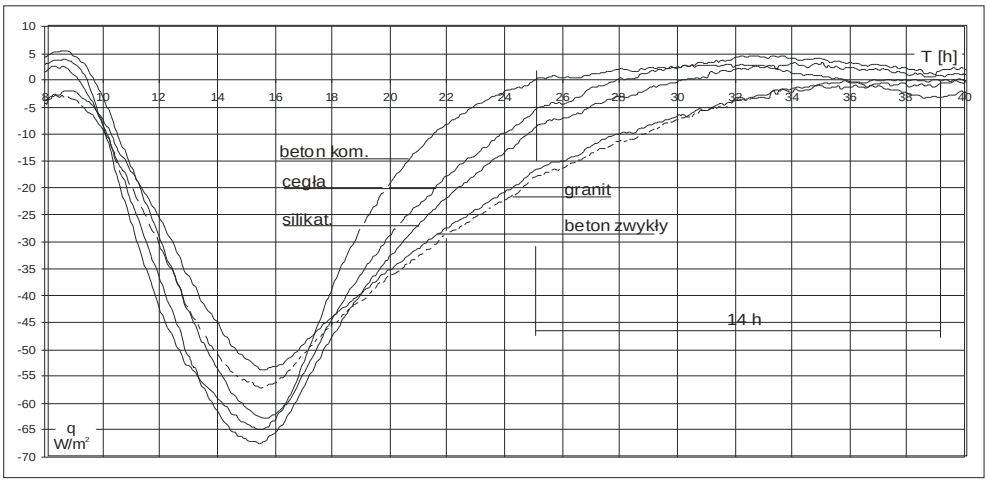
$$q=(t_i-t_w)/R_{si} \quad (1)$$

gdzie:

t_i – temperatura mierzona wewnątrz komory,

t_w – temperatura mierzona na wewnętrznej powierzchni przegrody,

R_{si} – opór przejmowania ciepła od strony wewnętrznej.



Rys. 5. Rozkłady strumienia ciepła od strony wewnętrznej ściany.
Fig. 5. Distributions of heat flux from the inside of the wall.

4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane w artykule wyniki wskazują iż na funkcjonowanie przegrody duży wpływ ma właściwy dobór materiału akumulacyjnego. Materiał o małym współczynniku przewodzenia i gęstości objętościowej charakteryzuje się szybkim nagrzewaniem ale i równie szybkim ochładzaniem. Przegroda, w której wykorzystano materiały o największej gęstości, generowała strumień ciepła w kierunku komory kilkanaście godzin dłużej od ściany z betonu komórkowego. Materiały o dużych: gęstościach i współczynnikach przenikania ciepła charakteryzują się dużą dyfuzyjnością i pojemnością cieplną. Dzięki tym własnościom dobrze funkcjonują w czasie dni słonecznych. Jednak podczas dni pochmurnych generują większe straty ciepła od np. betonu komórkowego, dlatego ich stosowanie w PKA wymaga wykorzystania przeszklenia o dużej izolacyjności lub innych rozwiązań ograniczających straty ciepła np. rolety, okiennice itp. Specyfika polskich warunków klimatycznych uzasadnia kontynuację badań w zakresie poszukiwania optymalnej konfiguracji przeszklenie-materiał akumulujący.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF SOLUTIONS OF MATERIALS ON THE ACTIVITY OF NOT VENTILATED THERMAL STORAGE WALL

SUMMARY

In the article presented the results of experimental researches of the influence of materials on the work of not ventilated thermal storage wall. The good activity of the wall is relative to the proper configuration of the material of heat accumulating and glazing.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Jerzy SZYSZKA, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów
e-mail: jszyszka@prz.edu.pl

PRZEGRODA KOLEKTOROWO-WYMIENNIKOWA

STRESZCZENIE

W referacie omówiono wybrane sposoby ogrzewania ściennego wykorzystującego energię promieniowania słonecznego. Omówiono zalety i mankamenty ściany kolektorowo akumulacyjnej. Wskazano możliwości rozwiązań poprawiających jej funkcjonowanie. Jako rozwiązanie stanowiące przedmiot badań autora opisano przegrodę kolektorowo-wymiennikową.

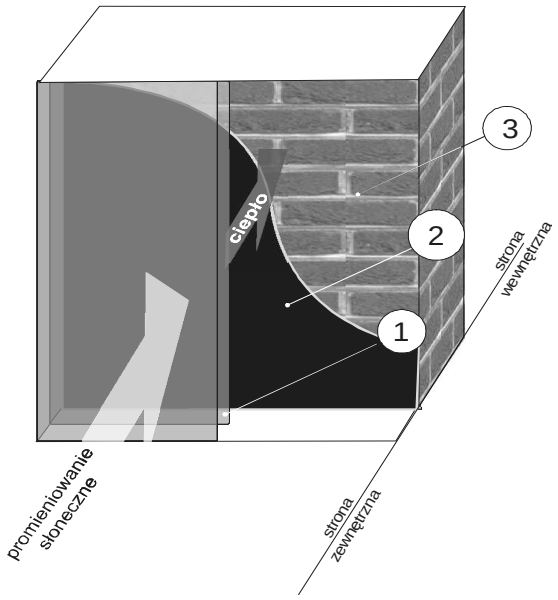
1. WPROWADZENIE

Rosnące koszty wytwarzania energii, w tym energii do ogrzewania budynków, obowiązek wprowadzenia w najbliższym czasie świadectw energetycznych budynków oraz polityka UE dotycząca ograniczenia zużycia energii konwencjonalnej, zmuszają projektantów do poszukiwania rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych w budownictwie, które z jednej strony ograniczają zużycie energii konwencjonalnej z drugiej zaś umożliwiają wykorzystanie energii odnawialnej. Obok powszechnie stosowanych rozwiązań wykorzystujących energię słoneczną, takich jak kolektory słoneczne, ogniwa fotowoltaiczne itp., na większe od obecnego zainteresowanie projektantów i inwestorów zasługują rozwiązania przegród zewnętrznych, które łączą funkcje konstrukcyjną ze zdolnością pozyskiwania ciepła od promieniowania słonecznego. Rozwiązaniem łączącym powyższe funkcje jest przegroda kolektorowo-akumulacyjna PKA lub kolektorowo-wymiennikowa.

2. ŚCIANA KOLEKTOROWO-AKUMULACYJNA

Typowa przegroda kolektorowo-akumulacyjna jest rozwiązaniem wykorzystującym fototermiczną konwersję promieniowania słonecznego. Składa się z warstwy aku-

mulacyjnej ciepło, warstwy absorbującej promieniowanie słoneczne oraz przeszklenia (rys.1.).



Rys. 1. Schemat przegrody kolektorowo-akumulacyjnej
Fig. 1. The schema of the thermal storage wall

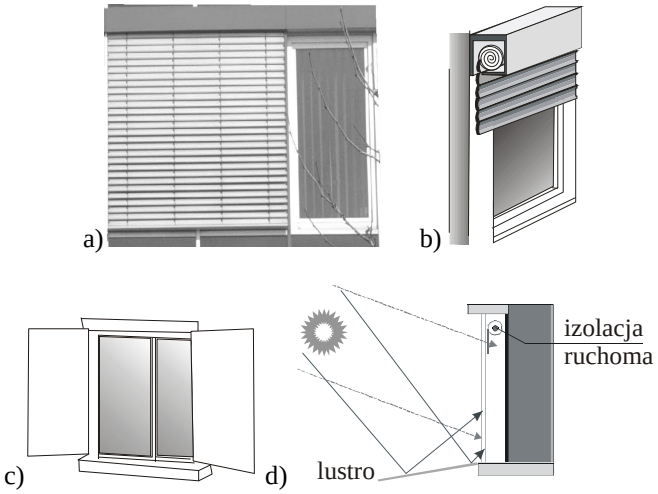
Trudno przesądzić, który a elementów przegrody pełni najistotniejszą funkcję. Parametry fizyczne materiału ściany mają wpływ na to ile ciepła zostanie w niej zakumulowane jak szybko będzie się ona nagrzewać i oddawać ciepło. Materiały o dużych gęstościach i cieple właściwym cechuje duża akumulacyjność ciepła, zaś materiały o dużej przewodności cieplnej posiadają zdolność do szybkiego nagrzewania ale i schładzania. Z tych powodów do ścian kolektorowo-akumulacyjnych stosuje się przede wszystkim materiały ciężkie takie jak beton, silikat, cegłę klinkierową. Typowe murowe materiały budowlane posiadają zbliżone ciepło właściwe. Znaczące zwiększenie akumulacyjności cieplnej można uzyskać np. przy pomocy ściany wodnej. Woda posiada ciepło właściwe ponad czterokrotnie większe od murowych materiałów budowlanych – wykorzystanie jej w przegrodzie proporcjonalnie zwiększa jej zdolność do magazynowania ciepła. Ściany wodne wykonuje się najczęściej z nierdzewnych pojemników wypełnionych wodą, które umieszcza się za blaszanym absorberem. Innym sposobem zwiększenia akumulacyjności cieplnej jest wykorzystanie ciepła utajonego materiału, np. niezbędnego do zmiany fazy. Przy tej samej pojemności niektóre materiały ulegające przemianie fazowej w temperaturze z zakresu ich pracy mogą akumulować znacznie więcej ciepła z uwagi na ciepło utajone, potrzebne do zmiany stanu skupienia. W zakresie niskiej temperatury przemiany fazowej do tych materiałów zalicza się min.: wosk, parafinę, glicerynę, roztwory soli łatwo krystalizujących, jak np. hydraty Na_2SO_4 10 H_2O (sól glauberska), itp.[1].

Na funkcjonowanie przegrody kolektorowo-akumulacyjnej ogromny wpływ mają parametry zastosowanego przeszklenia. Jego przepuszczalność TR (transmisyjność) decyduje o tym jaka część promieniowania słonecznego dotrze do warstwy absorbującej. Natomiast jego izolacyjność termiczna wyrażona poprzez współczynnik przenikania ciepła U decyduje o tym ile ciepła zaabsorbowanego w przegrodzie przeniknie w stronę przyległego pomieszczenia a ile na zewnątrz budynku. Trudność doboru przeszklenia polega na tym, iż wymienione parametry są względem siebie rozbieżne. Duża izolacyjność termiczna pociąga za sobą małą zdolność do przepuszczania promieniowania słonecznego.

Stosowanie zatem w PKA szkła lub materiału akumulacyjnego o bardzo dużej izolacyjności termicznej znacznie ogranicza efektywność tego rozwiązania a w aspekcie ekonomicznym czyni je nieracjonalnym. Z kolei stosowanie przeszklenia o niskiej termoizolacyjności przyczynia się do strat ciepła w nocy i dni pochmurne.

Wśród najpopularniejszych rozwiązań poprawy efektywności PKA należy wymienić ruchome izolacje nocne (rys.2.): rolety, żaluzje, okiennice itp. Obok poprawy wydajności PKA o ok. 30% [2] w zakresie wykorzystania energii słonecznej, ograniczają możliwość przegrzewania ściany i przyległych pomieszczeń w okresie letnim.

Wydajność ich można zwiększyć dodatkowo stosując w ich strukturze materiał termoizolacyjny np. poliuretan zaś od strony budynku (pomieszczeń ogrzewanych) pokrywając je powłokami refleksyjnymi ograniczającymi straty ciepła przez promieniowanie. Powłoki refleksyjne stosowane w żaluzjach między taflami przeszklenia przy odpowiednim ich nachyleniu zwiększają ilość docierającego do absorbera promieniowania słonecznego.

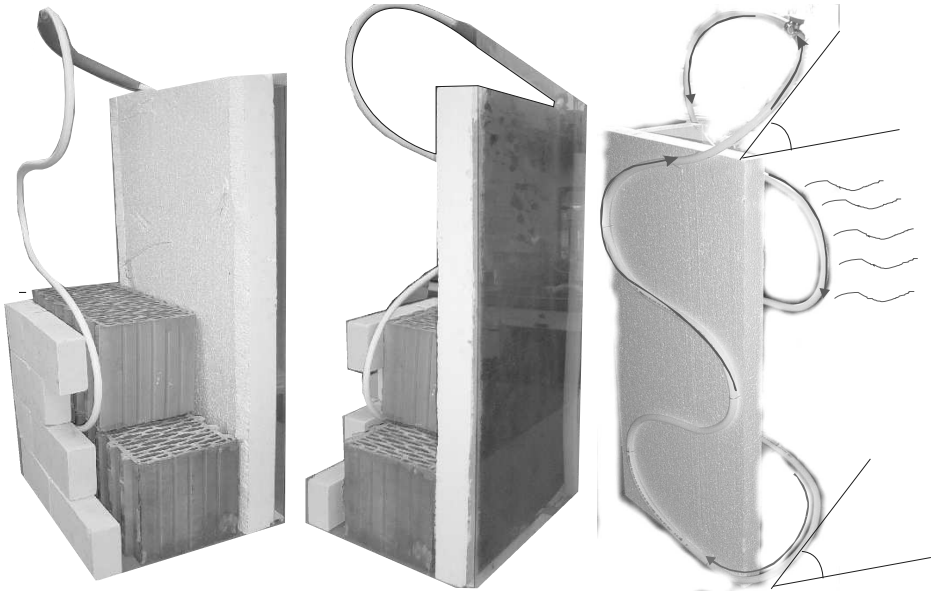


Rys. 2. Przykładowe rozwiązania zwiększające izolacyjność termiczną przeszklonych przegród: a,b-rolety, c,d-okiennice,

Fig. 2. The example-solutions improving the effectivity of thermal storage wall: a,b-external shutter, c) multilayer blind d)movable insulation and horizontal reflector

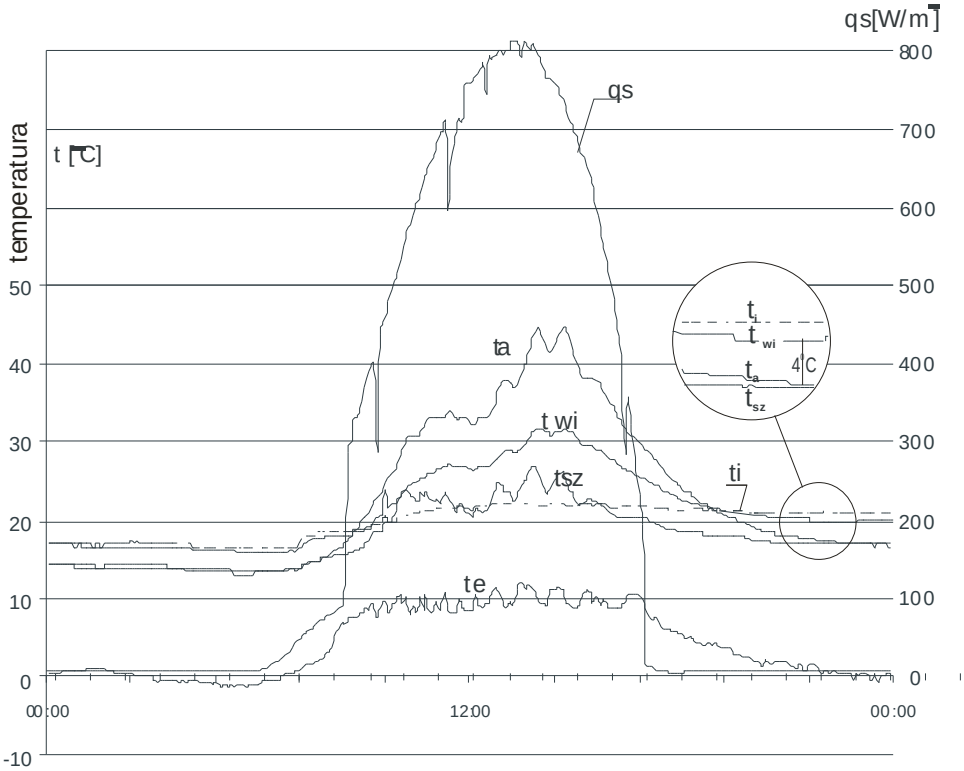
Podobnie, zastosowane ich na wewnętrznej stronie zewnętrznych okiennic pionowych bądź poziomych powoduje skierowanie odbitego promieniowania słonecznego w stronę absorbera.

Rozwiązaniem łączącym w sobie termoizolacyjność na poziomie ścian izolowanych wełną mineralną lub styropianem z możliwością pozyskiwania ciepła od promieniowania słonecznego, może być przegroda kolektorowo-wymiennikowa. Od typowej przegrody kolektorowo akumulacyjnej wyróżnia się tym iż za przeszkleniem umieszczono izolację termiczną, przed którą w warstwie absorbera (np. ciemnego tynku) umieszczono wężownicę wypełnioną płynem służącym do transportu ciepła. Wężownica ta (zewnętrzna) jest połączona z położoną wyżej wężownicą wewnętrzną umieszczoną w warstwie tynku wewnętrznego (analogicznie jak w ogrzewaniu ściennym) lub jak na rys.2 wewnątrz muru, przy pomocy prostych nachylonych ku górze odcinków rury. Promieniowanie słoneczne absorbowane w warstwie tynku nagrzewa płyn w wężownicy, który konwekcyjnie przemieszcza się ku górze a następnie do wężownicy wewnętrznej. W tym momencie ciepło jest oddawane bądź bezpośrednio do przyległego pomieszczenia bądź za pośrednictwem warstwy akumulującej. Oddając ciepło płyn wychładza się, staje się cięższy wspomagając tym samym krążenie konwekcyjne.



Rys. 3. Model badawczy przegrody kolektorowo-wymiennikowej
Fig. 3. The model of the researches modified thermal storage wall

Istotnym szczegółem budowy wymienionej przegrody jest ułożenie wewnętrznej wężownicy na wyższym poziomie do wężownicy zewnętrznej. Wykorzystuje się w ten sposób tzw. efekt termosyfonowy (stratyfikację masową). Rozwiązanie to, z jednej strony ułatwia konwekcyjny przepływ rozgrzewanego płynu, z drugiej blokuje ruch płynu wstecz, co ma miejsce w sytuacji, gdy posiada on w zewnętrznej wężownicy niższą temperaturę niż w wewnętrznej(rys.3.).

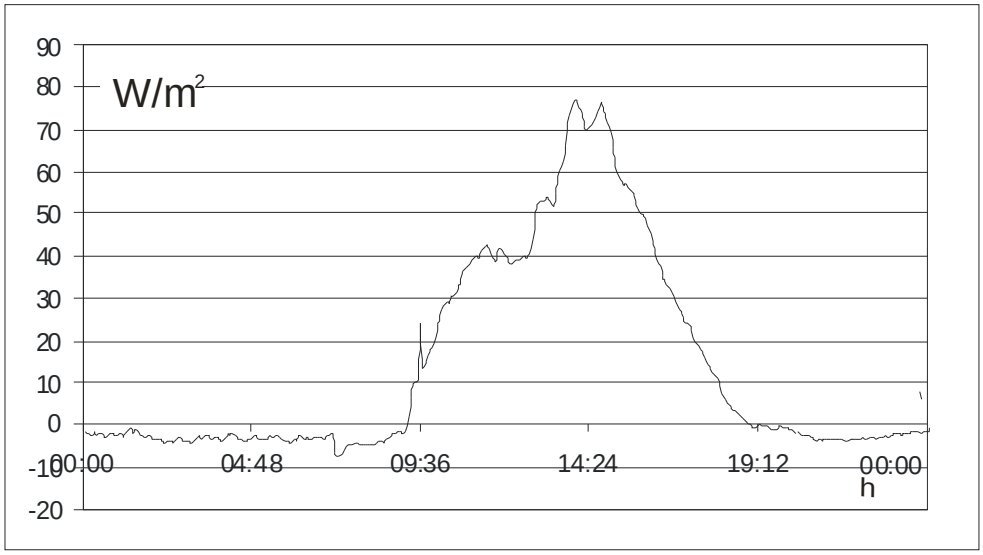


Rys. 4. Rozkłady temperatur t oraz rozkład natężenia promieniowania słonecznego q_s : t_e-temperatura powietrza zewnętrznego, t_i-temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia, t_{sz}-temperatura przeszklenia, t_a-temperatura absorbera, t_{wi} -temperatura płynu wężownicy wewnętrznej

Fig. 4. Distribution of temperature: t_e- external air temperature, t_i- internal air temperature, t_{sz}- glazing temperature, t_a- the temperature of the absorber, t_{wi} - the temperature of the liquid in the internal pipe coil

Przedstawiony powyżej, dla wybranego dnia, rozkład temperatury został zarejestrowany na wykonanym przez autora prototypie panelu o wymiarach 0,5x1,0m. Czujniki temperatury DS18B20 zostały umieszczone na środku powierzchni przeszklenia (U=1,W/m^{2}K, TR=0,67), w warstwie absorbera (pomalowany czarną farbą tynk cementowy) oraz w środkowej części odkrytej wężownicy wewnętrznej.

Uzyskane wyniki świadczą o dobrej sprawności przedstawionego rozwiązania. Wzrost temperatury absorbera przekłada się niemal natychmiast na proporcjonalny wzrost średniej temperatury wężownicy wewnętrznej. Należy przy tym nadmienić iż przedstawiony rozkład temperatury t_w dotyczy środkowej części wężownicy. Zatem na połowie jej długości (1,5m) zachodziło oddawanie ciepła do powietrza wewnątrz pomieszczenia. Mimo to przyrost temperatury t_w stanowił około 50% przyrostu temperatury absorbera t_a. Rozkład strumienia ciepła generowanego przez wężownicę przedstawiono na rys.4.



Rys. 5. Rozkład strumienia ciepła (wartość uśredniona) generowanego przez wężownicę
Fig. 5. Distribution of heat flux (medium value) generated from pipe coil

3. PIŚMIENNICTWO

[1] SmolecWł.; Fototermiczna konwersja energii słonecznej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000,
[2] Pluta Z.; Słoneczne instalacje energetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003,

MODIFIED THERMAL STORAGE WALL

SUMMARY

In the article presented the results of experimental researches of modified thermal storage wall. Used arrangement of pipe coils makes possible the convective heat exchange from the absorber to the internal wall-part. Simultaneously used in the solution the insulation reduced losses of heat.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Tomasz WALCZAK, mgr inż.

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Zakład Problemów Eko-Budownictwa
Ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
e-mail: twalczak@ippt.gov.pl

WYKORZYSTANIE METOD SZTUCZNEJ INTELIGENCJI DO ZARZĄDZANIA ENERGIĄ W BUDYNKU

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wstępne, bardzo zachęcające, wyniki uczenia się inteligentnego termostatu strategii wykorzystania tańszej taryfy energii elektrycznej do ogrzewania budynku za pomocą elementów grzejnych umieszczonych w jego masywnej konstrukcji. Do adaptacyjnego sterowania wykorzystano metodę sztucznej inteligencji – uczenie się ze wzmocnieniem. Przeprowadzono dynamiczna symulację rozpływu energii w budynku opartą na metodach różnic skończonych. Uzyskano 5% poprawę w stosunku do typowo wykorzystywanego sterowania czasowego.

1. WPROWADZENIE

Rosnąca potrzeba oszczędzania energii niesie za sobą rozwój nie tylko pasywnych ale również aktywnych technik wykorzystania energii. Jedną z nich jest wykorzystanie masy termicznej znajdującej się w budynku. Jak wiadomo budynek o ciężkiej konstrukcji charakteryzuje się dużą stabilnością temperatur. Jego masa termiczna umożliwia efektywne zmagazynowanie zysków od energii słonecznej, pozyskanej w sposób pasywny, ale również efektywne pasywne chłodzenie nocne wykonywane poprzez otwarcie okien. Pojawia się pytanie, czy masy termicznej budynku, będącej tanim magazynem energii, nie można równie efektywnie wykorzystać w sposób aktywny.

W polskich domach wciąż bardzo często wykorzystuje się do ogrzewania prąd elektryczny. Może on być wykorzystany bezpośrednio, zasilając element grzewczy, lub pośrednio, napędzając jedynie urządzenie transportujące ciepło np. pompę ciepła. Użytkownik podpisując umowę z zakładem energetycznym może wybrać sposób rozliczania

zużytej energii: jednotaryfowy, ze stałą ceną w ciągu całej doby lub dwutaryfowy, z energią tańszą w godzinach nocnych, między 22 a 6, oraz we wczesnych godzinach popołudniowych, między 13 a 15. W pozostałym okresie energia jest droższa niż w rozliczaniu jednotaryfowym. W zależności od regionu Polski tzw. II taryfa jest tańsza nawet dwukrotnie od jednolitego rozliczania. Atrakcyjna cena zachęca użytkowników do poboru energii poza szczytem, co jest również bardzo opłacalne dla elektrowni, które mają poważny problem z szybkim dopasowaniem się do zapotrzebowania.

Do tej pory najczęściej II taryfę energii elektrycznej wykorzystywano poprzez piece akumulacyjne, które jednak zajmują sporo miejsca. W niniejszej pracy element grzejny umieszczono w masywnej konstrukcji budynku. W części eksperymentalnej przeanalizowano umieszczenie go w podłodze, ale może to być dowolna inna płaszczyzna, np. ściana czy sufit. Powstaje jednak problem. Niewątpliwie takie wykonanie systemu grzewczego jest tanie inwestycyjnie i tanie eksploatacyjnie, jednak nieodpowiednio sterowanie może doprowadzić do dyskomfortu. Niniejsza praca ma na celu przedstawienie projektu inteligentnego termostatu, który w trakcie działania systemu grzewczego uczy się charakterystyki cieplnej budynku i dopasowuje momenty włączenia i wyłączenia ogrzewania tak, by nie przekroczyć zadanego zakresu komfortu cieplnego a jednocześnie zmaksymalizować wykorzystanie II, tańszej taryfy energii elektrycznej.

Na początku zostanie pokazany sposób dynamicznego modelowania rozpływu energii w pomieszczeniu, a następnie szczegóły użytego algorytmu, zaczerpniętego z metod sztucznej inteligencji. W dalszej części zaprezentowane będą wyniki symulacji i porównanie z powszechnie stosowaną metodą sterowania włącz/wyłącz. Ostatnia część pracy to podsumowanie i omówienie perspektyw wykorzystania przedstawionej metody.

2. DYNAMICZNA SYMULACJA BUDYNKU

W celu przetestowania proponowanego podejścia opracowano model pojedynczego pomieszczenia. Symulacja odbywa się w sposób w pełni dynamiczny, z uwzględnieniem zmian temperatury zewnętrznej, zysków od energii słonecznej, zysków wewnętrznych oraz systemu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Wykorzystana metoda różnic skończonych została szczegółowo opisana w [9].

Równanie bilansu energii dla powietrza wewnątrz pomieszczenia w danym kroku czasowym wygląda następująco:

$$\sum_{j=1}^{N} A_j h_{cj}\left[\Theta_{sj}(t)-\Theta_A(t)\right]+\frac{\rho CV}{\delta t}\left[\Theta_A(t)-\Theta_A(t-\delta t)\right]+q_p(t)+q_L(t)+q_I(t)=0 \quad (1)$$

gdzie: δt jest to krok czasowy w sekundach, A_j powierzchnia j-tej ściany [m^2], ρ gęstość powietrza [kg/m^3], C ciepło właściwe powietrza [J/(kg·K)], V objętość przestrzeni [m^3], q_p - moc grzewcza konieczna do utrzymania zadanej temperatury [W], $q_L(t)$ - chwilowe zyski od wewnętrznych źródeł ciepła np. oświetlenia [W], $q_I(t)$ - moc grzewcza wynikająca z przepływu powietrza przez analizowaną strefę [W].

Dla każdej przegrody równanie bilansu wygląda następująco:

$$\frac{\rho_I(t)C_I(t)\delta V(t)}{\delta t}\left[\Theta(I,t+\delta t)-\Theta(I,t)\right]=\sum_{j=1}^{N}K_{j,I}(\Theta_j-\Theta_i)+q_I \qquad (2)$$

gdzie i, j to numery warstw w przegrodzie, q_I to moc grzewcza dostarczona w danym punkcie przegrody, $K_{j,I}$ współczynnik przewodności cieplnej miedzy między j-tym a i-tym węzłem. . Dla każdej przestrzeni (tzw. węzła) wydzielonej w przegrodzie tworzy się wyżej opisane równie. Powstaje układ równań składający się z równań dla wszystkich przestrzeni i wszystkich przegród oraz równania bilansowego dla powietrza znajdującego się wewnątrz. Wektor niewiadomych składa się z temperatur w każdym z rozpatrywanych węzłów. Rozwianie tak skonstruowanego układu równań umożliwia dokładna, dynamiczną analizę zmian temperatur w budynku.

3. SZCZEGÓŁY PROPONOWANEGO ALGORYTMU

W ciągu ostatniej dekady do inteligentnego sterowania systemami HVAC w budynku wykorzystywano bardzo wiele różnych metod sztucznej inteligencji. Były to miedzy innymi sieci neuronowe [1,5], logika rozmyta [3,4] i ostatnio nowa bardzo obiecująca klasa algorytmów uczących się ze wzmocnieniem [2,6,7]. Uczenie ze wzmocnieniem [8], w przeciwieństwie do innych technik adaptacyjnego sterowania, nie określa jasnego celu działania dla ucznia. Na podstawie prób i błędów dochodzi on do najbardziej pożądanej strategii działania. Poprawa strategii działania oparta jest jedynie na wartościującej informacji zwrotnej, nazwanej wzmocnieniem. Zatem operując nomenklaturą zaczerpniętą z [8], uczenie ze wzmocnieniem można zwięźle scharakteryzować jako algorytmiczne podejście do zadania uczenia się celowego zachowania przez inteligentnego agenta, na podstawie dynamicznych interakcji ze środowiskiem, na ogół nie znanym mu wcześniej i często niedeterministycznym, często także niestacjonarnym, czyli podlegającym zmianom w miarę upływu czasu. Komunikacja ucznia ze środowiskiem, w którym operuje, odbywa się poprzez obserwacje przez ucznia **stanu**, w jakim znajduje się środowisko, wykonywanie określonych **akcji** oraz otrzymywanie informacji oceniającej wykonane działanie, zwane **wzmocnieniem**.

3.1 Stan

W przypadku zadania inteligentnego termostatu stan możemy zdefiniować poprzez dostępne w symulatorze parametry, tj. w tym przypadku może to być:

- temperatura zewnętrzna,
- temperatura wewnętrzna,
- aktualny czas lub informacja, która taryfa grzewcza aktualnie obowiązuje;

Ilość parametrów charakteryzujących stan może być odpowiednio modyfikowana w zależności od ich dostępności i celu uczenia.

3.2 Akcja

Najprostszy zbiór dozwolonych akcji zdefiniowany jest następująco:

- włącz ogrzewanie,
- wyłącz ogrzewanie;

3.3 Wzmocnienie

Wzmocnienie jest najważniejszym parametrem uczenia ze wzmocnieniem. Dla zadania inteligentnego termostatu zdefiniowano je następująco:

$$r_t = -w_1 \cdot (thermal_comfort_penalty) - w_2 \cdot (energy_penalty) \tag{3}$$

Jak widać ocena ucznia następuje na podstawie dwóch kryteriów. Pierwsze z nich uwzględnia różnicę między aktualną temperaturą w pomieszczeniu a jej wartością zadaną, drugie natomiast pobór energii.
Częściowe składniki wzmocnienia definiujemy następująco:

$$thermal_comfort_penalty = \frac{\left| t_{akt} - t_{zad} \right|}{zakres_komfortu} \tag{4}$$

gdzie t_{akt} - aktualna temperatura wewnątrz, t_{zad} - temperatura zadana w danym okresie czasu, $zakres_komfortu$ - suma dolnej i górnej dozwolonej wartości temperatury.

$$energy_penalty = \frac{\sum_{t-24}^{t} E_{consum}}{E_{\max}} \tag{5}$$

gdzie: $\sum_{t-24}^{t} E_{consum}$ - koszt zużytej energii za ostatnie 24 godziny, $E_{\max}$ - maksymalny możliwy koszt zużytej energii za ostatnie 24 godziny.
Wagi w_1 i w_2 umożliwiają regulację wartości poszczególnych członów odpowiedzialnych za komfort i zużycie energii. W zależności od wartości wag system będzie starał się trzymać w zadanym zakresie temperatur lub będzie pozwalał na większe wahania temperatur przy mniejszym całkowitym koszcie energii.

3.4 Cel uczenia

W rozpatrywanym algorytmie uczeń będzie się starać maksymalizować nagrody długoterminowo. Oznacza to, że wykonywane przez niego działania w krótkiej perspektywie czasowej mogą nie przynosić dużego zysku, ale w końcu zaczynają owocować właściwą strategią działania.
Uczeń musi zatem uwzględniać opóźnione skutki wybranych przez siebie akcji, wiele kroków po ich faktycznym wykonaniu. Takie podejście nazywa się uczeniem z opóźnionym wzmocnieniem lub uczenie się na podstawie opóźnionych nagród.

W opisywanym przypadku najczęściej przyjmuje się jako kryterium jakości zdyskontowaną sumę otrzymywanych nagród. Uczeń rozpoczynając działanie w chwili $t = 0$, ma obowiązek maksymalizować następujące wyrażenie:

$$E\left[\sum_{t=0}^{\infty}\gamma^t r_t\right] \tag{6}$$

gdzie $\gamma \in [0,1]$ to współczynnik dyskontowania, którego zadaniem jest regulacja stopnia ważności nagród natychmiastowych i tych otrzymywanych w dłuższej perspektywie czasowej. Jeśli $\gamma = 0$, to uczeń maksymalizuje tylko nagrody aktualne, ponieważ powyższa suma redukuje się do wyrazu r_0 (oczywiście przy założeniu, że $0^0 = 1$).

W przypadku, gdy $\gamma = 1$ wszystkie nagrody stają się tak samo ważne, bo kryterium jakości staje się sumą wszystkich otrzymanych przez ucznia wzmocnień od początku jego działalności. Wartości pośrednie tego parametru umożliwiają ustalenie stopnia „dalekowzroczności" ucznia.

3.5 Algorytm Q-learning

Poniżej zostanie przedstawiony najbardziej popularny algorytm z klasy algorytmów uczących się ze wzmocnieniem – algorytm Q-learning. Algorytm nie wymaga żadnej wiedzy wstępnej o otaczającym środowisku, natomiast jego działanie opiera się wyłącznie na dynamicznych interakcjach z tą przestrzenią. Algorytm Q-learning w trakcie swojego działania uczy się funkcji wartości akcji, dzięki czemu ma możliwość wartościowania uczonej strategii i jednocześnie może ją poprawiać.

Rozpatrywane algorytmy wykorzystują do wartościowania uczonej strategii metodę różnic czasowych TD (ang. Temporal Differences). Polega ona na predykcji wartości funkcji na podstawie dwóch kolejnych prognoz z następujących po sobie chwil czasowych. Zakłada się, że przewidywana wartość funkcji w chwili późniejszej jest dokładniejsza ze względu na zwiększającą się wiedzę ucznia wraz z upływem czasu. Korekta wartości rozpatrywanej funkcji jest dokonywana na podstawie błędu definiowanego jako różnica wspomnianych prognoz z dwóch następujących po sobie kroków, wcześniejszej mniej dokładnej i późniejszej bardziej wiarygodnej. W przypadku algorytmów uczących się ze wzmocnieniem wartością szacowaną w kroku *t* jest zdyskontowana suma przyszłych nagród, którą nazywa się dochodem TD.

Algorytm Q-learning jest algorytmem niezależnym od strategii i nie musi posługiwać się strategią, której się uczy. Jak sama nazwa sugeruje, algorytm będzie się uczył funkcji wartości akcji. Występuje tu tylko jedna operacja aktualizacji, ponieważ występuje tylko jedna funkcja, której należy się nauczyć. Zawiera ona informacje zarówno o wartości stanu jak i o wartości akcji w niej wykonanej. Błąd TD jest wyrażony jako różnica sumy $r_t + \gamma \max_a Q_t(x_{t+1}, a)$, która jest nowym oszacowaniem wartości funkcji Q, uwzględniającym natychmiastową nagrodę po wykonaniu akcji a_t w stanie x_t oraz maksymalną wartością funkcji Q w następnym stanie. Właśnie ta maksymalizacja wartości w kolejnym stanie powoduje, że algorytm nie musi się posługiwać strategią, której się uczy. Wybór akcji w danym stanie nie musi następować zgodnie z maksymalną wartością Q.
Reguła aktualizacyjna będzie miała zatem postać:

$$\Delta_{TD} = r_t + \gamma \max_a Q_t(x_{t+1}, a) - Q_t(x_t, a_t) \tag{7}$$

3.6 Wybór akcji

W niniejszej pracy do wyboru akcji wykorzystano probabilistyczną strategie wyboru akcji – tzw. Strategię Boltzmana. Ta strategia zapewnia zarówno możliwość eksploracji jak I eksploatacji środowiska przez ucznia.

Strategią nazywamy dwuargumentową funkcję, przyporządkowywującą każdej parze stan – akcja prawdopodobieństwo, z jakim akcja a zostanie wybrana do wykonania w stanie x, $\pi : X \times A \rightarrow [0,1]$.

Strategię Boltzmana wyraża wzór:

$$\pi(x, a^*) = \frac{\exp(Q(x, a^*)/T)}{\sum_a \exp(Q(x, a)/T)} \tag{8}$$

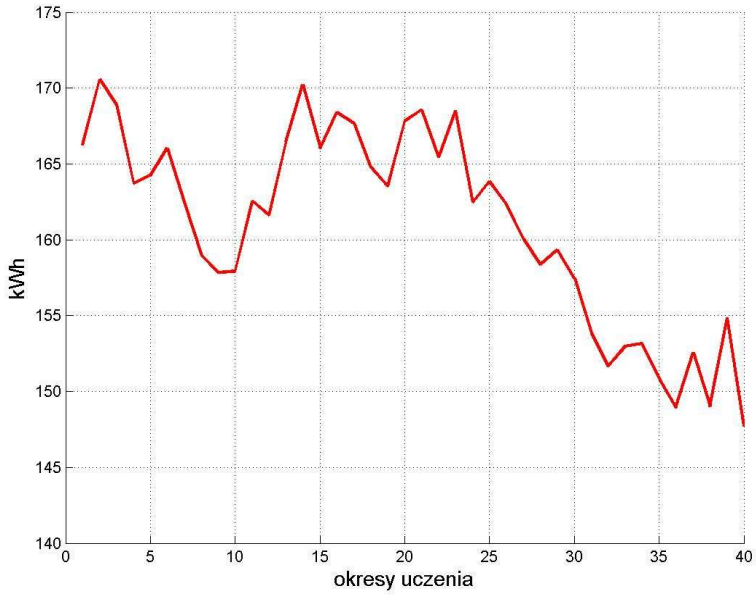
Parametr T > 0 reguluje stopień losowości. Dla T bliskich 1 wybór akcji jest całkowicie losowy, natomiast dla T w pobliżu zera akcje są wybierane zgodnie z aktualną strategią. Przy wyborze są preferowane te akcje, które mają największą wartość funkcji Q. W części eksperymentalnej niniejszej pracy wykorzystano wartość T = 0.95.

4. WYNIKI

W ramach pracy opracowano model pomieszczenia o wymiarach 3 m szerokości na 4 m długości I 3m wysokości. W dłuższej ścianie znajduje się okno skierowane na południe o powierzchni 1m^2. Pomieszczenie zostało wykonane z cegły silikatowej o grubości 12 cm I ocieplone 24 cm styropianu. Element grzejny umieszczono w betonowej podłodze o grubości 8 cm. Izolację od gruntu również stanowi styropian o grubości 24 cm. W pomieszczeniu pracuje system wentylacji z odzyskiem ciepła na poziomie 70%, który zapewnia 0.3 wymian powietrza na godzinę. Do symulacji wykorzystano rzeczywiste, 10-minutowe dane pogodowe pochodzące ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Warszawie, w dzielnicy Ursus. Przedstawione wyniki uczenia zostały uzyskane przy wykorzystaniu danych z sezonu zimowego 2002/2003.

Algorytm Q-learning wykorzystywany przez ucznia posiadała następujące parametry: $\gamma = 0.95$, $\beta = 0.5$, $w_1 = 0.1$, $w_2 = 0.9$.

Rysunek 1 ilustruje postępy uczenia się inteligentnego termostatu. Jak widać, w trakcie działania systemu następuje sumaryczne zmniejszenie zużycia energii (I jej kosztu) przez omawiane pomieszczenie. Uzyskane wyniki są o 4.95% lepsze od typowo używanego sterowania czasowego.



Rys. 1. Postępy ucznia inteligentnego termostatu
Fig. 1. The progress in learning of intelligent thermostat

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono nowe podejście do systemów sterowania aktywnie wykorzystujących masę termiczną budynku. W ramach pracy przeanalizowano wykorzystanie ogrzewania zainstalowanego w masywnej podłodze do magazynowania energii w tańszej taryfie energii elektrycznej. Pokazano, że zastosowanie uczącego się termostatu potrafi zmniejszyć koszt energii o około 5% w stosunku do tradycyjnie stosowanej strategii włącz/wyłącz.

Pierwsze wyniki eksperymentów są bardzo zachęcające. Aktywne wykorzystanie masy termicznej jest obecnie bardzo intensywnie badanym zagadnieniem, ze względu na niewielki koszt przypadający na jednostkę zmagazynowanej energii. Odpowiednio zaprojektowana konstrukcja budynku może stać się zatem bardzo tanim sposobem na poprawę komfortu wewnątrz, zarówno latem jak i zimą. Perspektywa wykorzystania inteligentnego sterowania do aktywnego zarządzania magazynem energii jest bardzo obiecująca, zwłaszcza w perspektywie wykorzystania materiałów fazowo-zmiennych PCM.

Dalszych badań wymaga przede wszystkim wyjaśnienie dla jakich konstrukcji budynków omawiany system sterowania działa najlepiej. Należy domniemywać, że przy bardzo ciężkich jak i bardzo lekkich konstrukcjach sterownie adaptacyjne nie da zadowalających efektów. Wskazanie optymalnych parametrów konstrukcji budynku będzie bardzo ważne dla praktycznego wykorzystanie tego typu algorytmów.

Kolejnym równie istotnym zagadnieniem jest dopracowanie modelu matematycznego środowiska, widzianego przez uczący się termostat. Wraz z wykorzystaniem technik

$TD(\lambda)$ będzie to miało kluczowy wpływ na przyspieszenie procesu uczenia, którego długość jest największą wadą algorytmów uczących się ze wzmocnieniem.

6. LITERATURA

[1] Ben-Nakhi AE. Mahmoud MA. Energy conservation in buildings through efficient A/C control using neural networks. Applied Energy 2001;73:5-23

[2] K. Dalamagkidis, D. Kolokotsa, K. Kalatitzakis, G.S. Stavarakakis, Reinforcement learning for energy conservation and comfort in buildings. Building and Environment 42 (2007) 2686-2698.

[3] Dounis AI, Manoklakis DE. Design of a fuzzy system for living space thermal-comfort regulation. Applied Energy 2001; 69(2): 119-44.

[4] Kolokotsa D,Tsiavos D, Strvrakakis GS, Kalaitzakis K, Antonidakis E. Advanced fuzzy logic controllers design and evaluation for buildings' occupants thermal – visual comfort and indoor air quality satisfaction. Energy and Building 2001;33:531-43

[5] Morel N, Bauer M, El-Khoury M, Krauss J. Neurobat, a predictive and adaptive heating control system using artificial neural networks. International Journal of Solar Energy 2001; 21:161-201

[6] Simens Liu, Gregor P. Henze, Experimental analysis of simulated reinforcement learning control for active and passive building thermal storage inventory Part I. Theoretical foundation. Energy and Buildings 38 (2006) 142-147

[7] Simens Liu, Gregor P. Henze, Experimental analysis of simulated reinforcement learning control for active and passive building thermal storage inventory Part II. Result and analysis. Energy and Buildings 38 (2006) 148-161

[8] Sutton RS, Barto AG. Reinforcement learning: an introduction. Cambridge, MA: MIT Press; 1998.

[9] JA Clarke, Energy Simulation in Building Design. Butterworth-Heinemann 2001

ARTIFICIAL INTELLIGENT METHODS FOR ENERGY MANEGMENT IN BUILDING

SUMMARY

This paper deals with the issue of achieving thermal comfort in buildings with minimal energy consumption. The novel approach to optimal control of building active thermal energy storage has been presented. The proposed building control approach is based on reinforcement learning algorithm. An experimental study was carried out with real meteorological data from a station located in Warszawa-Ursus. 5% improvement of consumed energy cost in comparison to typical ON/OFF strategy has been obtain.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa

Ryszard WNUK, dr inż.

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Zakład Problemów Eko-Budownictwa
ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
e-mail: rwnuk@ippt.gov.pl

MAGAZYNOWANIE CIEPŁA, POZYSKANEGO Z ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO, Z WYKORZYSTANIEM MATERIAŁÓW FAZOWO-ZMIENNYCH, W BUDOWNICTWIE

STRESZCZENIE

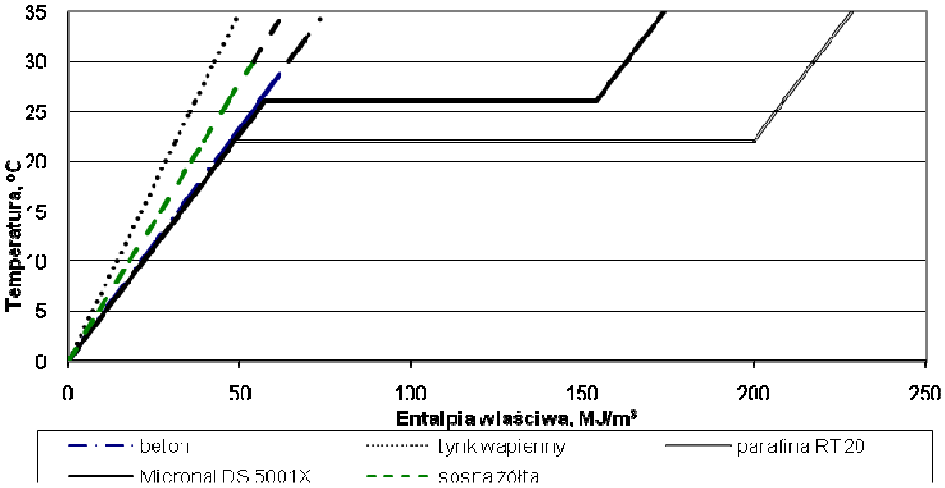
Wskazano na możliwość i zalety wykorzystania w budownictwie materiałów ulegających przemianie fazowej (Phase Change Materials – PCM). Przedstawiono informację o wykonanych w Zakładzie Problemów Eko-Budownictwa modelach fizycznych zasobników ciepła, z handlowym materiałem PCM. Przedstawiono sformułowanie i ogólne rozwiązanie zagadnienia akumulacji ciepła pozyskiwanego z promieniowania słonecznego, w powierzchniowym zasobniku stanowiącym kompozyt materiału budowlanego z równomiernie w nim rozmieszczonymi inkluzjami materiału PCM, zintegrowany z przegrodą budowlaną. Sformułowano równania bilansu energii zasobnika, określono dobowy przebieg jego temperatury i ilości magazynowanego ciepła. Rozpatrzono szczególny przypadek funkcjonowania zasobnika stanowiącego warstwę tynku ścian wewnątrz pomieszczenia, z częściowym wypełnieniem materiałem PCM.

1. WPROWADZENIE

Zastosowanie materiału ulegającego przemianie fazowej w elementach strukturalnych budynków lub w wydzielonych magazynach ciepła jego systemów grzewczych ma na celu znaczące zwiększenie pojemności cieplnej układów magazynujących. Zmniejsza to zapotrzebowanie na energię i moc systemów grzewczych, poprawiając jednocześnie ciepl-

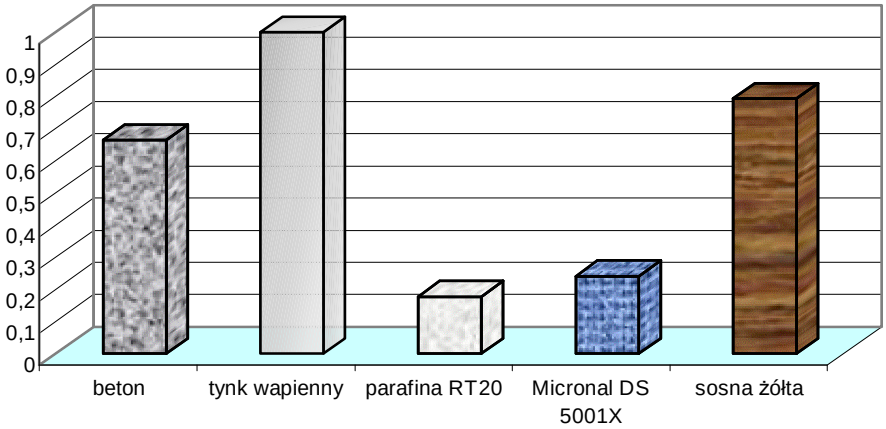
ne właściwości użytkowe budynków. Zwiększenie pojemności cieplnej budynku zwiększa również komfort cieplny pomieszczeń budynku poprzez zmniejszenie wahań temperatury wewnętrznej. PCM wygładza przebieg dobowy temperatury pomieszczeń budynków wywołany zmiennością nasłonecznienia i temperatury zewnętrznej. Dla pewnych materiałów PCM temperatura w jakiej zachodzi przemiana fazowa zmienia się w nieznacznym stopniu, co ułatwia dobór materiału, zapewniający optymalne warunki pracy układu w danym systemie energetycznym. Materiałami fazowo-zmiennymi (organicznymi lub nieorganicznymi) mogą być eutektyki soli, hydraty, woski, parafiny i inne. Dostępność i niski koszt materiałów takich jak woski i parafiny czyni, że coraz częściej znajdują one zastosowanie, w szczególności w niskotemperaturowych systemach energetyki odnawialnej.

Na rys. 1 i 2 porównano zdolność magazynowania energii typowych materiałów budowlanych (beton, tynk wapienny, sosna) i dwóch materiałów PCM: parafiny RT20 [1] o cieple przemiany fazowej C_{PCM}=172 kJ/kg i temperaturze topnienia T_s=22°C oraz Micronalu DS 5001X (C_{PCM}=110 kJ/kg; T_s=26°C).



Rys. 1. Zależność temperatury od entalpii właściwej materiałów budowlanych i PCM
Fig .1. Temperature versus enthalpy for typical building materials and two selected PCM's

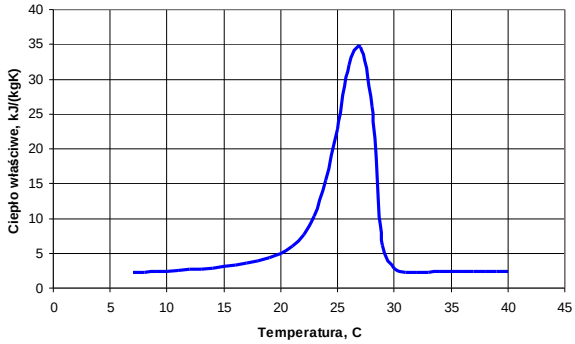
PCM mogą być wykorzystywane w pasywnych systemach grzewczych lub chłodniczych, stanowiąc dodatki do materiałów budowlanych (beton, płytowe okładziny ścienne), stanowiących elementy podłóg, sufitów, ścian. Elementy te mogą bezpośrednio pozyskiwać bezpośrednio energię słoneczną lub energię przekazywaną w drodze konwekcji naturalnej lub wymuszonej. Badania i aplikacje dotyczące sposobu umieszczenia PCM w strukturze budynku idą dwóch kierunkach. Jeden to wprowadzenie PCM zamkniętych w szczelnych pojemnikach np. o polimerowych ściankach, dodawanych do materiałów budowlanych lub o ściankach aluminiowych, stalowych, umieszczonych w odpowiednich miejscach w strukturze budynku. Drugi kierunek to impregnacja materiału PCM w porowate struktury materiałów budowlanych.



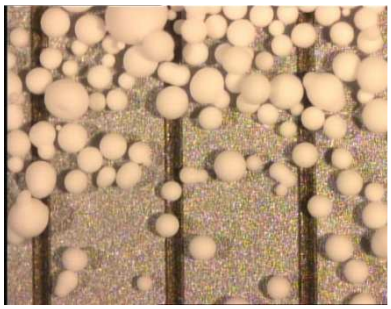
Rys. 2. Porównanie bezwymiarowych grubości materiałów akumulujących jednakowe ilości energii w temperaturze 26°C
Fig.2. Comparison of the thickness of different materials accumulating the same amount of energy at the 26°C

2. WYKONANE MODELE FIZYCZNE ZASOBNIKÓW CIEPŁA Z PCM

W Zakładzie Problemów Eko-Budowictwa IPPT wykonano szereg modeli fizycznych zasobników ciepła z materiałem PCM. Zakupiono dwa rodzaje tego materiału: Micronal DS 5001 X oraz i DS 5008 X (BASF), o wartości ciepła przemiany fazowej 110 kJ/kg oraz temperaturach przemiany fazowej, odpowiednio 26°C i 23°C. Na rys. 3. przedstawiono zależność zastępczego ciepła właściwego Micronalu DS 5008 X, z badań DSC (M. Jaworski, ITC PW). Micronal ma postać proszku zawierającego kule o średnicach 50-200 μm (rys. 4), o powłoce polimerowej, wypełnione materiałem PCM (wosk). W tabeli 1 zestawiono podstawowe dane modeli fizycznych (rys. 5), stanowiących formy wylane po zmieszaniu gipsu lub cementu z Mirconalem DS 5008 X. Model fizyczny o dużym udziale objętościowym PCM w mieszaninie z gipsem (68%) był już. b. kruchy mechanicznie.



Rys. 3. Zastępcze ciepło właściwe - pomiar DSC (szybkość ogrzewania 5 °C/min) Micronal DS 5008 X
Fig.3. Specific heat of Micronal DS 5008



Rys. 4. Zdjęcie materiału PCM pod mikroskopem (skala suwmiarki – 1 mm)
Fig. 4. Microscope photo of PCM

Tabela 1. Zestawienie wykonanych modeli fizycznych zasobników ciepła z PCM
Table 1. Summary of PCM based storage units

Nr	Materiał budowlany	Waga modelu	Udział objętościowy materiału PCM	Udział wagowy materiału PCM	Wymiary długość x szerokość x grubość	Objętość
		g	%	%	mm x mm x mm	dm^3
I	gips	3130	59	35	505x505x15	3,83
II	gips Knauf		50	34	do pomiaru λ	
III	gips Kanuf	4420	33	16	505x505x17	4,34
IV	cement	4934		35	323x3223x40	4,17
V	gips		68	44	model b. kruchy	
VI	gips Knauf	3097	50	34	323x3223x40	4,17
VII	cement	2736	75	47	323x3223x40	4,17
VIII	cement	3178	67	38	323x3223x40	4,17
IX	cement	2798	80	57	323x3223x45	4,69

Rys. 5. Zdjęcia wykonanych modeli zasobników ciepła z PCM
Fig. 5. Photos of PCM based storage units

3. MODELOWANIA FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKA CIEPŁA

3.1 Charakterystyka zasobnika ciepła

Zasobnik o objętości V_a jest elementem przegrody budowlanej i ma formę płyty o powierzchni A_a. Zasobnik ciepła stanowi kompozyt złożony z osnowy (np. tynku), z rozmieszczonym w niej równomiernie materiałem ulegającym przemianie fazowej. Szczególnym przypadkiem zasobnika może być wewnętrzna warstwa ściany. Właściwości fizyczne materiału osnowy są następujące: gęstość ρ_o, ciepło właściwe c_o przewodność cieplna λ_o. Materiał PCM, którego udział objętościowy w kompozycie wynosi φ, charakteryzuje: gęstość ρ_{PCM}, przewodność cieplna λ_{PCM}, ciepło przemiany fazowej C_{PCM}, ciepło właściwe c_{PCM} (założono równe w stanach stałym, ciekłym) oraz temperatura przemiany fazowej T_s. Podstawowe własności cieplne kompozytu określono następująco: gęstość

$\rho_a = \varphi \cdot \rho_{PCM} + (1-\varphi) \cdot \rho_o$; pojemność cieplna $C_a = V[\rho_o(1-\varphi)c_o + \rho_{PCM}\varphi c_{PCM}]$ oraz przewodność cieplna $\lambda_a = \varphi\lambda_{PCM} + (1-\varphi)\lambda_o$.

Powierzchnia czołowa zasobnika wymienia ciepło z wnętrzem pomieszczenia na drodze konwekcji i promieniowania. Powierzchnia ta absorbuje energię promieniowania słonecznego, docierającego przez okna do pomieszczenia, o gęstości J_a i gęstości strumienia $G_a = J_a / t^D$, gdzie t^D jest czasem trwania pory dziennej.

W odniesieniu do płyty o grubości g_a stanowiącej rozważany zasobnik ciepła, dla której współczynnik wymiany ciepła pomiędzy nią, a wnętrzem wynosi α_i, można przyjąć, że jeżeli jest spełnione kryterium małej liczby Biota ($\mathrm{Bi} = \alpha_i g_a / \lambda_a \le 0{,}15$), to rozkład temperatury T_a w obszarze zasobnika (płyty) jest prawie równomierny. Zasobnik jest umieszczony w pomieszczeniu o temperaturze wewnętrznej T_i (różnej w porze nocnej i dziennej).

3.2 Sformułowanie bilansów energii zasobnika i powietrza wewnętrznego

Bilans energii wewnętrznej E_a zasobnika o temperaturze T_a, wynikający z jego napromieniowania energią słoneczną oraz z oddziaływań z powietrzem wewnątrz, ma postać:

$$\frac{\mathrm{d}E_a}{\mathrm{d}t} = A_a G_a - \alpha_i A_a \left(T_a - T_i\right). \tag{1}$$

Dla kompozytowego zasobnika ciepła jego energię wewnętrzną zapisano, za pomocą funkcji Heaviside'a, w postaci:

$$E_a = C_a T_a + V_a \rho_{PCM} C_{PCM} \varphi \left\{[\mathrm{H}(t-t_{s1}) - \mathrm{H}(t-t_{s2})]\mu_s(t) + \mathrm{H}(t-t_{s2})\right\}, \tag{2}$$

gdzie t_{s1} oraz t_{s2} określają czasy odpowiednio początku i końca przemiany fazowej, a wprowadzony parametr funkcyjny $\mu_s(t)$, spełnia następujące warunki początkowe i końcowe: $\left|\mu_s(t)\right|_{t=t_{s1}} = 0$, $\left|\mu_s(t)\right|_{t=t_{s2}} = 1$, w przedziałach czasu topnienia i krzepnięcia materiału.

Podano sformułowanie bilansu energii dla pory dziennej (w porze nocnej funkcjonowania zasobnika G_a=0). W zależności od stanu materiału PCM, rozróżniono trzy etapy stanu ładowania: (i) przyrost temperatury zasobnika, a więc materiału PCM pozostającego w stanie stałym i osnowy (przy założeniu, że temperatury te są równe), od temperatury początkowej T_a^0 do temperatury przemiany fazowej T_s, (ii) proces przemiany fazowej, zachodzący w przedziale czasu $\Delta t_s = t_{s2} - t_{s1}$ (iii) dalszy przyrost temperatury magazynu (od temperatury T_s), w etapie którym PCM jest w stanie ciekłym.

Rozwiązanie dla stałej temperatury powietrza T_i [2, 3]

Dla etapu (i) równanie bilansu energii zasobnika $C_a \frac{\mathrm{d}T_a}{\mathrm{d}t} = A_a G_a - \alpha_i A_a \left(T_a - T_i\right)$, zapisano jako $\frac{\mathrm{d}T_a}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau} T_a = q$, gdzie stała czasowa $\tau = \frac{C_a}{\alpha_i A_a}$, a wielkość $q = \frac{T_i}{\tau} + \frac{G_a}{C_a}$. Czas t_{s1}, po którym magazyn osiągnie temperaturę przemiany fazowej T_s wyniesie

$$t_{s1} = -\tau \cdot \ln\left(\frac{T_s - q\cdot\tau}{T_a^0 - q\cdot\tau}\right), \tag{3}$$

a energia zmagazynowana w tym etapie

$$Q_{s1} = A_a G_a t_{s1} + \alpha_i A_a \left\{ T_i t_{s1} - \left[q\tau t_{s1} - \tau\left(T_a^0 - q\tau\right)\left(e^{\frac{-t_{s1}}{\tau}} - 1\right)\right]\right\}. \tag{4}$$

W etapie (ii) następuje przemiana fazowa materiału PCM, przy stałej temperaturze magazynu $T_a = T_s$. Bilans energii zasobnika (1), ma postać

$$\rho_{PCM} V_{PCM} \frac{\mathrm{d}\mu_s}{\mathrm{d}t} = A_a G_a - \alpha_i A_a \left(T_s - T_i\right). \tag{5}$$

Czas przemiany fazowej $\Delta t_s = t_{s2} - t_{s1}$, w czasie którego cały materiał PCM ulegnie stopieniu, wynosi $\Delta t_s = \dfrac{\rho_{PCM} V_{PCM} C_{PCM}}{A_a G_a - \alpha_i A_a \left(T_s - T_i\right)}$, a zmagazynowana w tym etapie energia

$$Q_{s2} = A_a G_a t_{s2} - \alpha_i A_a \left(T_s - T_i\right) t_{s2} = \rho_{PCM} V_{PCM} C_{PCM}. \tag{6}$$

Sformułowanie i rozwiązanie bilansu energii dla etapu (iii) jest takie same jak dla etapu (i), a początkowa temperatura magazynu wynosi T_a^{s2}.

Sformułowanie zagadnienia funkcjonowania magazynu, przy zmiennej temperaturze powietrza T_i wewnątrz pomieszczenia

Bilans energii powietrza wewnątrz pomieszczenia, wymieniającego energię z zasobnikiem, przy pominięciu innych oddziaływań, zapisano:

$$\frac{\mathrm{d}E_i}{\mathrm{d}t} = C_i \frac{\mathrm{d}T_i}{\mathrm{d}t} = \alpha_i A_a \left(T_a - T_i\right), \tag{7}$$

gdzie C_i jest pojemnością cieplną powietrza wewnątrz pomieszczenia budynku, z powierzchniowym zasobnikiem ciepła.

Dla etapów (i) i (iii), przy braku przemiany fazowej materiału PCM, układ równań (1) i (7), sprowadzono do równania różniczkowego rzędu II, względem temperatury powietrza wewnątrz pomieszczenia postaci:

$$\frac{\mathrm{d}^2 T_i}{\mathrm{d}t^2} + \left(\alpha_i A_a \frac{C_a + C_i}{C_i C_a}\right)\frac{\mathrm{d}T_i}{\mathrm{d}t} - \frac{\alpha_i A_a^2 G_a}{C_i C_a} = 0, \tag{8}$$

przy warunkach początkowych: dla $t = 0, T_a = T_a^0, T_i^d = T_i^0$.

Rozwiązując powyższe, otrzymano wyrażenie na temperaturę zasobnika T_a:

$$\begin{aligned} T_a = {} & T_a^0 - \frac{C_i}{\left(C_a + C_i\right)}\left(T_a^0 - T_i^0\right) + \frac{C_i^2 G_a}{\alpha_i \left(C_a + C_i\right)^2} + \\ & + \left[\frac{A_a G_a}{C_a} - \frac{A_a C_i G_a}{C_a\left(C_a + C_i\right)}\right] t + \frac{C_i^2}{\alpha_i \left(C_a + C_i\right)}\left[\frac{\alpha_i}{C_i}\left(T_a^0 - T_i^0\right) - \frac{G_a}{C_a + C_i}\right] e^{-\alpha_i A_a \frac{C_a + C_i}{C_i C_a} t} \end{aligned}. \tag{9}$$

Wyrażenie na temperaturę powierza wewnątrz pomieszczenia jest następujące:

$$T_i = \frac{C_a T_a^0 + C_i T_i^0}{\left(C_a + C_i\right)} - \frac{C_a C_i G_a}{\alpha_i \left(C_a + C_i\right)^2} + \frac{A_a G_a}{\left(C_a + C_i\right)} t + \left[-T_i^0 + \frac{C_a T_a^0 + C_i T_i^0}{\left(C_a + C_i\right)} - \frac{C_a C_i G_a}{\alpha_i \left(C_a + C_i\right)^2} \right] e^{-\frac{\alpha_i A_a \left(C_a + C_i\right)}{C_a C_i} t} . \quad (10)$$

Podczas przemiany fazowej, etap (ii), rozwiązaniem równania (7) jest zależność $T_i = T_s + (T_i^{s1} - T_s) e^{-\frac{\alpha_i A_a}{C_i} t}$, która po wstawieniu do bilansu energii zasobnika (5) daje równanie przestępne pozwalające na obliczenie czasu przemiany fazowej Δt_s.

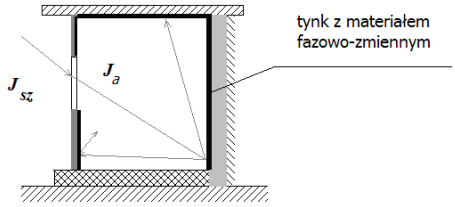
$$\rho_{PCM} V_{PCM} C_{PCM} = C_i (T_i^{s1} - T_s) + A_a G_a \Delta t_s - C_i (T_i^{s1} - T_s) e^{-\frac{\alpha_i A_a}{C_i} \Delta t_s} . \quad (11)$$

4. PRZYKŁAD LICZBOWY

W przykładzie liczbowym przyjęto, że materiał PCM stanowi wierzchnią warstwę wszystkich ścian w pomieszczeniu i sufitu.

Przyjęto następujące charakterystyki strukturalne i termofizyczne zasobnika:

- osnowę zasobnika stanowi tynk wapienny: c_o=840 J/(kg·K), ρ_o=1700 kg/m^3, λ_o=0,7 W/(m·K);
- udział objętościowy PCM (Micronal DS 5008 X) w mieszaninie φ=0,5;
- grubość płyty zasobnika g_a=0,0085 m, objętość V_a=0,67745 m^3, powierzchnia A_a=79,7 m^2, szyb 7,5 m^2.



Rys. 6. Zasobnik ciepła z PCM stanowiący wierzchnią warstwę ścian i sufitu
Fig. 6. PCM based storage unit as a layer of walls and ceiling

Przy stałej temperaturze powietrza wewnętrznego T_i, z równania (3) wynika, że warunkiem osiągnięcia przez magazyn temperatury przemiany fazowej T_s=23°C, jest spełnienie nierówności $G_a > \alpha_i \left(T_s - T_i\right)$. Wartości parametru G_a/α_i, opisującego warunki zewnętrzne funkcjonowania magazynu, dla zadanych wielkości powierzchni szyb, ich przepuszczalności promieniowania słonecznego 0,6, zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości parametru G_a/α_i w przykładzie liczbowym
Table 2. The parameter G_a/α_i values for considered case

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI
Średnie dzienne napromieniowanie płaszczyzny pionowej (okna) [kJ/m^2]	3330	4492	7828	7776	7875	8165
	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	8165	8105	8862	8766	6345	2889
$\frac{G_a}{\alpha_i}$ [deg]	I	II	III	IV	V	VI
	0,32	0,43	0,74	0,74	0,75	0,78
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	0,77	0,84	0,83	0,60	0,27	0,23

Wielkość G_a/α_i określa maksymalną wartość różnicy temperatur pomiędzy temperaturą przemiany fazowej T_s materiału PCM, a stałą temperaturą powietrza wewnątrz T_i, przy której temperatura magazynu T_a osiąga w ogóle temperaturę przemiany fazowej. Rozpatrywany magazyn z Micronalem DS 5008 X, przy systemie regulacji utrzymującej stałą temperaturę powietrza 20°C, nie osiągnie w żadnym miesiącu roku temperatury T_s .

W przypadku zmiennej temperatury powietrza w pomieszczeniu, wynikającej z oddziaływania z zasobnikiem, rozpatrzono funkcjonowanie zasobnika w porze dziennej średniego dnia sezonu zimowego i średniego dnia sezonu letniego. Przyjęto średnią dla 6 miesięcy sezonu grzewczego wartość napromieniowania powierzchni pionowej skierowanej $4{,}548 \cdot 10^6$ J/m^2. Po upływie 2,35 h, zasobnik osiąga temperaturę 23°C, a powietrze 22,95°C. W dalszej części pory dziennej następuje przemiana fazowa, a stopień jej realizacji wynosi 49,64%, co pozwala na zakumulowanie 16.276 kJ energii. Przyjęto średnią dla 6 miesięcy sezonu letniego wartość napromieniowania powierzchni pionowej skierowanej na południe $8{,}258 \cdot 10^6$ J/m^2. Po upływie 1,29 h, zasobnika osiąga temperaturę 23°C, a powietrze 22,91°C. Do końca dnia przebiega w pełni przemiana fazowa, stabilizując temperaturę powietrza wewnętrznego na poziomie 23°C.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiony model funkcjonowania zasobnika ciepła wraz z analitycznym rozwiązaniem stanowić może narzędzie wstępnej oceny przydatności rozważanych magazynów ciepła, z materiałami PCM, szczególnie w odniesieniu do zastosowań w niskoenergetycznych budynkach. Wykonanie próbek fizycznych zasobników, przyniosło doświadczenia praktyczne, a one same będą wykorzystane do weryfikacji przyjętych w modelowaniu funkcjonowania zasobnika założeń.

6. LITERATURA

[1] Sharma S.H., Kitano H., Sagara K., Phase Change Materials for Low Temperature Solar Thermal Applications, Res. Rep. Fac. Eng. Mie Univ., Vol. 29, 2004.

[2] Wnuk R., *Modelowanie funkcjonowania magazynu ciepła, z materiałem fazowo-zmiennym, zintegrowanego z przegrodą budowlana*, XIII Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2007.

[3] Wnuk R., *Powierzchniowy magazyn ciepła, z materiałami fazowo-zmiennymi, budynku energooszczędnego – modelowanie i analiza funkcjonowania*, Politechnika Warszawska Prace Naukowe, Zeszyt 25, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.

HEAT STORAGE IN BUILDINGS UTILISING PHASE CHANGE MATERIALS

SUMMARY

The PCM based storage units (in forms of rectangular prisms) have been done. Integrated to internal wall storage unit absorbs solar radiation during daytime and releases the heat at night. The features of storage unit and its thermal characteristics are described. The basic conservation equations of storage unit and internal air are presented and solved. The calculations for case study were performed.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach tematu „Nowe ekologiczne i bezpieczne technologie w wytwarzaniu i konwersji energii”.