

Marek HAJTO, mgr inż.

Wojciech GÓRECKI, prof. dr hab. inż.

Akademia Górniczo-Hutnicza
Katedra Surowców Energetycznych
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: mhajto@agh.edu.pl

MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA WÓD TERMALNYCH W REJONIE POWIATU GORLICKIEGO

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki opracowania pt. „Studium opłacalności ekonomicznej inwestycji związanej z pozyskaniem energii geotermalnej dla celów ciepłowniczych oraz rekreacyjnych z otworów wiertniczych istniejących na terenie miasta Gorlice oraz gmin: Ropa, Biecz, Moszczenica i Sękowa”. Projekt powstał z inicjatywy Starostwa Powiatowego w Gorlicach i został zrealizowany przez ZSTG „GEOS”¹ w Krakowie, w grudniu 2009 roku.

Projekt miał za zadanie stwierdzić, czy w rejonie powiatu gorlickiego występują wody termalne oraz zbadać możliwości zagospodarowania tych wód. W artykule opisano tło geologiczne warunkujące możliwości występowania wód termalnych w rejonie Gorlic. W artykule przedstawiono wyniki analiz możliwości wykorzystania zlikwidowanych otworów wiertniczych oraz kosztów ich rekonstrukcji i adaptacji do celów eksploatacji wód termalnych. Przedstawiono najbardziej optymalne kierunki zagospodarowania wód termalnych, z uwzględnieniem specyfiki lokalnego rynku ciepłowniczego w obrębie poszczególnych gmin powiatu. Sprecyzowano beneficjentów potencjalnego projektu, dokonano wstępnej oceny ekonomicznej przedsięwzięcia i udokumentowano zasadność podjęcia inwestycji z wykorzystaniem wód termalnych w rejonie poszczególnych gmin powiatu.

1. WPROWADZENIE

Jak wskazują dane Departamentu Geologii i Koncesji Geologicznych Ministerstwa Środowiska (www.mos.gov.pl), wg stanu na 01.03.2010 udzielono 20 koncesji na poszukiwanie i/lub rozpoznanie złóż wód termalnych oraz 8 koncesji na wydobycie złóż

¹ ZSTG "GEOS" – Zespół Specjalistów Towarzystwa Geosynoptyków „GEOS” al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, www.geos.agh.edu.pl

tych wód w Polsce. Do końca 2009 roku funkcjonowało zasadniczo pięć instalacji geotermalnych, nie licząc niewielkich instalacji geotermalnych pracujących m.in. w zakładach balneologicznych. Sumaryczna zainstalowana moc bloków geotermalnych sięgała 44,8 MWt [8]. Cztery z pięciu funkcjonujących instalacji zlokalizowane są w centralnej oraz północno-zachodniej części Niżu Polskiego, a mianowicie w: Pyrzycach (1977), Mszczonowie (1999), Uniejowie (2001), Stargardzie Szczecińskim (2005). Jediną instalacją geotermalną funkcjonującą w rejonie karpackim jest instalacja na Podhalu, gdzie zainstalowana moc cieplna wymienników geotermalnych wynosi ok. 15,5 MWt. Instalacja na Podhalu funkcjonuje od 1993 r. i zaopatruje w ciepło odbiorców w Zakopanem, Bańskiej, Białym Dunajcu i Poroninie.

Rejon karpacki uważany jest za światową kolebkę przemysłu naftowego. Pierwsza polska kopalnia ropy powstała w 1854 r. z inicjatywy Ignacego Łukasiewicza w Bóbrce koło Krosna. Jedną z najstarszych rafinerii na świecie z 1884 znajduje się w Gorlicach. Zapisy dotyczące wykorzystania ropy naftowej datowane są na XIII, XIV wiek. Na terenach Ziemi Gorlickiej początki wykorzystania datowane są na XVI wiek.

Intensywny rozwój przemysłu naftowego w rejonie Gorlic pozwolił na zebranie obfitego materiału badawczego i dokumentacyjnego dotyczącego rozpoznania budowy geologicznej, który stanowi źródło informacji do celów poszukiwań wód termalnych w tym rejonie.

Z punktu widzenia hydrogeologii występowanie wody w profilu geologicznym jest zjawiskiem powszechnym. Wody złożowe o zmiennej mineralizacji i zróżnicowanych temperaturach towarzyszą występowaniu złóż węglowodorów jako wody okalające, bądź wody podścielające. Występowanie wód stwierdzone licznymi wierceniami naftowymi w rejonie Gorlic stwarza przesłanki, iż w głębokim profilu geologicznym mogą występować wody termalne, których wykorzystanie może być opłacalne do celów grzewczych i/lub balneoterapeutycznych i rekreacyjnych.

2. POTENCJAŁ ENERGII GEOTERMALNEJ KARPAT I ZAPADLIKA PRZEDKARPACKIEGO

Analizując rozpoznanie geologiczne, hydrogeologiczne i termiczne obszaru karpackiego należy stwierdzić, że rejon Karpat jest obszarem relatywnie słabo rozpoznany. W odróżnieniu od licznych prac badawczych i opracowań dotyczących warunków występowania i możliwości zagospodarowania wód termalnych w rejonie Polski niżowej, w tym dwa syntetyczne opracowania [3], [4], literatura dotycząca warunków występowania i możliwości zagospodarowania wód termalnych w rejonie karpackim jest zdecydowanie uboższa. Wynika to m.in. ze skomplikowanej, płaszczowinowo-nasuwczej budowy geologicznej oraz nieregularnego rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego rejonu karpackiego. W niektórych strefach brak podstawowych informacji dot. warunków występowania wód termalnych w głębokich strukturach fliszu wynika również ze słabego rozpoznania wiertniczego. Relatywnie dobrze rozpoznane strefy powiązane są z rejonami występowania złóż ropy i/lub gazu ziemnego, gdzie zlokalizowano szereg otworów wiertniczych, w tym również badawczych.

Dynamiczny rozwój badań dot. wód termalnych w rejonie karpackim nastąpił w latach 90. XX w. (np.: [5]-[6], [9]-[14], [17]-[20]). W znaczącej części badania dotyczą

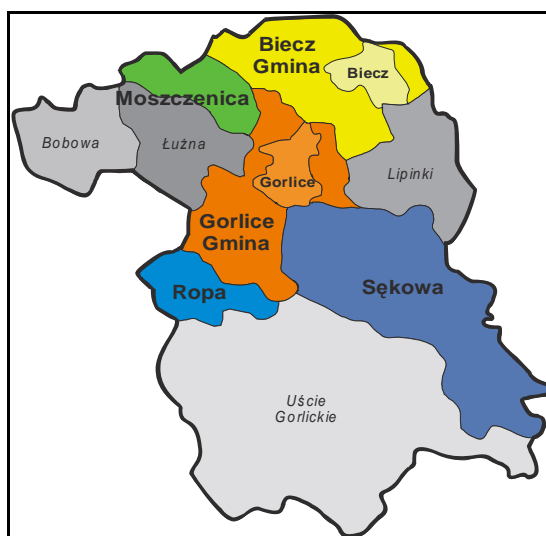
jednakże warunków występowania i możliwości zagospodarowania wód termalnych w rejonie Karpat wewnętrznych, a w szczególności w rejonie basenu niecki podhalańskiej.

Najkorzystniejsze warunki eksploatacji wód geotermalnych do celów energetycznych w rejonie Karpat istnieją, wg Ney'a w karpackim subbasenie podhalańskim [25]. Występują tam wody geotermalne o temperaturze od 35 do 120°C, o niskiej mineralizacji i ciśnieniu artezyjskim. Objętość tych wód Sokołowski szacuje na ponad 10 km³, a zasoby statyczne energii w nich zawartej są równoważne 40·10⁶ toe [1].

W basenach Karpat Polskich znajduje się wg Sokołowskiego około 100 km³ wód geotermalnych zawierających zasoby energii równoważne 180·10⁶ toe.

3. POŁOŻENIE GEOGRAFICZNE I OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GEOGRAFICZNA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań zlokalizowany jest w południowo-wschodnim krańcu województwa małopolskiego, w powiecie gorlickim i obejmuje miasto Gorlice oraz gminy: Ropa, Biecz, Moszczenica i Sękowa (Rys. 1).



Rys. 1. Podział administracyjny powiatu gorlickiego (kolorami zaznaczono gminy objęte opracowaniem)

Fig. 1. Division of the Gorlice district (with colours communes provided by the project)

Gorlice położone są na pograniczu dwóch jednostek fizjograficznych, tj. Pogórza Karpackiego (Ciężkowickiego) i Beskidu Niskiego, w dolinie zwanej „obniżeniem Gorlic”, które należy do tzw. Dołów Jasielsko-Sanockich ciągnących się od Łużnej na zachodzie po Sanok na wschodzie. Wody powierzchniowe rejonu Gorlic oraz gmin Biecz, Moszczenica, Ropa i Sękowa należą do dorzecza Ropy, która jest największą rzeką w tym rejonie.

4. OBECNY STAN ZAGOSPODAROWANIA WÓD WGLĘBNYCH W REJONIE POWIATU GORLICKIEGO

Obecne wykorzystanie wód wglębnych, w tym głównie mineralnych w rejonie powiatu gorlickiego jest ograniczone do dwóch lokalizacji.

W gminie Uście Gorlickie, położonej na południe od badanego obszaru w rejonie Wysowej, występują wody zaliczane są do drugiej strefy hydrochemicznej karpackich prowincji wód mineralnych. Wydajność ujęć wynosi od 0,06 m³/h do 9,0 m³/h, a głębokość waha się od 6 do 100 m. Wody mineralne występujące w tym rejonie należą do szczaw alkalicznych nasyconych wolnym dwutlenkiem węgla (szczawy wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowe), o dużej różnorodności pierwiastków śladowych.

Poza wodami mineralnymi w powiecie gorlickim występują również słabo zmineralizowane wody swoiste, uznawane za wody lecznicze. Ich eksploatację prowadzi Uzdrowisko „Wapienne”, zlokalizowane w gminie Sękowa. Naturalne środki lecznicze to słabo zmineralizowane wody siarczkowe z dużą zawartością pierwiastków śladowych - używane do kąpieli oraz wysokiej jakości borowina - stosowana do okładów borowinowych. Wg autorów [26] Uzdrowisko „Wapienne” wykorzystuje cztery ujęcia wody leczniczej, o łącznej wielkości udokumentowanych zasobów 2,92 m³/h. Generalnie wody lecznicze ujmowane w uzdrowisku Wapienne są wodami słabo zmineralizowanymi, typu HCO₃–(SO₄)–Ca–(Mg)–(Na), zawierającymi składnik swoisty – H₂S (0,5÷10,5 mg/dm³), o mineralizacji 0,2÷0,53 g/dm³ [26].

Poza w/w. lokalizacjami, w których wykorzystuje się wody mineralne i swoiste, w powiecie gorlickim dotychczasowo nie stwierdzono występowania wód termalnych.

5. GEOLOGICZNE ROZPOZNANIE REJONU GORLIC

Z punktu widzenia regionalnej budowy geologicznej Polski analizowany obszar położony jest na terenie polskiej części Karpat Zewnętrznych (zwanych fliszowymi), a dokładniej odpowiada on południowo-zachodniemu obrzeżeniu tzw. „centralnej depresji karpackiej”. Utwory zaliczane do fliszu karpackiego reprezentowane są przez osady kredy górnej i środkowej oraz osady trzeciorzędu.

Obszar ten skupia w swych granicach część jednostki (płaszczowiny) śląskiej i magurskiej, czyli karpackich jednostek tektonicznych wyższego rzędu, sfałdowanych i ponasuwanych na siebie (patrząc od południa) w układzie: jednostka magurska na śląską. Profile wierceń mogą zatem przedstawiać powtarzanie sekwencji budujących je utworów (wieku od górnej kredy aż po oligocen), co dodatkowo komplikuje koncepcje poszukiwawcze. Analizowany obszar zlokalizowany jest w strefie przejściowej pomiędzy dwiema odmiennymi jednostkami: śląską i magurską, co ma decydujący wpływ na rozwój i dystrybucję facji, w tym facji zbiornikowych dla wód termalnych w rejonie Gorlic.

W rejonie powiatu gorlickiego zlokalizowano 6 złóż gazu ziemnego (Biecz, Bednarka, Gorlice, Gorlice-Glinik, Szalowa, Strzeszyn) oraz 9 złóż ropy naftowej (Biecz, Gorlice, Dominikowice-Kobylanka-Kryg-Libusza-Lipinki, Kryg-Libusza-Lipinki, Fellnerówka-Hanka, Magdalena, Męcina Wielka, Siary-Sękowa-Ropica Górna i Szymbark). Eksploatacja złóż: Męcina Wielka, Siary-Sękowa-Ropica Górna i Szymbark została już zakończona.

Na obszarze powiatu gorlickiego wykonano w sumie 2731 odwiertów (w tym część kopaną ręcznie) w przeważającej części w latach 1870 – 1945 . Większość z nich została zlikwidowana przed 1945 r. Według stanu na dzień 30 listopada 2002 r. oddział SZG NiG na terenie powiatu gorlickiego posiadał 423 odwierty i 318 zinwentaryzowanych kopanek.

Aktualnie eksploatacja ropy naftowej i gazu ziemnego prowadzona jest 398 odwiertami a 25 otworów jest zastawionych (czasowo lub trwale wyłączonych z eksploatacji). Według danych PGNiG w roku 2002 oddział SZG NiG odwiertami wydobyl 4922,3 Mg ropy naftowej i 2,642 mln m³ gazu ziemnego.



Rys. 2. Wycinek mapy sytuacyjno-wysokościowej rejonu Gorlic, z lokalizacją głębokich otworów wiertniczych oraz liniami przekrojów geologicznych (na czerwono zaznaczono otw. wytypowane do rekonstrukcji, Moszczenica GT-1 – projektowany otwór geotermalny)

Fig. 2. Topographic sector map of Gorlice area with location of deep boreholes and geological cross-section lines (boreholes selected for reconstruction are marked in red, Moszczenica GT-1 – designed geothermal borehole)

Głębokie wiercenia w omawianym obszarze rozpoczęto dopiero w latach siedemdziesiątych. W roku 1972 Konarski opracował w oparciu o badania sejsmiczne projekt badań geologicznych głębokich wierceń w rejonie Gorlic [11].

Poszukiwania złóż węglowodorów na terenie powiatu gorlickiego prowadzi Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A. oddział Sanocki Zakład Górnictwa Nafty i Gazu.

6. CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA - IDENTYFIKACJA POTENCJALNYCH ZBIORNIKÓW WÓD TERMALNYCH W WYBRANYCH OTWORACH WIERTNICZYCH REJONU GORLIC

Parametry hydrogeologiczne fliszu Karpat zewnętrznych są zdecydowanie odmienne od parametrów utworów budujących nieckę podhalańską. Wody termalne na tym obszarze są rozpoznane punktowo, a skomplikowana budowa geologiczna ogranicza uzyskanie większych wydajności. Występują one w zbiornikach zamkniętych i dlatego ich zasoby są ograniczone [15]. Z dotychczasowych badań wynika, że flisz zewnętrzno-karpacki jest mało perspektywnym kolektorem dla uzyskania wód termalnych w znaczących ilościach [19]. Stosunkowo korzystne warunki panują w rejonie Poręby Wielkiej, gdzie uzyskano z pojedynczego ujęcia do 12,1 m³/h wody o mineralizacji 21,8 g/dm³ i temperaturze 42°C na wypływie. Godny uwagi jest również rejon Wiśniowej koło Strzyżowa, gdzie na początku lat 90 – tych XX wieku, nawiercono wody termalne o temp. 84°C i mineralizacji ok. 7,0 g/dm³ [7].

W rejonie karpackim można wydzielić dwa zasadnicze piętra wodonośne, a mianowicie: piętro wodonośne związane z utworami czwartorzędowymi oraz piętro wodonośne w utworach fliszowych (Ng, Ng-Cr).

Poziom wodonośny zlokalizowany w utworach czwartorzędowych, ze względu na niskie temperatury wód, jest mało perspektywiczne z punktu widzenia geotermii.

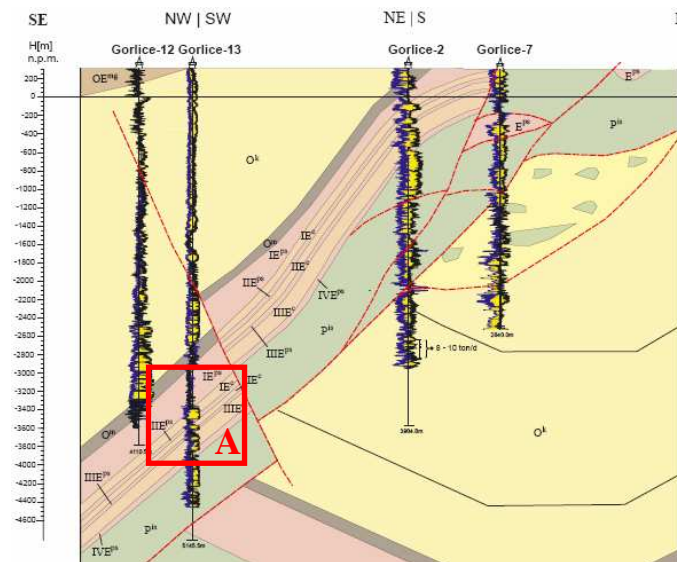
Piętro wodonośne w utworach fliszowych związane jest z utworami wieku Ng, Ng-Cr i występuje na całym rozpatrywanym obszarze, w obrębie płaszczowiny magurskiej - w okolicach Ropy i Uścia Gorlickiego oraz jednostki śląskiej (n N od Gorlic). Utwory kredy i neogenu są silnie zaangażowane tektonicznie (Rys. 3) i dlatego odrębność hydrogeologiczna tych różnych wiekowo utworów zwykle nie występuje.

Tworzą one specyficzny zespół warstw wodonośnych i w związku z tym są charakteryzowane wspólnie [23]. Ze względu na skomplikowaną tektonikę, skały fliszowe tworzą lokalne zbiorniki wód podziemnych typu szczelinowego lub szczelinowo-porowego. Wodonośność skał fliszowych w głównej mierze związana jest z ich szczelinowatością.

W nierozdzielnych utworach neogeńsko-kredowych (Ng-Cr) poziom wodonośny związany jest przede wszystkim z *warstwami istebniańskimi i ropiańskim* (Rys. 3). Natomiast w utworach neogeńskich poziom wodonośny występuje w obrębie *warstw menilitowych*, oraz w obrębie *warstw krośnieńskich* dolnych z przewagą facji piaszczystej. Za rejon pozbawiony użytkowego piętra wodonośnego uznaje się obszary występowania warstw hieroglifowych, łupków pstrych, warstw belowskich oraz pstrych iłów.

Poziom wodonośny w utworach fliszu zasilany jest na drodze infiltracji opadów atmosferycznych, bezpośrednio – na wychodniach, lub pośrednio – poprzez poziom czwartorzędowy, a także przez infiltrację wód powierzchniowych oraz dopływ z podłoża.

Współczynniki filtracji utworów fliszu karpackiego, określone na podstawie wydajności studni, zasadniczo mieszczą się w przedziale 10⁻⁶ do 10⁻⁵ m/s. W skrajnych przypadkach współczynniki filtracji osiągają rząd wielkości 10⁻⁸ do 10⁻⁷ m/s, ale również, sporadycznie, nawet 10⁻⁴ m/s.



Rys. 3. Przekrój geologiczny I-I

(OE^{mg} - w-wy. magurskie, O^k - w-wy krosnieńskie(nierozdzielone), O^m - w-wy. menilitowe, E^{ps} - łupki pstre (poz. I, II, III, IV), P^{is} - w-wy. istebniańskie górne, A-zbiornik wód termalnych)

Fig. 3. Geological Cross-section I-I

(OE^{mg} – Magura Beds, O^k – Krosno Beds (unseparated), O^m – Menilite Beds, E^{ps} – colorful shales (I, II, III, IV), P^{is} – Upper Istebna Beds, A-thermal aquifer)

6.1. Chemizm wód w utworach fliszowych rejonu Gorlic

Pomimo względnie dobrego rozpoznania otworowego obszaru badań, zebrane informacje dotyczą parametrów hydrochemicznych nawierconych poziomów solankowych są bardzo skąpe, a większości przeanalizowanej dokumentacji otworowej w ogóle nie występują. Celem wykonywanych otworów było rozpoznanie utworów fliszowych oraz udostępnienie perspektywicznych struktur akumulacji ropy i/lub gazu. Podczas wykonywania wierceń zlokalizowane warstwy wodonośne były izolowane hydraulicznie, a horyzont odznaczano jako „nieperspektywiczny”. Wyniki opróbowania horyzontów dostarczają jedynie fragmentarycznego materiału dokumentacyjnego w rozumieniu potrzeb poszukiwawczych za wodami termalnymi. Poza nielicznymi wyjątkami brak wyników analizy wód złożowych, pomiarów temperatur, etc.

Analiza materiałów dokumentujących złoża węglowodorów w rejonie Gorlic pozwoliła na zestawienie informacji dot. chemizmu wód złożowych występujących w interwałach opróbowania w otworach: Strzeszyn 2, Gorlice 8 oraz szczerzątkowo w otworze Gorlice 18. W otworze Strzeszyn 2 opróbowano dwa poziomy zbiornikowe p-ców. ciężkowickich oraz czarnorzeckich. Analizy wód złożowych wskazują, że występują tam wody średnio zmineralizowane, typu: chlorkowo – kwaśno węglanowo – sodowego, a genetycznie typu: węglanowo – sodowego. Obecność jonów CO_3^{++} wskazuje, że woda

została skażona filtratem płuczki. Brak analiz składu hydrochemicznego uniemożliwia niestety wykonanie rzetelnej analizy przydatności tych wód do celów balneoterapeutycznych.

Ogólnie w części zewnętrznej masywu karpackiego wody z utworów fliszowych mają charakter $\text{HCO}_3\text{--Ca}$, $\text{HCO}_3\text{--Ca--Na}$, $\text{HCO}_3\text{--Na--Ca}$, $\text{HCO}_3\text{--Ca--Mg}$, $\text{HCO}_3\text{--Ca--Na--Mg}$, $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Cl--Ca--Mg}$ [23]. Wody wgłębne występujące w *warstwach istebniańskich* omawianego obszaru reprezentowane są przez wody słodkie i zmineralizowane [2]. Wody słodkie występują w rejonie zlokalizowanym na południe i południowy-zachód od Gorlic, infiltrując wgłęb odsłoniętymi poziomami piaskowcowymi (*w-w. ciężkowickich i istebniańskich*) przekrój. I-I (Rys. 3), względnie strefami dyslokacyjnymi. W rejonie Gorlic wody zmineralizowane występują w południowej części, jako „wody okalające” złoża naftowe, a w partii osiowej strefy Gorlic jako „wody podście-lające”. Solanki należą do słabo zmineralizowanych wód o stosunkowo dużej zawartości węglanu sodu (Na_2CO_3) [2].

W piaskowcach *ciężkowickich* podobnie występują wody słodkie tam, gdzie kontaktują się z powierzchnią. W strefach przydyslokacyjnych, mimo braku kontaktu piaskowca z powierzchnią, także zostały stwierdzone wody słodkie. Solanki występujące w piaskowcach *ciężkowickich* nie wykazują większego zróżnicowania. Wody te są mało zasolone i należą do solanek typu alkalicznych-jodkowo-chlorkowych. Różnią się zdecydowanie swoim charakterem od wód występujących w *warstwach istebniańskich*.

6.2. Przewidywane wydajności ujęć wód termalnych

Analiza dostępnego materiału faktograficznego z zakresu budowy geologicznej i hydrogeologicznej rejonu Gorlic uzupełniona analizą wyników opróbowań i innych danych zebranych podczas wiercenia nie dostarcza wystarczających informacji na temat potencjalnych wydajności ujęć wód w wytypowanych horyzontach zbiornikowych. Analiza obróbowań wierceń, wykonanych w trakcie pogłębiania poszczególnych otworów, dostarcza bardzo skąpego materiału do interpretacji wielkości przypiływów wód termalnych. Wielkości przypiływów są zwykle niewielkie, rzędu $0, \text{X m}^3/\text{h}$.

W celu oszacowania wydajności ujęć wód posłużono się wzorami klasycznej hydrogeologii stosowanymi w podstawach obliczeń filtracji wód podziemnych dla dopływu do pojedynczej studni zupełnej i niezupełnej w ustalonych warunkach filtracji, wg schematu Dupuita. [21]. Wyniki kalkulacji przewidywanych wydajności ujęć wód są ściśle uzależnione od przyjętych parametrów eksploatacji studni, a przede wszystkim od długości i średnicy filtru eksploatacyjnego oraz założonej wielkości depresji eksploatacyjnej.

W celu dokonania obliczeń przyjęto parametry współczynnika przepuszczalności (kp) dla poszczególnych warstw wodonośnych. Analiza rozkładu wielkości porowatości i współczynników przepuszczalności w profilu pionowym wskazuje, że wielkości te są uzależnione od głębokości pograżenia zbiorników. Im głębiej - tym słabsze parametry zbiornikowe. Najlepszymi parametrami zbiornikowymi, porowatościami ok. 16% i przepuszczalnościami rzędu $100\div 200 \text{ mD}$, charakteryzują się piaskowce *ciężkowickie*, *istebniańskie* (*czarnorzeckie*) oraz *cergowskie*, które występują na gł. do 500 m ppt. Z głębokością parametry zbiornikowe ulegają pogorszeniu, i tak na gł. poniżej 100 m ppt.

porowatość i przepuszczalność spadają odpowiednio poniżej ok. 7% i nawet poniżej 50 mD (p-ce. *istebniańskie* i *ciężkowickie*).

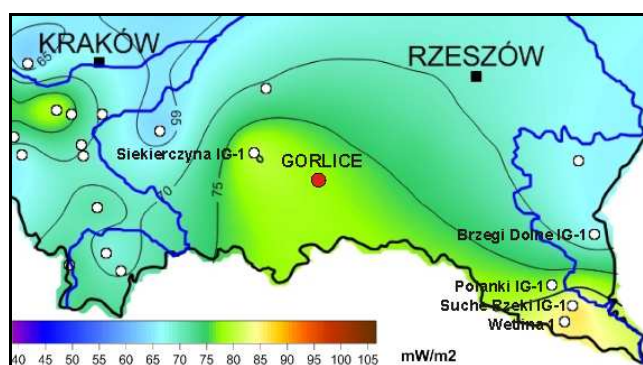
Analiza przewidywanych wydajności ujęć wód termalnych dla poszczególnych otworów rejonu Gorlic wskazuje, że przy zastosowaniu optymalnych warunków eksploatacji wód, tj. przy ujęciu interwału wodonośnego na dł. 100 m (bądź całej miąższości warstwy wodonośnej) oraz przy założonej depresji eksploatacyjnej – 100 m, należy spodziewać się wydajności od ok. 0,06 do ponad 78 m³/h.

W ujęciu regionalnym, ze względu na słabe parametry filtracyjne, utwory w-w. krośnieńskich, mogą stanowić horyzont uszczelniający dla niżej ległych warstw wodonośnych, głównie *ciężkowickich* i *istebniańskich*. Wydajności pozostałych wyselekcjonowanych horyzontów wodonośnych wydają się wystarczające, aby wykorzystać je do celów rekreacyjnych.

7. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA OBSZARU

Obszar Karpat jest relatywnie słabo rozpoznany geotermicznie. Pierwsze pomiary strumienia ciepłego wykonał Plewa [27] dla pojedynczych otworów zlokalizowanych w odmiennych tektonicznie jednostkach karpackich, obejmujących obszar Karpat zachodnich, środkowych i wschodnich.

Najnowsze, syntetyczne opracowanie dot. rozkładu strumienia ciepłego w Polsce [30] pokazuje, że spośród 303 otworów poddanych interpretacji jedynie 5 z nich zlokalizowanych jest w rejonie wschodniej części Karpat. Na tle mapy rozkładu strumienia ciepłego Polski (Rys. 4) obszar Karpat charakteryzuje się stosunkowo niskimi wartościami strumienia. W rejonie centralnej i wschodniej części Karpat lokalnie podwyższone wartości strumienia ciepłego stwierdzono w otworach Siekierczyna IG-1 (80,7 mW/m²) oraz w otworach Suche Rzeki IG-1 (86,1 mW/m²), Brzegi Dolne IG-1 (66,4 mW/m²). Analiza mapy rozkładu gęstości strumienia ciepłego (Rys. 4) wskazuje, że rejon Gorlic położony jest w strefie podniesionych wartości tego parametru. Wielkości strumienia ciepłego w rejonie powiatu gorlickiego mieści się w granicach 75,80 mW/m².



Rys. 4. Mapa rozkładu gęstości strumienia ciepłego w rejonie wschodniej części Karpat (wg Szewczyk & Gientka, 2009, zmodyfikowany)

Fig. 4. Distribution map of heat flow density in the area of Eastern Carpathians (after Szewczyk & Gientka, 2009, modified)

Ze względu na brak pomiarów profilowań temperatury w celu określenia spodziewanych temperatur wód termalnych występujących w rejonie powiatu gorlickiego wykorzystano niepublikowane materiały pochodzące z Archiwum Poszukiwania Nafty i Gazu Sp. z o.o.. Dane dotyczyły pomiarów temperatur rop wypływających z horyzontów eksploatacyjnych w obszarze Gorlic. Dane te pozwoliły na wykonanie mapy rozkładu gradientów temperatury w rejonie Gorlic.

Wielkość gradientów temperatury w rejonie Gorlic mieści się w granicach od ok. 1,8 do ponad 3,0°C/100m. Najniższymi wartościami charakteryzuje się obszar zlokalizowany na północ od Gorlic, w rejonie Zagórzany-Libusza-Korczyna. Podwyższone wartości gradientów geotermicznych występują na południe od struktury Gorlic, a w szczególności w rejonie gminy Ropa, gdzie na wschód od otw. Ropa-1 przyjmują lokalne maksimum swojej wartości (>3,0°C/100m)

8. MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA STARYCH OTWORÓW NAFTOWYCH W REJONIE GORLIC DO CELÓW GEOTERMALNYCH

W rejonie projektu obejmującego gminy: Gorlice, Ropa, Biecz, Moszczenica i Sękowa zlokalizowano 22 głębokie otwory wiertnicze stanowiące bezpośrednią bazę informacji geologicznej i hydrogeologicznej w tym rejonie. Są to odpowiednio: - w rejonie miasta i gminy Gorlice: Gorlice 11, Gorlice 18, Gorlice 6, Bystra 1, Gorlice 19, Gorlice 7, Gorlice 8, Gorlice 2, Gorlice 5; - w rejonie gminy Sękowa: Siary 101, Siary 102, Gorlice 12, Gorlice 13, Męcina Wielka 1, Wapienne 1, Bodaki 1; - w rejonie gminy Ropa: Ropa 1, Gmina Biecz: Rożnowice 1, Strzeszyn 4, Strzeszyn 5, Strzeszyn 2, Długosz 120 (Rys. 2). W rejonie gminy Moszczenica nie zlokalizowano żadnego otworu naftowego, w związku z powyższym analiza możliwości zagospodarowania wód w obrębie powyższej gminy uwzględniała lokalizację nowego otworu geotermalnego - Moszczenica GT-1.

Do dalszej analizy wytypowano otwory wiertnicze, które zlokalizowano w obrębie poszczególnych gmin, a lokalizacja tych otworów wskazywała na istnienie potencjalnego rynku odbiorców ciepła. Uwzględniono również możliwości techniczne ewentualnego podłączenia do istniejącej sieci ciepłowniczej (dot. gmin posiadających taką sieć), w tym możliwości alternatywnego wykorzystania wody termalnej do celów balneoterapeutycznych, rekreacyjnych, itp. Spośród 22 głębokich otworów wytypowano 8, a mianowicie: Gorlice 18, Gorlice 6, Gorlice 7, Gorlice 12, Gorlice 13, Ropa 1, Strzeszyn 2, Długosz 120. Otwory te poddano bardziej szczegółowej analizie geologicznej, hydrogeologicznej wraz z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych, związanych z kosztami ich rekonstrukcji i udostępnienia w celu eksploatacji wód termalnych.

Podstawowe kryteria, w ramach których dokonano analizy możliwości wykorzystania zlikwidowanych otworów wiertniczych do celów geotermalnych podzielono na trzy zasadnicze kategorie, a mianowicie: stan techniczny otworów, parametry hydrotermalne zbiornika wód (własności hydrochemiczne, przewidywane wydatki, itp.) oraz kryteria ekonomiczne związane z rekonstrukcją i zagospodarowaniem wód termalnych.

8.1. Warunki techniczne rekonstrukcji otworów wiertniczych w rejonie Gorlic

Praktyka wykazuje, iż otwory starsze charakteryzują się gorszym stanem technicznym, głównie ze względu na zjawiska korozji materiałów konstrukcyjnych elementów otworu. Otwory te charakteryzują się zwykle ubogą dokumentacją techniczną, w tym ograniczonym zakresem informacji dot. przebiegu samego wiercenia oraz warunków technicznych likwidacji otworu. Zwykle brak informacji dot. stanu zacementowania kolumny rur. Często informacje te są nierzetelne, a dostępne wykresy geofizyczne badania stanu zacementowania są słabej jakości, stąd właściwa analiza stanu odwiertu jest bardzo trudna.

8.2. Stan techniczny otworów (stan zacementowania i orurowania)

Stan techniczny wytypowanych otworów jest zróżnicowany i uzależniony w znacznej mierze od kilku podstawowych czynników, a mianowicie: daty wykonania otworu, stanu zacementowania kolumny rur stalowych, stanu korozji rur oraz warunków technicznych likwidacji otworu (w tym np.: likwidacja otworu na skutek awarii, pozostawienie przewodu wiertniczego i inne). Spośród 8 wytypowanych otworów najstarszy z nich, a mianowicie Strzeszyn 2 pochodzi z 1972 roku. Pozostałe otwory zostały odwiercone w latach osiemdziesiątych i wcześniej, w związku z powyższym należy oczekiwać, że przybliżony stan techniczny otworów (korozja) jest zadawalający i otwory te będą nadawały się do rekonstrukcji.

8.3. Analiza kosztów rekonstrukcji i udostępnienia otworów naftowych do celów eksploatacji wód termalnych

Zakres prac związanych z oceną kosztów rekonstrukcji otworów obejmuje szereg czynności, w tym sprawy formalno-prawnych związanych z pozyskaniem praw do otworu oraz kwestie techniczne dotyczące zakresu prac rekonstrukcyjnych i ich kosztów.

Analizę kosztów rekonstrukcji otworów wiertniczych wykonano przy użyciu kosztorysu prac wiertniczych, który uwzględniał parametry techniczne otworów oraz szczegółowy zakres prac mających na celu dostosowanie istniejących otworów wiertniczych do potrzeb eksploatacji wód termalnych. Powyższe analizy wykazały, że spośród 8, wstępnie wytypowanych otworów jedynie 5 otworów posiada dostateczną dokumentację techniczną, która pozwoliła na ocenę kosztów ich rekonstrukcji. W przypadku pozostałych otworów, a mianowicie: Gorlice 6, Gorlice 7, Ropa 1 koszty rekonstrukcji zostały oszacowane zgrubnie. Jako podstawowe kryterium wzięto pod uwagę głębokość końcową otworu. Przyjęto, że koszty wiercenia są funkcją wykładniczą głębokości otworu (Rys. 5). Na podstawie dostępnych danych wykreślono krzywą regresji i oszacowano koszty rekonstrukcji w/w. otworów. Przybliżone koszty rekonstrukcji można określić wzorem:

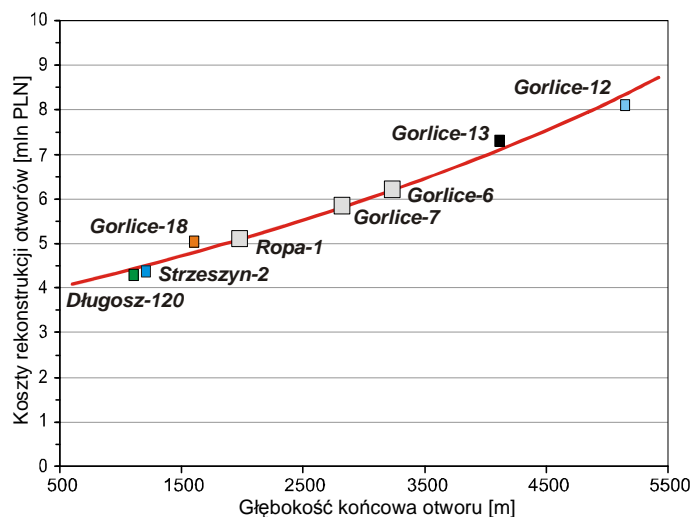
$$K_r = 3732652,4 * \exp(0,0001565737024 * H) \quad (1)$$

gdzie:

K_r – koszty rekonstrukcji [PLN],

H – głębokość otworu [m]

Jak wskazuje Rys. 5 koszty rekonstrukcji i adaptacji otworów „naftowych” w rejonie Gorlic do celów geotermalnych kształtują się w zakresie od ok. 4 mln 200 tys. zł. za otwór o gł. ok. 1100 m, do ponad 8 mln 100 tys. zł. w przypadku rekonstrukcji otw. Gorlice 13 (gł. ponad 5000 m p.p.t).



Rys. 5. Zależność kosztów rekonstrukcji otworów geologicznego od głębokości
Fig.5. Correlation of the cost of reconstruction vs. the depth of boreholes

9. ANALIZA OPŁACALNOŚCI EKONOMICZNEJ INWESTYCJI W REJONIE POSZCZEGÓLNYCH GMIN POWIATU

Analizę opłacalności inwestycji z wykorzystaniem wód termalnych przeprowadzono niezależnie dla poszczególnych gmin, uwzględniając konkretny otwór wiertniczy, zlokalizowany w obrębie gminy oraz parametry hydrogeologiczne wytypowanego poziomu zbiornikowego. W ramach analizy dokonano charakterystyki potencjalnej lokalizacji inwestycji. Scharakteryzowano lokalny rynek ciepłowniczy, sprecyzowano beneficjentów projektu - zdefiniowano potencjalnych odbiorców ciepła. Dla poszczególnych ujęć wód termalnych zaproponowano konkretne, zoptymalizowane rozwiązania techniczne związane z przyłączeniem i/lub modernizacją funkcjonującego systemu ciepłowniczego w obrębie miasta bądź gminy. Podano bilans energetyczny zaproponowanego rozwiązania oraz dokonano oceny ekonomicznej efektywności proponowanego przedsięwzięcia. Dokonano oszacowania nakładów inwestycyjnych na budowę instalacji geotermalnej, uwzględniając m.in.: nakłady na: rekonstrukcję otworu wiertniczego, wyposażenie instalacji geotermalnej, pompę ciepła, budynki i prace inżynierskie, przedprodukcyjne nakłady kapitałowe. Obliczone nakłady kapitałowe nie obejmowały szczytowego źródła ciepła oraz budowy systemu dystrybucji ciepła. Oszacowane koszty operacyjne funkcjonowania instalacji geotermalnej uwzględniały natomiast: koszt energii elektrycznej, remontów, konserwacji, koszty ogólne, płace. Koszty te nie uwzględniały kosztów funkcjonowania szczytowego źródła ciepła.

Ocenę opłacalności proponowanej inwestycji wykonano dla dwu wariantów finansowania inwestycji. W *wariancie I* ("100 % kapitał własny") założono, że całość nakładów na realizację przedsięwzięcia pochodzi z kapitałów własnych inwestora(ów). Jest to jedna z zasad dokonywania oceny projektów inwestycyjnych, w sytuacji gdy nie są znane jeszcze źródła finansowania. Celem takiej oceny jest odpowiedź na pytanie jak kształtuje się efektywność projektu nie zniekształcona np. udzielonymi dotacjami, czy też preferencyjnymi kredytami. Ocena efektywności projektu dokonana w ten sposób może być jednocześnie podstawą do porównań danej inwestycji z innymi alternatywnymi inwestycjami (przy założeniu analogicznego sposobu sfinansowania).

W *wariancie II* (nazwanym "otwór dotowany") założono, że nakłady na rekonstrukcję otworu wiertniczego pokryte będą ze środków dotacji, natomiast pozostałe nakłady zostaną pokryte przez inwestorów z ich środków własnych. Finansową efektywność inwestycji zbadano w oparciu o analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych, przy następujących założeniach: faza inwestycyjna projektu trwa 2 lata, faza operacyjna trwa 25 lat, stawka podatku dochodowego jest niezmienna i wynosi 19%, nakłady, koszty i przychody przyjęto w cenach stałych, realna stopa dyskontowa wynosi 7% (koszt kapitałów własnych inwestorów), cena sprzedaży ciepła geotermalnego na poziomie ujęcia wynosi 45 zł/GJ, roczny współczynnik obciążenia instalacji (stopień wykorzystania w skali roku nominalnej mocy cieplnej instalacji) wyniesie 0,6.

Dla obu wariantów finansowania inwestycji obliczono następujące kryteria finansowej efektywności inwestycji: wartość zaktualizowana netto (NPV - *net present value*), wewnętrzna stopa zwrotu (IRR - *internal rate of return*), prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych (PbP - *payback period*), zdyskontowany koszt produkcji ciepła geotermalnego na poziomie ujęcia.

Początkowe nakłady inwestycyjne (w tym rekonstrukcja otworu) oraz roczne koszty operacyjne (łącznie z pompami ciepła) dla poszczególnych projektów i instalacji prezentują się następująco:

Gorlice: nakłady inwestycyjne - 412 tys. zł, koszty operacyjne instalacji geotermalnej – 2116 tys. zł. Obliczone wskaźniki finansowej efektywności inwestycji wskazują, że zagospodarowywanie ciepła wód geotermalnych w mieście Gorlice jest opłacalne, pod warunkiem sfinansowania rekonstrukcji otworu, np. z dotacji lub innych bezzwrotnych środków.

Ropa: nakłady inwestycyjne - 6939 tys. zł, koszty operacyjne instalacji geotermalnej – 350 tys. zł. Obliczone wskaźniki finansowej efektywności inwestycji wskazują, że zagospodarowywanie ciepła wód geotermalnych w gminie Ropa jest opłacalne, niezależnie od sposobu sfinansowania rekonstrukcji otworu, przy czym rekonstrukcja kapitałem własnym jest przedsięwzięciem na granicy opłacalności.

Biecz: nakłady inwestycyjne - 7417 tys. zł, koszty operacyjne instalacji geotermalnej – 1 304 tys. zł. Obliczone wskaźniki finansowej efektywności inwestycji wskazują, że zagospodarowywanie ciepła wód geotermalnych w gminie Biecz nie będzie opłacalne, nawet przy dotowaniu przedsięwzięcia.

Sękowa: nakłady inwestycyjne - 10382 tys. zł, koszty operacyjne instalacji geotermalnej – 440 tys. zł. Obliczone wskaźniki finansowej efektywności inwestycji wskazują, że

zagospodarowywanie ciepła wód geotermalnych w gminie Sękowa może być opłacalne, niezależnie od sposobu finansowania.

10. PODSUMOWANIE

Regionalna analiza parametrów geologicznych i hydrogeotermalnych głębszych stref pokrywy fliszowej w rejonie Gorlic wskazuje na istnienie potencjału geotermalnego wód podziemnych związanego z poziomami: piaskowców *ciężkowickich*, *istebniańskich* (*czarnorzeckich*) oraz piaskowców *cergowskich*. W ujęciu regionalnym wydzielone zbiorniki wód termalnych występują na zróżnicowanych głębokościach, od ok 500 (Długosz 120) do ponad 4000 m p.p.t. (Gorlice 13).

Przyjęcie optymalnych parametrów eksploatacyjnych ujęć wód termalnych wskazuje na możliwości uzyskania przyływów wód od kilku, do ponad 76 m³/h wody, co wskazuje na możliwości wykorzystania ujęć tych wód zarówno w celach ciepłowniczych jak i rekreacyjnych.

Koszty rekonstrukcji i adaptacji otworów „naftowych” w rejonie Gorlic do celów geotermalnych są znaczne i kształtują się w zakresie od ok. 4 mln 200 tys zł., za otwór o gł. ok. 1100 m, do ponad 8 mln 100 tys zł., w przypadku rekonstrukcji otworu Gorlice 13 (gł. ponad 5000 m p.p.t.). Relatywnie wysokie koszty rekonstrukcji mają znaczący wpływ na pogorszenie rentowności przedsięwzięć z wykorzystaniem tych otworów.

Analizy parametrów geologicznych, hydrogeologicznych występowania zbiorników wód termalnych, uzupełniona analizą finansowej efektywności przedsięwzięcia opartego na zagospodarowaniu wód termalnych do celów grzewczych wskazują, że najbardziej perspektywicznie prezentują rejon gm. Sękowa, gdzie zlokalizowano otwór Gorlice 13 i z tym otworem należy, w pierwszej kolejności, wiązać możliwości zagospodarowania wód termalnych w rejonie Gorlic.

11. LITERATURA

- [1] Courdert J.M., Jaudin F., Sokołowski J., Geotermia, od gejzera do grzejnika. PAN. Kraków, 1996,
- [2] Dziadzio P., Kuk S., Masłowski E., Probulski J., Projekt wiercenia poszukiwawczego na strukturze Gorlic w rejonie Krygu. Archiwum PGNiG S.A. Jasło 2000,
- [3] Górecki W. (red.), Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Poskim – formacje mezozoiku – Ministerstwo Środowiska. ZSE AGH. Kraków 2006,
- [4] Górecki W. (red.), Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Poskim – formacje paleozoiku – Ministerstwo Środowiska. ZSE AGH. Kraków 2006,
- [5] Jaromin A., Kępińska B., Nagel J., Sokołowski J., Wieczorek J., Dokumentacja geosynoptyczna otworu geotermalnego Biały Dunajec PAN-1. Tech. Poszuk. Geol., 2, 1992a,
- [6] Jaromin A., Kępińska B., Nagel J., Sokołowski J., Wieczorek J., Dokumentacja geosynoptyczna otworu geotermalnego Poronin PAN-1. Tech. Poszuk. Geol., 3, 1992b,
- [7] Karnkowski P., Jastrząb M., Wody geotermalne w depresji strzyżowskiej Karpat. Przegl. Geol. vol. 42 nr 2, p. 121 - 123. Warszawa 1994,

- [8] Kępińska B., W: Górecki W. (red.), Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim - formacje mezozoiku - Ministerstwo Środowiska. ZSE AGH. Kraków, 2006,
- [9] Kępińska B., 1995, Temperatura głównego poziomu wodonośnego pola geotermalnego Podhala. *Tech. Poszuk. Geol.*, **6**: 3–14,
- [10] Kępińska B., 1997 – Model geologiczno-geotermalny niecki podhalańskiej. *Studia, Rozprawy, Monografie*, **48**. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków,
- [11] Konarski E., Budowa geologiczna rejonu Przemśla w Świetle głębokich wierceri i ostatnich prac sejsmicznych wykonanych w 1969 i 1970 roku. *Geof. Geol. naft.* nr **112** s. 1-8, 1972,
- [12] Chowaniec J., Kępińska B., Podhale geothermal system – selected issues. W: Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences (red. J. Gólonka, M. Lewandowski): 13–23. Kraków 2003,
- [13] Chowaniec J., Długosz P., Drozdowski B. i in., Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód termalnych niecki podhalańskiej, Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Oddz. Karpacki, Kraków 1997a,
- [14] Chowaniec J., Oszczytko N., Witek K., Hydrogeologiczne cechy warstw krośnieńskich centralnej depresji karpackiej. *Kwart. Geol.* **27**, 4: 797–810 1983,
- [15] Chowaniec J., Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. *Hydrogeologia* z. VIII, 2009,
- [16] Jankowski J., Ney R., Prauss O., Czy pod całym łukiem północno-wschodnich Karpat istnieją głębokie wody geotermalne. *Prz. Geol.*, **30**, 4: 165–169, 1982,
- [17] Dowgiałło J W: Paczyński B., Sadurski A. (red) - Hydrogeologia regionalna polski tom II - Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalne. PIG Warszawa 2007, 101,
- [18] Sokołowski J., Dokumentacja geosynoptyczna otworu geotermalnego Bańska IG-1. *Tech. Poszuk. Geol.*, **1**, 1992,
- [19] Chowaniec J., Wody mineralne uzdrowisk województwa podkarpackiego. *Tech. Poszuk. Geol.*, **4**: 23–32, 2003a,
- [20] Chowaniec J., Zuber A., Ciężkowski W., Prowincja karpacka. W: Hydrogeologia regionalna Polski, T. II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane (red. B. Paczyński i A. Sadurski): 78–96. Państw. Inst. Geol., Warszawa 2007b,
- [21] Kulma R., Podstawy obliczeń filtracji wód podziemnych. Wydawnictwa AGH. Kraków 1995,
- [22] Lund J., Freeston D. H., Boyd T., World - wide direct uses of geothermal energy 2005. Proceedings of the World Geothermal Congress, Turkey, 2005. Paper No. 0007 (CD), 2005,
- [23] Malinowski J. [red.] et al., Budowa geologiczna Polski, tom VII, Hydrogeologia, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1991,
- [24] Ney R., Sokołowski J., Wody geotermalne Polski i możliwości ich wykorzystania, Nauka Polska. Nr **6**. 1987,
- [25] Ney R., Perspektywy wykorzystania energii geotermalnej. Mat. Konf., Zakopane, 1985,
- [26] Paczynski B., Sadurski A., Hydrogeologia Regionalna Polski T.II, Wody mineralne, lecznicze oraz kopalne. 2005,

- [27] Plewa S., Regionalny obraz parametrów geotermalnych obszaru Polski. Prace Geof. i Geol. Kraków 1996,
- [28] Szargut J., Zasoby energii geotermalnej w Polsce. Gospodarka paliwami i energią, nr 7, Warszawa, 1990,
- [29] Sokołowski J., Możliwości wykorzystania wód geotermalnych dla uzupełnienia bilansu energetycznego Polski. Mat. Konf. Wołomin, 1987,
- [30] Zsewczyk J., Gientka D., Terrestrial heat flow density in Poland - a new approach, Geological Quarterly, 2009, **53** (1): 125-140.

POSSIBILITIES OF USE OF THERMAL WATERS IN THE GORLICE DISTRICT

SUMMARY

The paper presents results of the project evaluation entitled "Pre-feasibility study of utilization of thermal waters for heating and recreational purposes using existing boreholes in the Gorlice city and Ropa, Biecz, Moszczenica and Sekowa municipalities" The project was initiated by the District Office in Gorlice and implemented by "GEOS" (Geosynoptic Society & Consultants' Group) in Cracow, in December 2009.

The goal of the project was to determine whether in the Gorlice District the thermal waters are exist and whether it is possible to use thermal waters for heating and recreational purposes. Among the other the paper describes the geological background of Gorlice region in the context of thermal water utilization. The paper presents the results of evaluation of possibility of utilization of abandoned boreholes, as well as the cost of its reconstruction and adaptation for exploitation of thermal waters. Optimum directions of development of thermal waters with special reference to the local heating market was presented.

Regional analysis of geological and hydrogeological parameters of flysch cover in the region of Gorlice points to a potential geothermal groundwater levels associated with: Cieszkowice, Istebna (Czarnorzeki) and Cergowa sandstones. The most favourable conditions for use of thermal waters exist in the Sekowa municipality, where the Gorlice-13 borehole are located.

Jednostki (units):

1 tce = 1 tpu = $7 \cdot 10^6$ kcal = 0,7 toe = 29,308 GJ

Dariusz HEIM, dr inż.
Marcin JANICKI, mgr inż.

Politechnika Łódzka
Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź
e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl, janicki.ma@p.lodz.pl

KORZYŚCI ENERGETYCZNE ZASTOSOWANIA WENTYLOWANYCH FASAD PODWÓJNYCH W WARUNKACH KLIMATYCZNYCH POLSKI ŚRODKOWEJ

STRESZCZENIE

W artykule opisano model obliczeniowy wykorzystywany w symulacjach energetycznych i symulacjach przepływów płynów metodą sieciową AFN (ang. *Air Flow Network*). Zaprezentowano wybrane wyniki numerycznych symulacji zachowania się fasad podwójnych uwzględniając następujące czynniki: budowa i sposób wentylacji fasady, warunki pogodowe, orientacja elewacji względem stron świata, a także wielkość różnie umiejscowionych względem fasady wentylacyjnych otworów wlotowych i wylotowych. Następnie przedstawiono zapotrzebowanie na energię do chłodzenia i ogrzewania dla budynku o całkowicie transparentnej elewacji - porównując otrzymane wyniki dla fasady podwójnej z wynikami otrzymanymi dla fasady pojedynczej.

1. WPROWADZENIE

Celem przeprowadzonych analizy było znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy i w jakim stopniu zastosowanie i odpowiednie użytkowanie systemów fasad podwójnych (ang. DFS – *Double Skin Façades*) wpływa na nakłady energetyczne związane z ogrzewaniem i chłodzeniem pomieszczeń budynków o elewacjach transparentnych. Zainteresowanie zagadnieniami fasad transparentnych, w tym pojedynczych (ang. SSF – *Single Skin Façades*), wynika z faktu niezmiennie rosnącego zapotrzebowania na projektowanie i tworzenie wysokiej jakości budynków użyteczności publicznej w tym budynków biurowych. Przyszli użytkownicy oczekują zdrowych i stymulujących warunków pracy przy jednoczesnym zminimalizowaniu zapotrzebowania na energię [1]. Z kolei rosnące standardy izolacyjności nieprzezroczystych przegród zewnętrznych powodują, że strumień energii traconej przez okna oraz na wentylację decydują o zapotrzebowaniu na ciepło

i chłód. Dla całkowicie transparentnych fasad znaczącą rolę w bilansie energetycznym odgrywa energia promieniowania słonecznego, ściślej – energia promieniowania zaabsorbowana i zamieniona na ciepło w pomieszczeniach o kontrolowanej temperaturze wewnętrznej [2,3].

Prawidłowo zaprojektowane budynki o fasadach przepuszczających promieniowanie słoneczne zapewniają użytkownikom pomieszczeń biurowych wysoki komfort środowiska pracy. Szczególnie korzystnie wypadają one w tych wszystkich przypadkach, gdy budynki są narażone na czynniki: wzmożonego zewnętrznego hałasu, silnego wiatru i promieniowania słonecznego. Fasady, w szczególności te wykonane z wykorzystaniem szkła, mają swą szczególną estetykę, której potencjał z powodzeniem może zostać wykorzystany przez rzesze architektów.

Znając wymagania runku budowlanego i posiadając odpowiednie narzędzia obliczeniowe, jakich nie posiadali prekursorzy, można przyjrzeć się zagadnieniu systemów fasad podwójnych na nowo i ocenić energetyczny wpływ zastosowania tych systemów w typowym budynku biurowym. Ocenę dokonano uwzględniając m.in. różne strategie umiejscowienia i doboru wielkości wlotów i wylotów powietrza na fasadzie dla budynku zlokalizowanego w warunkach klimatu Polski środkowej.

2. MODELOWANIE ZJAWISK W FASADACH PODWÓJNYCH

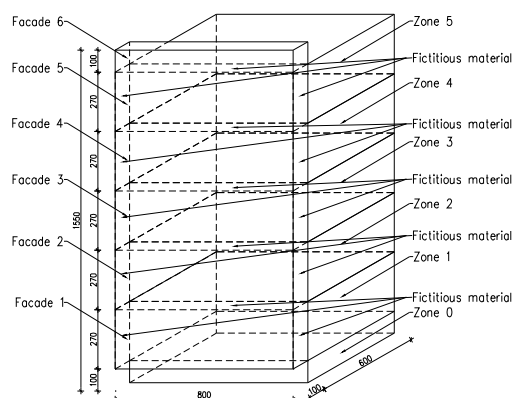
Dla potrzeb analiz posłużono się systemem jednopłaszczyznowych, naturalnie wentylowanych fasad podwójnych, spełniających funkcje kurtyny powietrznej, bądź bufora termicznego. Zastosowany system kurtyny powietrznej sprawia, że w przypadku braku nasłonecznienia dodatkowe poszycie poprawia izolacyjność termiczną budynku. W przypadku występowania nasłonecznienia w przestrzeni fasady wywoływany jest ruch powietrza będący efektem kombinacji zjawiska ciągu kominowego i oddziaływania wiatru, o największym stopniu nasilenia występującym przy zastosowaniu dodatkowych elementów absorbujących promieniowanie słoneczne np. żaluzji wewnątrz pustki powietrznej. Ilość zysków jest regulowana poprzez zmianę wielkości otwarć a tym samym odprowadzaniu na zewnątrz nagrzanego powietrza. Wszystkie symulacje przeprowadzone zostały w oparciu o dane pogodowe opracowane zgodnie z normami ISO przez Lotniskową Stację Meteorologiczną Łódź-Lublinek. Symulacje obejmują cały rok kalendarzowy TMY (z ang. *Typical Meteorological Year*) [4,5], poprzedzony trzydziestodniowym okresem rozbiegowym. Wartości współczynnika redukcji dystrybucji ciśnienia przyjęto dla wlotów (przy podstawie fasady) o wartości jak dla ściany średnio wyeksponowanej, natomiast dla wylotów powietrza o wartości jak dla dachu o nachyleniu poniżej 10°, średnio wyeksponowanego na działanie wiatru [6].

Model termiczny budynku oparty został na metodzie bilansu cieplnego przestrzeni dyskretyzowanej za pomocą objętości skończonych. Elementy konstrukcji budynku, powierzchni czy stref przedstawione zostały za pośrednictwem węzłów - po jednym węźle wewnętrznym dla każdej przestrzeni ograniczonej oraz po trzy węzły dla każdej jednorodnej warstwy materiału elementu brzegowego. Oddziaływanie promieniowania słonecznego uwzględniono wykorzystując procesor śledzenia promieniowania bezpośredniego, połączony z dystrybucją promieniowania rozproszonego [7]. Przepływ powietrza określony został przy użyciu metody bilansu sieciowego zgodnie z zasadą zachowania

przepływu masy. Przestrzeń fasady podzielona została na szereg stref reprezentowanych za pośrednictwem węzłów, połączonych ścieżkami przepływu.

Pojedyncze strefy biurowe zbudowano w oparciu o założenia geometryczne modelu BESTEST Case 600. Konstrukcję podstawowej komórki wyjściowej stworzono, w oparciu o założenie równoważnej pojemności cieplnej wszystkich przegród. Jako podstawowego materiału konstrukcyjnego użyto żelbetu (grubości 200 mm niezależnie dla ścian i stropów). Do konstrukcji żelbetowej „dokładano” następnie kolejne warstwy w taki sposób, aby ujednolicić opory cieplne dla wszystkich, pełnych przegród zewnętrznych. W celu precyzyjnej oceny rozkładu temperatury powietrza oraz natężenia jego przepływu w funkcji wysokości, przestrzeń fasady podzielona została na kilka mniejszych stref termicznych. Warunki brzegowe pomiędzy strefami, dla których możliwy jest przepływ powietrza określono jako swobodne, „umowne” (ang. „fictitious”).

Rozpatrywany przypadek fasady obejmował wycinek budynku biurowego wielostrefowego, na którego całkowitą kompozycję składa się 5×5 pomieszczeń przypadających na każdą z elewacji, skierowanych idealnie na północ, południe, wschód i zachód. Ograniczony zakres analizy obejmował przypadek przedstawiony na rysunku 1 z tym jednak założeniem, że wpływ zjawiska konwekcji w przypadku fasady podwójnej wymagał objęcia zasięgiem całej wysokości elewacji.



Rys. 1. Geometria, podział na pomieszczenia i strefy fasady oraz schemat zastosowania materiału „umownego” reprezentatywnego modelu

Fig. 1. Geometry, the division into zones and layout of the application of a fictitious material in representative model

Dla potrzeb analiz energetycznych posłużono się modelem przedstawionym na rys. 1, w którego budowie elewację podwójną zastąpiono elewacją pojedynczą, również całkowicie przeszkloną, czyniąc warstwą zewnętrzną szybę zespoloną szkloną podwójnie.

Wyłączenie z obszaru analiz części budynku stworzyło konieczność przypisania pozostawionemu wycinkowi, ściślej – powierzchniom, które sąsiadowały z odrzuconymi strefami, tak zwanych „podobnych” dynamicznych warunków brzegowych. Dynamiczne warunki brzegowe pozwalają założyć, że powierzchnie pomieszczenia sąsiedniego

narażone będą na takie same warunki jak wewnętrzna strona modelowanego pomieszczenia. Część promieniowania rozproszonego docierającego do strefy odciętej pozostała z założenia niezmienną, różnicę temperatury i ewentualne dodatkowe źródła promieniowania cieplnego ustalono na poziomie zera.

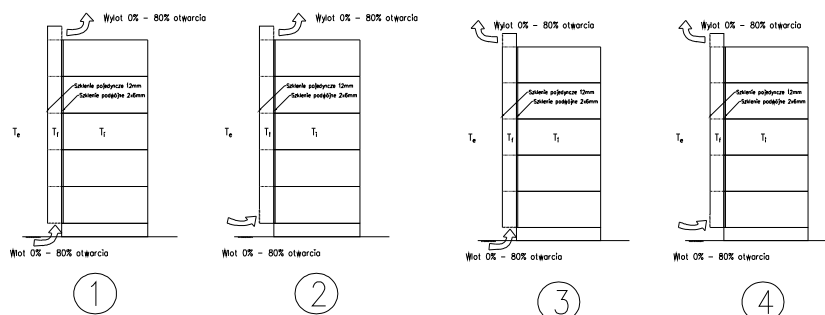
Przepływ powietrza obliczony został w oparciu o sieć węzłów [8]. Wyróżniono dwa węzły zewnętrzne (dolny oraz górny) oraz pięć węzłów wewnętrznych, po jednym przypisanym do każdej ze stref fasady. Węzły połączone zostały za pośrednictwem odpowiednich komponentów. Wloty oraz wyloty powietrza, zamodelowano jako szczeliny o szerokości 50 mm i długościach odpowiadających procentowi otwarcia, elementy oddzielające kolejne kondygnacje zdefiniowano jako otwarcia o powierzchni przelotowej $6,4 \text{ m}^2$, co odpowiada 80% maksymalnej przepustowości przekroju poziomego fasady. Przewiduje się, że prawidłowo dobrany, w zależności od pory roku, poziom otwarć wlotów i wylotów oraz ich położenie zoptymalizowane w zależności od kierunku wiatru będą miały wpływ na wzrost bądź redukcję zapotrzebowania na energię do ogrzewania lub chłodzenia. Podobnie przewiduje się, że zastosowanie zoptymalizowanego pod wymienionym wyżej kątem systemu fasad podwójnych pozwoli zredukować zapotrzebowanie na energię w odniesieniu do budynku wyposażonego pojedynczą, całkowicie przeszkloną fasadą.

Przy poszukiwaniu wariantu optymalnego brano pod uwagę m.in. wielkości różnie umiejscowionych względem fasady otworów wlotowych i wylotowych. Koncepcję rozmieszczenia otworów podzielono na cztery przypadki (rys. 2):

- 1.) Wlot „z dołu”, wylot „za fasadą” 2.) Wlot „od frontu”, wylot „za fasadą”
- 3.) Wlot „z dołu”, wylot „przed fasadą” 4.) Wlot „od frontu”, wylot „przed fasadą”

Głównym sposobem sprawdzenia zastosowania fasad podwójnych oraz wpływu sterowania przepływem powietrza w fasadzie na efektywność energetyczną było stworzenie serii zorientowanych względem czterech stron świata modeli fasad DSF oraz SSF (podwójnych oraz pojedynczych), uwzględniając w przypadku podwójnych różne wielkości, 0% lub 80% otwarcia powierzchni napływu powietrza.

Symulacji dokonano przy założeniu braku wewnętrznych zysków ciepła oraz według ujednoliconego modelu sterowania temperaturą powietrza wewnątrz stref biurowych. Ponieważ poszczególne lata różnią się między sobą ilościami dni wolnych od pracy, czynnik ten wyeliminowano dzięki wykorzystaniu „płaskiego” schematu kontroli temperatury. W każdym z 365 dni roku przyjęto 3 okresy grzewcze.



Rys. 2. Schemat umiejscowienia otworów wlotowych i wylotowych na fasadzie
Fig. 2. Study cases of selection inlet and outlet cracks

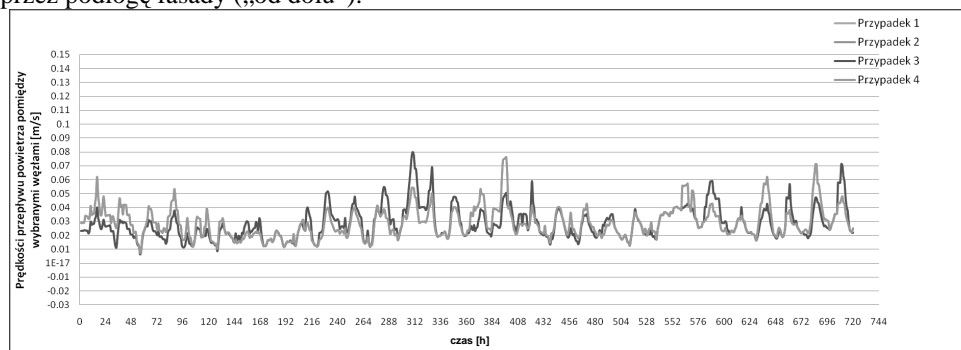
3. WYNIKI

Przedstawione wyniki opisują historię zmian prędkości przepływów powietrza między wewnętrznymi węzłami, zlokalizowanymi w fasadzie 2 i 3 dla wybranych, najbardziej reprezentatywnych miesięcy roku, odpowiednio: okresów „przejściowych” – miesiąc kwiecień i październik oraz okresu najcieplejszego – lipiec. Wartości dla miesiąca najzimniejszego – grudnia pominięto ze względu na dążenie w okresie grzewczym do maksymalnego zamknięcia przestrzeni powietrznej fasady.

Przedstawione w dalszej części pracy wyniki dotyczą zsumowanego zapotrzebowania na energię do chłodzenia/ogrzewania wszystkich pomieszczeń biurowych objętych analizą, dla kolejnych miesięcy roku kalendarzowego oraz sumaryczne wykresy rocznego zapotrzebowania na energię.

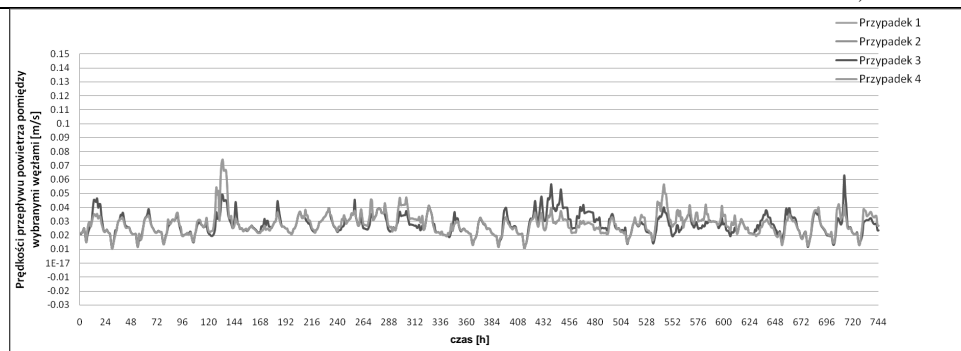
Poszukując najlepszego rozwiązania, w pierwszej kolejności wybrano jeden z czterech przypadków przedstawionych na rys. 3. Sprawdzono, który z nich zapewni maksymalne natężenie przepływu przy 80% otwarcia kanałów wlotowych/wylotowych. Poniżej przedstawiono wykresy prędkości powietrza w fasadzie dla orientacji południowej.

Zestawienie wyników (rys. 3÷5) dla pierwszego etapu analizy pozwoliło stwierdzić, że w przypadku fasad podwójnych umiejscowienie wlotów i wylotów powietrza nie ma znaczącego wpływu na prędkość przepływu powietrza. Na rysunkach 3÷5, wykresy Przypadku 1 pokrywają się z wykresami Przypadku 3, zaś Przypadku 2 z Przypadkiem 4 – należy zatem rozumieć, że dla prędkości przepływu powietrza znaczenie ma pionowe bądź poziome umiejscowienie wlotów. Umiejscowienie zaś wylotów od frontu bądź na tyle fasady nie ma żadnego wpływu na efektywność przepływu. Oczywiście wyraźnie widać, że dla miesięcy: lipca i października (lub kwietnia) występują pewne rozbieżności, jednak podkreślić należy, że maksymalne otwarcie zapewnił ma największy przepływ w sezonie letnim. Wspomniane różnice wywołane są oddziaływaniem wiatru, którego prędkość zwiększa się w okresie wiosennym i jesiennym. Ponieważ w sezonie letnim oddziaływanie wiatru jest mniejsze, założyć można, że głównym czynnikiem wyboru umiejscowienia wlotów, będzie kryterium prostoty konstrukcji i estetyki wskazując, jako korzystny wlot przez podłogę fasady („od dołu”).



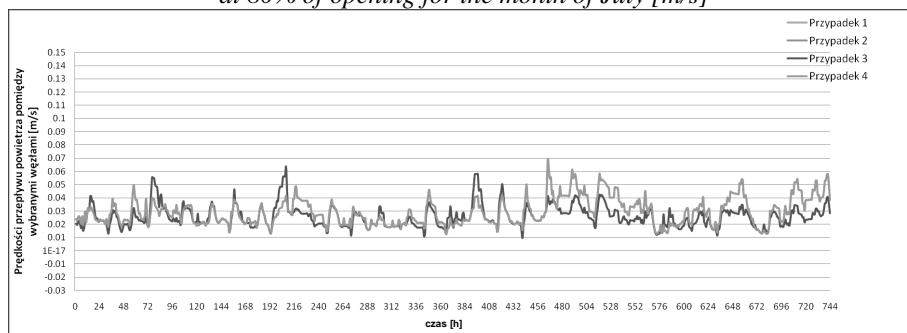
Rys. 3. Różnice prędkości przepływów dla kierunku południowego pomiędzy wybranymi węzłami przy 80% otwarcia dla miesiąca kwietnia [m/s]

Fig. 3. Differences in velocity of air flow for direction of the South between selected nodes at 80% of opening for the month of April [m/s]



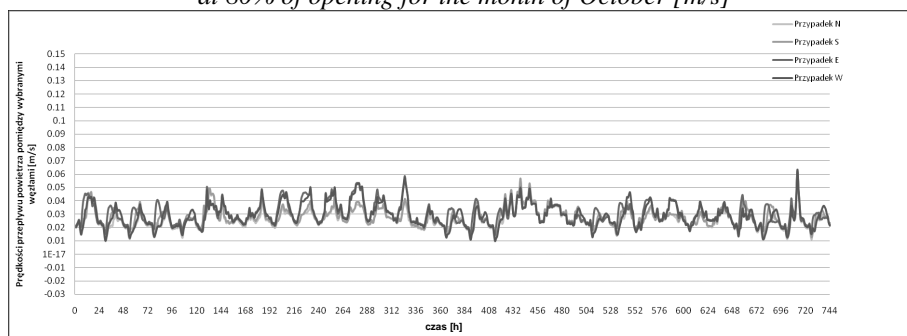
Rys. 4. Różnice prędkości przepływów dla kierunku południowego pomiędzy wybranymi węzłami przy 80% otwarcia dla miesiąca lipca [m/s]

Fig. 4. Differences in velocity of air flow for direction of the South between selected nodes at 80% of opening for the month of July [m/s]



Rys. 5. Różnice prędkości przepływów dla kierunku południowego pomiędzy wybranymi węzłami przy 80% otwarcia dla miesiąca października [m/s]

Fig. 5. Differences in velocity of air flow for direction of the South between selected nodes at 80% of opening for the month of October [m/s]

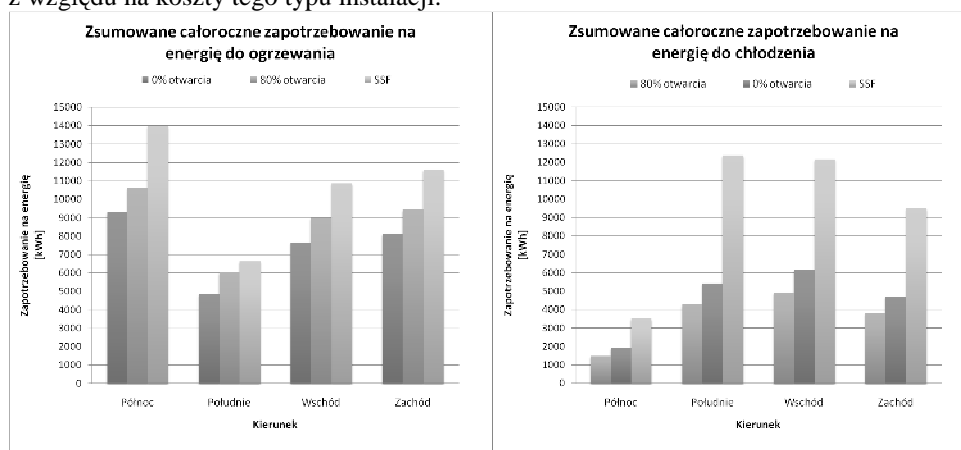


Rys. 6. Różnice prędkości przepływów dla przypadku 1 kierunków N S E W pomiędzy wybranymi węzłami przy 80% otwarcia dla miesiąca lipca [m/s]

Fig. 6. Differences in velocity of air flow for Case 1 and directions of the N S E W between selected nodes at 80% of opening for the month of July [m/s]

Następnie dla wybranego przypadku 1 stworzono 16 kombinacji modeli uwzględniających kierunki względem stron świata oraz odpowiednio dla każdego kierunku wielkości otwarcia na poziomie 20%, 40%, 60% oraz 80%. Przy założeniu 80% otwarcia i porównaniu wyników dla czterech stron świata zauważyć można, że prędkości przepływów na różnie zorientowanych fasadach są niemal takie same (rys. 6).

Na podstawie otrzymanych wyników ustalono, że najlepsze rozwiązanie, zapewniające największy przepływ osiągane jest w zakresie otwarcia między 60% a 80% (większy stopień otwarcia może być trudny do osiągnięcia ze względów technicznych). Do takiego też należy dążyć w sezonie letnim. Zastosowanie dodatkowego poszycia w postaci fasady przeszklonej oraz prawidłowo dobrana strategia wentylacji powstałej w ten sposób pustki powietrznej pozwala oszacować oszczędności energii do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń przyległych do fasady (rys. 7). Porównując zapotrzebowanie na energię do ogrzewania dla systemu DSF, przy całkowicie zamkniętych/otwartych wlotach, do systemu SSF otrzymamy średnio 30% zmniejszenie zapotrzebowania na energię w skali roku na korzyść systemów DSF. W przypadku fasady podwójnej, prawidłowa strategia jej wentylacji prowadzi do kolejnej 15% oszczędności energii. Znaczną redukcję odnotowano natomiast porównując energię niezbędną do chłodzenia pomieszczeń dla systemów fasad podwójnych i pojedynczych. Przeciętnie, po nałożeniu dodatkowego, naturalnie wentylowanego poszycia, oszczędności te osiągnęła ok. 60%. Wartość ta poddana może zostać dyskusji ze względu na uproszczony model dystrybucji energii promieniowania słonecznego przez elementy oszklone, który zakłada że po przejściu przez pierwszą warstwę transparentną promieniowanie ulega całkowitemu rozproszeniu. Aby dokonać walidacji modelu obliczeniowego i oceny wiarygodności przeprowadzonych symulacji niezbędne jest przeprowadzenie długoterminowych badań na modelu rzeczywistym, wykonanym w postaci stanowiska laboratoryjnego. Jest to jednakowoż niezwykle trudne z względu na koszty tego typu instalacji.



Rys. 7. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia biur dla kierunku N S E W przy 0% lub 80% otwarcia (DSF) oraz systemie SSF

Fig. 7. Energy demands for offices heating and cooling for the direction of N S E W at 0% or 80% opening (DSF) and the SSF system

4. PODSUMOWANIE

Począwszy od problemów praktycznych związanych ze sterowaniem przepływem powietrza, praca poświęcona została numerycznej analizie przepływu energii w systemach fasad transparentnych. Komfort użytkowania budynków wyposażonych w takie systemy opiera się na założeniach odpowiedniej przepuszczalności światła dziennego przez fasadę, a przy tym na minimalizacji nakładów energetycznych na ogrzewanie i chłodzenie, przy założeniu wysokiej jakości środowiska wewnętrznego. Wyniki przeprowadzonych analiz mogą być wykorzystane, jako pomoc w procesie projektowania nowoczesnych budynków, w których planuje się zastosowanie systemów fasad podwójnych. Zawarte we wnioskach informacje pozwalają określić oddziaływanie prawidłowo zaprojektowanego i użytkowanego systemu fasad podwójnych, naturalnie wentylowanych na poprawę bilansu energetycznego sąsiadujących pomieszczeń.

5. LITERATURA

- [1] Heim D., Sprysch M.V., Romanowska A.: Podwójna eksperymentalna fasada budynku uniwersyteckiego w Braunschweigu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska zeszyt 40*, Rzeszów 2006, nr 229, s. 213-218, 2006
- [2] Chwieduk D.; *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku*. PRACE IPPT. 11/2006
- [3] Heim D.: Comparison of sensible and latent thermal storage potential of double-skin façade. *Research in Building Physics and Building Engineering*, Fazio P., Ge H., Rao J. & Desmarais G. (ed.), pp. 301-309, Taylor & Francis Publishers, 2006
- [4] Gawin D., Kossecka E. [red.], *Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach*, Politechnika Łódzka, 2002.
- [5] Narowski P., Heim D., Dane klimatyczne dla potrzeb modelowania transportu ciepła i wilgoci w przegrodach budowlanych, w: *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* tom 3, s. 85-92, Łódź, 2008
- [6] Hensen J.L.M.; *Simulation of building energy and indoor environmental quality - some weather data issues*. in Proc. Int. Workshop on Climate data and their applications in engineering, 4-6 October, Czech Hydrometeorological Institute in Prague 1999
- [7] Clarke J.A.; *Energy simulation in building design*. 2nd-edition, Butterworth-Heinemann, Oxford 2001.
- [8] Patankar, S.V.; *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Washington D.C.: Hemisphere, 1980.

ENERGY BENEFITS FROM APPLYING DOUBLE SKIN FACADES IN CLIMATIC CONDITIONS OF CENTRAL POLAND

SUMMARY

The article described a computational model of energy flows in building spaces. For the proposes of analysis the computer model was defined using Finite Control Volume Techniques and a Air Flow Network model. Number of factors was taken into consideration: the construction (Single Skin Façade or Double Skin Façade), facade ventilation, weather conditions, orientation and also different strategies of inlet and outlet locations. Then the performance of energy demand for cooling and heating for a building facade with a completely transparent were presented.

Dariusz HEIM^{*}, dr inż.
Katarzyna KLEMM^{}, dr nt.**
Eliza SZCZEPAŃSKA^{*}, mgr inż.

Politechnika Łódzka

^{*} Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

^{**} Instytut Architektury i Urbanistyki

Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź

e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl, katarzyna.klemm@p.lodz.pl, eliza.szczepanska@p.lodz.pl

METODA OCENY KOMFORTU CIEPLNO-WIZUALNEGO W SZTUCZNYM ŚRODOWISKU PRACY

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono propozycję metody jednoczesnej oceny poziomu komfortu cieplnego i oświetleniowego w pomieszczeniu wyposażonym w sztuczne źródła promieniowania. Opisano budowę stanowiska badawczego oraz przyjęte założenia metody. Rozpatrywano wpływ energii promieniowania w zakresie promieniowania widzialnego oraz cieplnego. Pomiarów dokonano przy użyciu mierników precyzyjnych. Przedstawiono i omówiono wyniki wstępnych analiz dokonanych na wybranej grupie 30 osób, w wieku 23-35 lat, dla ściśle określonego rozwiązania obszaru pracy biurowej. Na ich podstawie określono mocne i słabe strony zaproponowanej metody. Ponieważ niniejsze analizy mają charakter wstępny przyjęto, że posłużą one jedynie weryfikacji założeń do procedury oceny wpływu poszczególnych czynników na jakość środowiska pracy. W dalszej przyszłości planowane są badania na większej i bardziej reprezentatywnej grupie osób.

1. WPROWADZENIE

Większość czynników determinujących komfort użytkowników budynków jest ze sobą współzależnych. Szczególnie jest to odczuwalne w przypadku czynników decydujących o komforcie cieplnym i oświetleniowym. Ma to miejsce zarówno podczas narażenia osób na wpływ oddziaływania środowiska zewnętrznego, np. promieniowania słonecznego, jak i sztucznego np. emisja od opraw oświetleniowych. W pomieszczeniach biurowych o strukturze halowej, wyposażonych w pojedyncze, odseparowane ścianami boksy, wybrane parametry środowiska wewnętrznego mogą być regulowane indywidualnie lub centralnie. Parametry regulowane to np. natężenie oświetlenia, temperatura, wilgotność

powietrza, napływ świeżego powietrza wentylacyjnego. Potrzeba indywidualnej regulacji wynika z upodobań każdego człowieka, jego aktualnego stanu psychofizycznego oraz rodzaju wykonywanej czynności. Dodatkowo zmieniający się charakter pracy biurowej przy dużym udziale pracy z komputerem lub pracy mieszanej określa nowe potrzeby ciepłno-oświetleniowe na stanowisku pracy i daje przyczynek do podejmowania kolejnych badań. Mając na uwadze powyższe aspekty autorzy podjęli próbę zdefiniowania sztucznego środowiska pracy oraz oceny warunków panującego w nim mikroklimatu. Wszystkie przedstawione poniżej wyniki mają charakter wstępny i dotyczą jednego, indywidualnego przypadku.

2. KOMFORT CIEPLNY

Komfort cieplny człowieka zależy jest zarówno od elementów mikroklimatu, takich jak temperatura i wilgotność powietrza, temperatura promieniowania powierzchni otaczających, asymetria rozkładu temperatury w pomieszczeniu, przepływ powietrza jak również od elementów charakteryzujących samego człowieka. Wśród czynników osobowych można wyróżnić między innymi poziom aktywności czy izolacyjność cieplną odzieży. Z uwagi na różnice w odczuciach cieplnych w optymalnej dla danej grupy ludzi temperaturze statystycznie niezadowolonych jest zawsze 5% osób [1]. Różnice w odczuwaniu temperatur komfortowych mogą być spowodowane różnicami osobniczymi wynikającymi z różnej budowy ciała, wieku, płci czy zdolności adaptacyjnej do zmiennych warunków otoczenia.

Istnieją sytuacje, w których pomimo ogólnie komfortowych warunków człowiek może odczuwać dyskomfort. Najczęstszymi przyczynami lokalnego dyskomfortu są: asymetria temperatury promieniowania, pionowa różnica temperatury powietrza, zbyt wysoka lub niska temperatura posadzki czy zjawisko przeciągu. Określenie warunków komfortu cieplnego jest więc zagadnieniem złożonym, zależnym od wielu parametrów.

Istnieje wiele wskaźników oceny komfortu cieplnego człowieka. Najczęściej stosowanymi są wskaźniki oparte na równaniu bilansu cieplnego Fangera: PMV i PPD [2]. Przewidywana średnia ocena PMV (*Predicted Mean Vote*) jest szeroko stosowana dla środowisk termicznych umiarkowanych, mimo małej wrażliwości na zmiany wilgotności bezwzględnej [3]. Wskaźnik ten odnosi się do określonej izolacyjności cieplnej odzieży i aktywności człowieka wyrażonej za pomocą metabolizmu.

Przewidywany odsetek niezadowolonych PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) jest wartością średnią wrażeń cieplnych dużej grupy osób przebywających w tym samym środowisku. Umożliwia określenie, jaki procent osób będzie odczuwał brak komfortu termicznego. Powyższe wskaźniki uwzględnione zostały w normie ISO 7730 określającej warunki środowiska termicznego uznawane za komfortowe. W celu zapewnienia warunków komfortu w miejscu pracy człowieka siedzącego, średnio aktywnego zaleca się aby wskaźnik PMV zawierał się w przedziale $-0,5 < PMV < +0,5$, zaś PPD był mniejszy od 10%.

Spośród parametrów mikroklimatu, mających zasadniczy wpływ na komfort cieplny szczególnie istotna jest temperatura powietrza. Przy małym tempie metabolizmu (praca biurowa) optymalna temperatura zapewniająca komfort cieplny w okresie zimowym wynosi $20 - 22^{\circ}\text{C}$ [4]. Długotrwała ekspozycja na temperaturę wyższą niż 21°C może mieć

wpływ na spadek sprawności psychofizycznej o ok. 6%, w stosunku do temperatury neutralnej (tj. 18-21°C) [5]. Po przekroczeniu temperatury 26°C zaobserwowano obniżenie poziomu uwagi, spostrzegawczości i refleksu, zwłaszcza podczas krótkiego, 120 minutowego czasu ekspozycji [1].

Wpływ wilgotności powietrza na odczucia ciepłe jest większy w warunkach wysokiej temperatury powietrza, tj. gdy człowiek ekspozowany jest na temperaturę wyższą od komfortowej, wywołując intensywny proces pocenia się. Ze względów zdrowotnych wilgotność względna powinna zawierać się w granicach 40-70% [1]. Norma ISO 7730 zaleca jednak, aby dla uzyskania komfortu w zakresie $-0,5 < PMV < +0,5$ (w miejscu pracy człowieka siedzącego) wilgotność względna zawierała się w przedziale 30 – 70%.

W normie PN-EN ISO 7730: 2006 (U) [6] przedstawione zostały zalecenia dotyczące wielkości parametrów powietrza zapewniających komfort użytkownikom pomieszczeń. W przypadku lekkiej pracy biurowej temperatura operatywna powinna zawierać się w przedziale 20 – 24°C, prędkość przepływu powietrza 0m/s – 0,15m/s, zaś asymetria temperatury promieniowania z powierzchni pionowych: 0K – 10K a z powierzchni poziomych: 0K – 5K.

3. KOMFORT WIZUALNY

Warunki oświetleniowe wywierają wpływ na szybkość, dokładność i wysiłek związany z wykonaniem danej czynności a także na zdrowie, samopoczucie i funkcjonowanie człowieka. Dlatego też, tak istotne jest stworzenie komfortu wizualnego wewnątrz pomieszczenia poprzez zapewnienie odpowiednich cech jakościowych i ilościowych oświetlenia. Należy podkreślić, że komfort wizualny jest zależny od wielu parametrów ale jest też wielkością bardzo subiektywną. Uwzględnienie potrzeb związanych z tworzeniem odpowiednich parametrów otoczenia świetlnego, z wystąpieniem wygody widzenia, wydolności wzrokowej jak i zapewnieniem bezpieczeństwa wiąże się z przyjęciem następujących wymagań [7]:

- o charakterze nakazowym, które dotyczą natężenia oświetlenia, olśnienia oraz oddawania barw,
- o charakterze zaleceń dotyczące rozkładu luminancji, kierunkowości światła, barwy postrzeganej, migotania (i efektu stroboskopowego), wykorzystaniu światła dziennego.

Zapewnienie odpowiedniego poziomu natężenia, a także jego właściwego rozkładu wpływa na to jak szybko i bez zbytniego obciążenia obserwator wykona zadanie wzrokowe. Niedostateczne oświetlenie powoduje uczucie znużenia, senności pogarszając znacznie samopoczucie obserwatora a dodatkowo może być przyczyną wypadków. Natomiast zbyt wysokie natężenie oświetlenia powodują uczucie niewygody. Dla większości użytkowników natężenie o wartości 20 lx wystarcza aby dostrzec rysy ludzkie, natomiast sytuację, w której poziom natężenia jest większy od 20 000 lx użytkownicy określają jako uciążliwą. Drugim istotnym parametrem jest równomierność oświetlenia. Dla czynności ciągłych przyjmuje się, że równomierność oświetlenia na płaszczyźnie roboczej (stosunek najmniejszej zmierzonej wartości natężenia oświetlenia na danej płaszczyźnie do średniego natężenia oświetlenia na tej płaszczyźnie) powinna wynosić, co najmniej 0,7 oraz 0,5 w polu bezpośredniego otoczenia. Brak równomierności oświetlenia

powoduje zmęczenie mięśni ocznych, co wynika z ciągłej adaptacji do zmiennych wartości natężenia oświetlenia.

Od wartości luminancji i jej rozkładu zależy poziom adaptacji narządu wzroku a tym samym jakość widzenia oraz wygoda widzenia. Uważa się, że warunki widzenia są najlepsze, gdy całe obwodowe pole widzenia ma równomierną luminancję (niezbyt małą w porównaniu z luminancją występującą w środkowym polu widzenia) i gdy rozkład luminancji w środkowym polu widzenia jest równomierny. Dodatkowo przy szybkich zmianach wartości luminancji następuje zmęczenie oka. Powyżej wartości 1000 cd/m^2 zwanej górną granicą luminancji, w praktycznych warunkach oświetleniowych, nie jest możliwe uzyskanie stosunkowo równomiernego rozkładu luminancji. Oko ludzkie ma zdolność adaptacji, tzn. dostosowywania się do widzenia przy luminancji zmieniającej się w bardzo szerokich granicach, jednak do jej nadmiernie wysokiej wartości oko nie jest w stanie się zaadaptować. Pojawia się wtedy uczucie przykrości, a nawet bólu. Natomiast praca przy zbyt małych wartościach luminancji powoduje początkowo zmęczenie oka, a następnie dalekowzroczność. Preferowane są poziomy luminancji od 1 do 1000 cd/m^2 .

Olśnieniem nazywany jest pewien przebieg procesu widzenia, przy którym występuje odczucie niewygody lub zmniejszenie zdolności rozpoznawania przedmiotów lub jedno i drugie, w wyniku niewłaściwego rozkładu luminancji lub niewłaściwego zakresu luminancji albo nadmiernych kontrastów w przestrzeni lub w czasie. Największa luminancja we wnętrzu wytwarzana jest przez same źródła światła. Zwykle luminancje te są zbyt duże, aby pozwolić na używanie źródeł światła bez odpowiedniego ograniczenia ich jasności w kierunku oczu pracownika.

Cechy barwne źródeł światła można opisać przez barwę światła emitowaną przez samo źródło tzw. barwę postrzeganą oraz zdolności oddawania barw, czyli wpływu barwy źródła światła na wygląd oświetlonego przedmiotu. Barwę postrzeganą światła, która zależy od składu widmowego promieniowania źródła światła, określa się liczbowo za pomocą tzw. temperatury barwowej T_b . Na wybór temperatury barwowej mają wpływ uwarunkowania psychologiczne, względy estetyczne i odczucie naturalności. Światło ciepłe wpływa uspokajająco i relaksująco, natomiast światło białe, czy też chłodno-białe jest bardziej stymulujące i daje lepsze warunki do intensywnej pracy. Wybór ten zależy od wartości natężenia oświetlenia, której zwiększaniu powinien towarzyszyć wzrost temperatury barwowej stosowanego źródła światła. Wybór ten podyktowany jest również barwą pomieszczenia i jego wyposażeniem jak i uwarunkowaniami klimatu lokalnego. W warunkach klimatu ciepłego preferowana są barwy zimne, zaś w warunkach klimatów chłodnych barwy ciepłe. Właściwości oddawania barw przez źródła światła charakteryzują się tzw. ogólnym wskaźnikiem oddawania barw R_a , którego maksymalna wartość wynosi 100. Wskaźnik ten jest miarą stopnia zgodności wrażenia barwy przedmiotu oświetlonego danym źródłem światła z wrażeniem barwy tego samego przedmiotu oświetlonego wzorcowym źródłem światła przy określonych warunkach. Dla pomieszczeń, gdzie ludzie przebywają i pracują przez dłuższy okres czasu wskaźnik ten nie powinien być mniejszy od 80.

4. METODYKA BADAŃ

Badaniami objęto 30 osób, 15 kobiet i 15 mężczyzn w wieku od 23 - 35 lat. Aby odzwierciedlić warunki asymetrii promieniowania, po prawej stronie osoby siedzącej przy biurku usytuowano źródło ciepła w postaci promiennika. Z drugiej strony stanowisko pracy

znajdowało się w pobliżu elewacji zewnętrznej o dużym stopniu przeszklenia. Z uwagi na fakt, że eksperyment przeprowadzany był w okresie zimowym (po zachodzie słońca), przy temperaturze zewnętrznej w granicach $-6 \div -9^{\circ}\text{C}$ możliwe było uzyskanie zróżnicowanych warunków termicznych w sąsiedztwie stanowiska pracy.

Do badań subiektywnych ocen środowiska wewnętrznego wykorzystano technikę badań kwestionariuszowych. W badaniach zastosowano siedmiostopniową skalę, zwykle stosowaną w badaniach komfortu cieplnego. Dodatkowo przeprowadzono również testy, w których oceniano oświetlenie, wentylację i inne cechy użytkowe pomieszczenia.

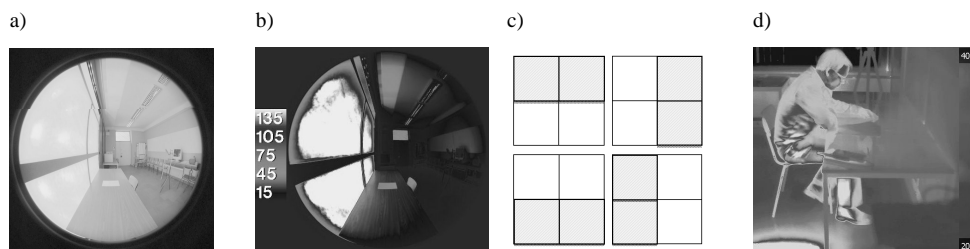
4.1. Temperatura i wilgotność

Zmienne opisujące środowisko cieplne i mające wpływ na odczucie komfortu cieplnego można rozpatrywać jako zmienne fizyczne i osobowe. Do pomiaru parametrów mikroklimatu oraz wpływu środowiska wewnętrznego na komfort cieplny ludzi użyto dwóch miniaturowych rejestratorów temperatury i wilgotności umieszczonych w odległości 1 m, po obu stronach osoby badanej oraz miernika komfortu cieplnego firmy INNOVA typ 1221. Miernik ten umożliwia pomiar wszystkich fizycznych parametrów potrzebnych do określenia komfortu cieplnego według norm ISO7730 i ISO7726. W oparciu o pomiar prędkości przepływu powietrza, wilgotności bezwzględnej mierzonej jako temperatura punktu rosy oraz temperaturę operatywną miernik wyznacza wartości PMV i PPD, przy określonych wartościach zmiennych osobowych, tj. izolacyjności cieplnej odzieży i metabolizmie. Wielkość metabolizmu przyjęto dla warunków pracy lekkiej w pozycji siedzącej (1,8 met), według normy ISO 7730. Izolacyjność odzieży określono w oparciu o kwestionariusze wypełniane przez osoby biorące udział w eksperymencie. Średnia wartość izolacyjności wynosiła 0,8 clo. Czujniki do pomiaru parametrów komfortu zamocowane były na statywie, na wysokości 1,2 m, usytuowanym za osobą biorącą udział w eksperymencie. Pomiar wielkości fizycznych dokonywany był w sposób ciągły przez 10 minut. W tym czasie osoby badane wypełniały kwestionariusz i testy.

4.2. Oświetlenie

Stanowisko do analiz oświetleniowych wyposażono w autorskie urządzenie, które stanowiło jedyne źródło światła w czasie przeprowadzonych badań. W urządzeniu tym można wyróżnić dwie podstawowe pionowe płaszczyzny. Pierwsza z nich stanowi źródło światła, którymi są żarówki wolframowe o mocy jednostkowej 75 W. Źródła światła zostały podzielone na cztery sekcje, po cztery żarówki równomiernie rozmieszczone w każdej. Każdą sekcję można regulować indywidualnie. Dodatkowo zaletą urządzenia jest możliwość regulacji natężenia oświetlenia każdej z sekcji osobno. Płaszczyznę drugą, równoległą względem pierwszej i oddaloną od niej o około 40 cm, podzielono na cztery powierzchnie, każda o wymiarach 1m×1m. Powierzchnie te wykonano z materiału o wysokim współczynniku rozpraszania światła. Urządzenie zostało wykonane tak aby panele można w bardzo prosty sposób zastąpić innymi, wykonanymi z różnych materiałów (o dowolnej przepuszczalności i barwie) lub całkowicie je przysłonić. Na każdy z paneli przypada jedna sekcja oświetleniowa. Dodatkowo stanowisko można usytuować dowolnie względem badanej osoby i jej płaszczyzny roboczej, zapewniając zróżnicowany dostęp światła. Odczucia osób badanych sprawdzane były dla różnych wartości natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej oraz

zmiennym kierunku promieniowania świetlnego. Pomiary natężenia oświetlenia dokonywano luksośmierzami precyzyjnymi klasy A. Na rysunku 1 przedstawiono widok stanowiska, możliwą zmianę jasności płaszczyzny świecenia, rozkład luminancji oraz rozkład promieniowania cieplnego w otoczeniu osoby badanej.



Rys. 1. Widok stanowiska (a), cztery sposoby oświetlenia miejsca pracy (b), rozkład luminancji [cd/m^2] (c) oraz rozkład temperatury [$^{\circ}\text{C}$] (d)
 Fig. 1. Side view of a stand (a), four illumination method (b), luminance distribution [cd/m^2] (c) and temperature distribution [$^{\circ}\text{C}$] (d)

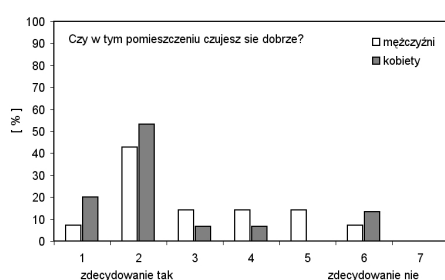
5. WSTĘPNE PRZYKŁADOWE WYNIKI ANALIZ

Po wstępnym ustabilizowaniu się warunków termicznych różnice temperatury wywołane jednostronnym oddziaływaniem źródła ciepła wynosiły średnio 5°C , osiągając wartości z przedziału $19 \div 28^{\circ}$. W przypadku wilgotności względnej powietrza wyraźnie zaznaczył się spadek wartości zarejestrowany przez czujnik zlokalizowany w pobliżu grzejnika. Maksymalnie osiągał on wartość 9%. Podczas gdy w przypadku czujnika umieszczonego w pobliżu okna wynosił on około 5%. Wartości wilgotności względnej wahały się w zakresie od 24% do 50%, osiągając w niektórych okresach wartości poniżej komfortowych ($<30\%$).

Podczas trwania eksperymentu przepływ powietrza charakteryzował się wielkościami odpowiadającymi warunkom komfortu. Maksymalne wartości nie przekraczały $0,15\text{m/s}$. Zanotowano jednak sytuacje, w których następowała stagnacja powietrza, a prędkość mieściła się w zakresie $0 \div 0,05\text{m/s}$. Tak niskie wartości niewątpliwie powodowały pogorszenie warunków komfortu. W większości przypadków wartości PMV mieściły się w zakresie komfortowym ($-0,5 \div +0,5$), bardzo często oscylując wokół zera. Jednakże w kilku przypadkach przewidywana średnia ocena wskazywała na pogorszenie warunków komfortu przyjmując wartości mniejsze od $-0,5$. Odpowiadają one sytuacji, w której osoby przebywające w pomieszczeniu odbierają je jako zbyt chłodne. Powyższe zjawisko odnotowano również podczas analizy ankiet wykonywanych przez respondentów (Rys. 3). Wskaźnik PPD wykazywał podobny charakter, osiągając w większości przypadków wartości poniżej 10%. Jedynie w okresach pogorszenia się warunków komfortu wzrastał do 20%.

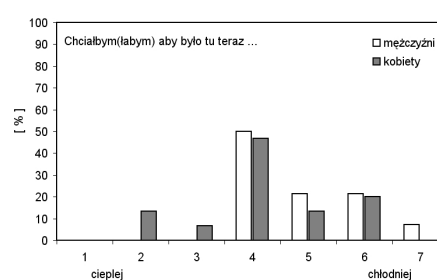
Analiza ankiet dotyczących odczuć cieplnych wykazała, że większość badanych osób odbierała środowisko jako komfortowe lub obojętne (Rys. 2). Jedynie 21% mężczyzn i 13% kobiet nie było zadowolonych z warunków panujących w pomieszczeniu. Dla

większości respondentów temperatura panująca w pomieszczeniu była zbyt wysoka. Jednak 20% kobiet chciało aby w pomieszczeniu było umiarkowanie lub nieznacznie cieplej (Rys. 3). Różnica temperatur wywołana jednostronnym nagrzewaniem osoby siedzącej przy biurku była odczuwana przez 93% mężczyzn i 74% kobiet (Rys. 4). Wyraźnie zarysowała się grupa kobiet nie odczuwająca zmian temperatury (20%). Warunki wilgotnościowe nie wywierały wpływu na odczuwanie komfortu u 64% kobiet i mężczyzn (Rys. 5). Pozostała grupa kobiet w większości preferowała zwiększenie wilgotności powietrza. Wśród osób, które uważały, że powietrze w pomieszczeniu powinno być nieznacznie lub umiarkowanie bardziej suche przeważali mężczyźni (14%).



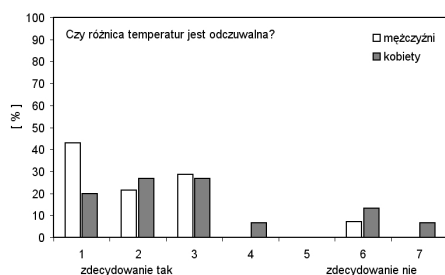
Rys. 2. Procentowy udział osób zadowolonych

Fig. 2. Percentage of satisfied people



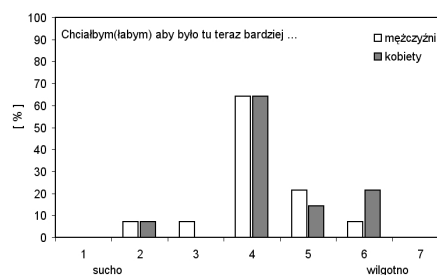
Rys. 3. Preferencje respondentów odnośnie warunków termicznych w pomieszczeniu

Fig. 3. Preference of the respondents in relation to thermal conditions in the room



Rys. 4. Odczucia różnicy temperatury

Fig. 4. Sensation of temperature difference

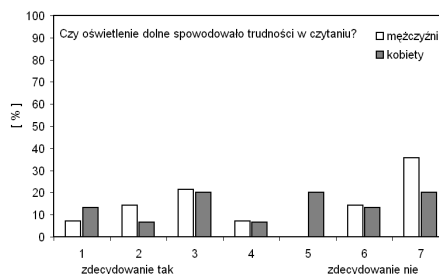


Rys. 5. Preferencje respondentów odnośnie wilgotności w pomieszczeniu

Fig. 5. Preference of the respondents in relation to humidity in the room



Rys. 6. Odczucia dotyczące wpływu luminancji płaszczyzny świecącej
Fig. 6. Sensation of luminance of light source



Rys. 7. Preferencje respondentów odnośnie doświetlenia światłem dolnym
Fig. 7. Preference of the respondents under down direction light conditions

Badania przeprowadzono także dla różnych wariantów oświetlenia. W pierwszym zadaniu badane osoby miały określić czytelność tekstu przy włączonych wszystkich sekcjach i natężeniu oświetlenia na płaszczyźnie biurka równym 100 lx. W badaniu drugim badano wpływ kierunku padania światła. W tym celu włączano odpowiednie sekcje oświetlenia zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1b (pola zakreślowane odpowiadają włączonym sekcjom oświetlenia). Następnie dokonywano oceny komfortu wizualnego przy natężeniu oświetlenia 300 lx.

Dla większości badanych respondentów różnice w luminancji pomiędzy płaszczyzną doświetlającą a otoczeniem były średnio uciążliwe bądź też wcale nie wpływały na ocenę stanowiska (Rys. 6). Bardzo zróżnicowane odpowiedzi otrzymano podczas pytań dotyczących kierunkowości światła. Przykładowe wyniki dla przypadku oświetlenia dolnego (Rys. 7) nie precyzują odczuć respondentów.

6. PODSUMOWANIE

Praca zawiera opis oraz pierwsze wyniki uzyskane za pomocą autorskiej metody oceny parametrów ciepłno-oświetleniowych w sztucznym środowisku pracy. Niewielka ilość badanych respondentów nie pozwala na tym etapie sformułować bardziej ogólnych wniosków. Potwierdza natomiast wpływ zmieniających się parametrów na odczucia użytkowników, szczególnie w zakresie komfortu termicznego. Natomiast zakres badań ankietowych w obszarze zagadnień komfortu wizualnego wymaga dalszego dopracowania.

7. LITERATURA

- [1] Śliwowski L.: *Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach*: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2000.
- [2] Fanger P.O.: *Komfort cieplny*: Arkady, 1974
- [3] Kostyrko K., Łobzowski A.: *Klimat pomiar, regulacja*: Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2002.
- [4] PN-78/B-03421 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.

- [5] Traczyk W. Z., Trzebski A.: *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej*: PZWL, Warszawa, 2004.
- [6] PN-EN ISO 7730: 2006 (U) *Ergonomia. Środowisko termicznie umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PPV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*.
- [7] PN-EN 12464-1 *Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część I. Miejsca pracy we wnętrzach*.

METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF THERMAL AND VISUAL COMFORT IN ARTIFICIAL WORKING ENVIRONMENT

SUMMARY

Paper presents description of proposed methodology for simultaneous assessment of thermal and visual comfort. Methodology is devoted to estimate parameters in artificial working environment occurs in e.g. offices. Some initial results were also discussed.

Dariusz HEIM, dr inż.

Eliza SZCZEPAŃSKA, mgr inż.

Politechnika Łódzka

Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź

e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl, eliza.szczepanska@p.lodz.pl

OCENA JAKOŚCI OŚWIETLENIA WNĘTRZ O WYSOKIM NATĘŻENIU ŚWIATŁA ROZPROSZONEGO

STRESZCZENIE

W pracy podjęto próbę oceny jakości środowiska wewnętrznego w miejscu pracy wzrokowej, pod kątem komfortu wizualnego. Wybrano istniejące pomieszczenie czytelní, przeznaczonej do pracy z tradycyjnymi materiałami piśmiennymi oraz/lub komputerem. Ocenę dokonano w oparciu o wyniki pomiarów *in situ*, analizy obrazów cyfrowych oraz analizę numeryczną dla opracowanego modelu komputerowego. Celem analizy porównawczej było stworzenie modelu komputerowego najbardziej odpowiadającego rzeczywistości. W przyszłości ma on posłużyć dla potrzeb dalszych analiz mających na celu modyfikację rozwiązania fasady pod kątem spełnienia wymagań użytkowych. Porównywanymi parametrami były: luminancja poszczególnych powierzchni oraz natężenie oświetlenia na blatach roboczych. Otrzymane wyniki pozwoliły dodatkowo na dokonanie oceny poziomu natężenia oświetlenia, luminancji powierzchni doświetlających, kontrastów luminancji oraz temperatury barwowej światła.

1. WPROWADZENIE

Wykorzystanie światła dziennego do oświetlania wnętrz budynków użyteczności publicznej jest podstawowym warunkiem dla zapewnienia komfortowego i zdrowego środowiska pracy [1]. Do wielu zalet wynikających z naturalnego oświetlenia wnętrz należą: barwa światła, ciągłe widmo promieniowania oraz wysoka wartość światłości zapewniająca najwyższe, wymagane wartości natężenia oświetlenia. Wszystkie te zalety pozwalają na efektywne oświetlenie miejsc pracy przy zastosowaniu prawidłowego systemu oświetlenia – fasadowego lub połaciowego. Opis samych systemów znaleźć można w innych pracach [2], do których należą m.in.: półki świetlne [3], łamacze światła [4] oraz światłowody [5]. Powyższe rozwiązania stosuje się z uwagi na niedogodności wynikające z uwarunkowań architektoniczno-przestrzennych oraz specyfiki światła naturalnego. Do grupy pierwszej

należą problemy wynikające z określonej orientacji względem stron świata, kontekstu urbanistycznego, wielkości i podziału wewnętrznego budynku, proporcji a w szczególności głębokości pomieszczeń oraz wymagań szczegółowych. Drugi obszar problemu to specyfika światła dziennego, które poza szeregiem zalet posiada dwie podstawowe wady: zmienność ilościową i jakościową. Zmienność ilościową należy rozumieć jako zmianę strumienia świetlnego docierającego do dowolnie nachylonej płaszczyzny na powierzchni ziemi. Jest to wartość energii promieniowania słonecznego z zakresu promieniowania widzialnego, przez co podlega tym samym prawom co całkowite promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni ziemi. Zmiana ilości promieniowania wynika zarówno z procesów zachodzących w atmosferze ziemskiej jak i zjawisk optycznych na powierzchni ziemi. Efektem tych samych procesów jest zmienność jakościowa światła słonecznego polegająca na zmiennych proporcjach pomiędzy promieniowaniem bezpośrednim a rozproszonym oraz zmiennej temperaturze barwowej światła.

Mając na uwadze kryterium jakości oświetlenia wnętrz należy podkreślić, że zjawiska nadmiernych kontrastów luminancji w przestrzeni lub czasie pogarszających jakość widzenia wywołane są poprzez wnikanie do wnętrza energii świetlnej w postaci promieniowania bezpośredniego. Jednoczesne rozpraszanie promieniowania prowadzi w konsekwencji do jego osłabienia. Tym samym znalezienie odpowiednich proporcji pomiędzy strumieniem energii w postaci promieniowania bezpośredniego i rozproszonego stanowi zawsze wyzwanie w optymalizacji rozwiązań architektoniczno-budowlanych [6].

2. ARCHITEKTURA OBIEKTÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Od czasów masowego zastosowania szkła w budownictwie, czyli od połowy XIX wieku architektura obiektów wielko-kubaturowych, w tym budynków użyteczności publicznej zdominowana została przez elementy transparentne. Początkowo szkło stosowane było wyłącznie w elementach pełniących funkcję doświetlającą. Z czasem, w wieku XX, zastąpiło ono tradycyjne materiały elewacyjne. Architektura budynków pokrytych szklanymi taflami nie zmieniła się praktycznie do dziś. Najczęściej charakteryzują się ona równomiernym rozwiązaniem wszystkich elewacji, gładką czyli pozbawioną zewnętrznych elementów zacieniających powierzchnią oraz nie otwieralnymi oknami. Często szkło elewacyjne modyfikowane jest pod względem właściwości optycznych, tj. współczynników odbicia lub pochłaniania promieniowania słonecznego. Proporcje powierzchni części transparentnej do części nieprzezierniej uwarunkowane są wymaganiami wewnętrznymi. Od początku lat 90-tych wiele budynków wyposażono w szklane fasady o budowie dwupowłokowej (*ang. Double Skin Facade*). Tego typu modyfikacja stwarzała możliwość sterowania parametrami środowiska w między-przestrzeni, a tym samym kontrolowania docierających lub odpływających z budynku strumieni energii [7].

Rodzaje szkła wykorzystywanego w budownictwie różnią się od siebie w zależności od przeznaczenia. W przypadku elementów fasadowych podstawowymi parametrami fizycznymi zestawów szybowych są współczynnik przenikania ciepła oraz współczynnik zysków energii promieniowania słonecznego. Niskie, czyli korzystne wartości współczynnika przenikania ciepła osiągane są zazwyczaj poprzez ograniczenie wymiany ciepła pomiędzy powierzchnią szyb a powietrzem wewnętrznym (powłoki niskoemisyjne) lub gazem w przestrzeni międzyszybowej (wypełnienie gazem szlachetnym). W nowoczesnych

rozwiązaniach np. pustaków lub dyli szklanych przestrzeń międzyszybową wypełniana jest dodatkowo materiałem termoizolacyjnym o właściwościach przeświecających (*ang. transparent insulation*). Natomiast regulacja współczynnika zysków energii promieniowania słonecznego odbywa się poprzez zmianę przepuszczalności szyb. Realizowane jest to na dwa sposoby. Poprzez zmianę współczynnika odbicia bądź absorpcji (lub jedno i drugie) energii promieniowania słonecznego [8]. Zmiana obu współczynników odbywa się najczęściej w oparciu o zmianę barwy szyb, a więc osłabienia energii również w zakresie promieniowania widzialnego. Istnieją jednak także rozwiązania polegające na zmniejszeniu współczynnika zysków energii promieniowania słonecznego na skutek rozproszenia, najczęściej bez lub z niewielką zmianą temperatury barwowej przenikającego światła. Właśnie tego typu rozwiązaniom poświęcono analizę opisaną w niniejszej pracy.

3. OPIS PRZYPADKU

Oceny dokonano dla wybranego pomieszczenia czytelnicy wyposażonej w sześć stanowisk do czytania oraz pracy z komputerem. Biurka ustawiono w dwóch rzędach po trzy w każdym. Materiałem wykończeniowym blatów biurek jest jasna okleina drewnopochodna. Poszczególne pulpity ponumerowano zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 1. Pomieszczenie ma zapewnione doświetlenie światłem dziennym, za pomocą elementów pionowych, od strony wschodniej i zachodniej. Od wschodu źródłem światła są dyli szklane umieszczone na całej wysokości pomieszczenia. Wykonane zostały z dwóch warstw szkła matowego o wysokim współczynniku rozpraszania światła. Część dyli została przesłonięta od środka elementami nieprzepuszczającymi światła dziennego (lewa strona rys. 1).



Rys. 1. Wnętrze analizowanego pomieszczenia

Fig. 1. Interior of analyzed room

Powyższa modyfikacja wykonana została na własną rękę przez pracowników w celu ochrony przed nadmiernym nagrzewaniem. Od północy pomieszczenie doświetlone jest w sposób pośredni za pomocą szeregu okien przesłoniętych od zewnątrz kurtyną poziomych

żałuzji drewnianych. Podłogę w pomieszczeniu wykonano z materiału w kolorze jasnego drewna, sufit zaś ma budowę nieregularną wynikającą z zamontowanej w górnej części pomieszczenia instalacji. Dodatkowe powierzchnie ograniczające stanowią półki z książkami.

4. POMIAR A TECHNIKA HDR

Pomiary dla rzeczywistych warunków użytkowania pomieszczenia wykonano na dwa sposoby: poprzez pomiar natężenia oświetlenia w wybranych punktach płaszczyzny roboczej oraz rejestrując obrazy przestrzenne wnętrza. Pomiary wykonano przy pomocy luksomierza precyzyjnego. Poszczególne wyniki miały charakter pomiarów punktowych, natężenia oświetlenia dla płaszczyzny o określonym kącie nachylenia. Natomiast metoda oparta na obrazach przestrzennych jest analizą przestrzenną uwzględniającą położenie obserwatora. Na tej podstawie możliwy jest do oszacowania np. kontrast luminancji dla danej sceny. W celu prawidłowego wykalibrowania otrzymanych wyników oraz oddania rzeczywistego zakresu tonalnego zastosowano technikę HDR (High Dynamic Range). Jest to metoda pozwalająca na uzyskanie obrazu o szerokim zakresie tonalnym w wyniku połączenia kilku obrazów cyfrowych o różnych parametrach ekspozycji dobranych w ten sposób, aby poszczególne klatki zarejestrowały wszystkie zakresy luminancji. Zalety tej techniki wykorzystywane są m.in. w analizach ilościowych obrazu. Wynika to z właściwości obrazów cyfrowych oraz faktu, iż poszczególne piksele zawierają bezpośrednie informacje o luminancji danego punktu. Dzięki temu oraz przy zastosowaniu dodatkowych kalibracji, technika HDR wykorzystywana może być również przy tworzeniu map luminancji. Pierwsze próby wykorzystania opisywanej techniki, w odniesieniu do zewnętrznych warunków oświetlenia, autorzy podjęli w pracy [9].

5. METODA SYMULACYJNA

Do analiz numerycznych rozkładu natężenia oświetlenia wykorzystano metodę śledzenia promienia wstecznego (*backward ray tracing*) [10]. Proces zaczyna się od oka obserwatora skąd prowadzone są promienie w kierunku źródeł światła przy uwzględnieniu wszystkich fizycznych interakcji (odbicia, refrakcji) z powierzchniami napotkanych przedmiotów składających się na scenę. Uwzględnienie tylko tych promieni, które dotrą do punktu obserwacji, nie zaś wszystkich jakie zostały wysłane ze źródła światła wielokrotnie skraca czas trwania obliczeń. Metodę śledzenia promienia opisano m.in. w pracy [11].

Każdy z promieni w scenie „niesie” pewną ilość luminancji energetycznej (radiancji), która w programie *Radiance* podzielona jest na trzy kanały RGB - czerwony R, zielony G, niebieski B. Przekształcenie z jednostki radiometrycznej - luminancji energetycznej R w jednostkę fotometryczną - luminancję L jest uzyskiwane po zakończeniu procesu śledzenia promienia. Podział na trzy kanały umożliwia uwzględnienie w obliczeniach zmienności charakterystyk odbiciowych materiałów oraz własności źródeł światła w zakresie widzialnym promieniowania elektromagnetycznego. Rodzaj interakcji promienia światła z obiektem zależy od rodzaju materiału przypisanego do jego powierzchni. Program *Radiance* oferuje 4 klasy materiałów (zawierające po kilka typów materiałów), których własności (m. in. współczynnik odbicia, chropowatość, teksturę i wzór) można dodatkowo modyfikować za pomocą dostępnych funkcji.

6. WYNIKI POMIARÓW

Pomiarów dokonano w dniu 22 września 2009, czyli jeden dzień po dniu równonocy. Na każdym z sześciu stanowisk (rys. 1) dokonano odczytów wartości natężenia oświetlenia. Pomiarów dokonano na płaszczyznę poziomą i pionową przy prawej (P) i lewej (L) krawędzi wszystkich, sześciu biurek. Zmierzone wartości natężenia oświetlenia zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Zmierzone wartości natężenia oświetlenia o godzinie 12:00

Table 1. Measured luminance at noon

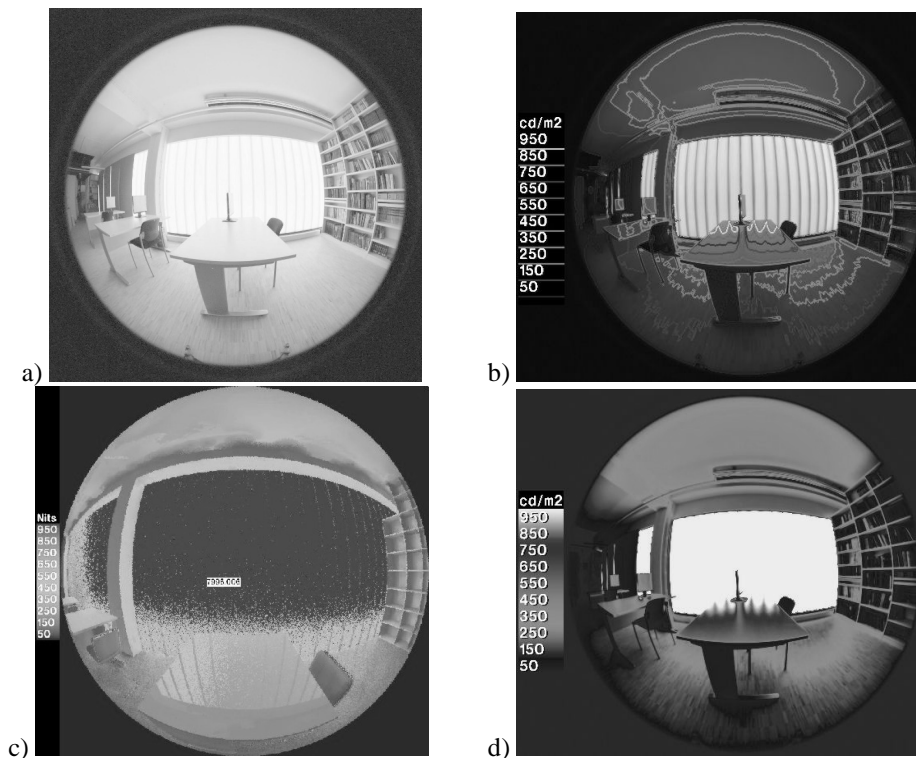
Strona	Położenie	1	2	3	4	5	6
P	Poziome	5 050	3 550	2 300	1 060	1 580	1 600
P	Pionowe	10 210	7 560	4 330	2 400	3 560	3 550
L	Poziome	2 630	2 200	1 260	580	800	740
L	Pionowe	5 930	4 680	2 540	1 870	2 580	1 700

W każdym miejscu ocenianej płaszczyzny roboczej otrzymane natężenie ma wartości powyżej 500 lx. Jednocześnie obserwuje się dziesięciokrotną różnicę natężenia dla najsilniej i najsłabiej oświetlonej płaszczyzny. Najlepiej oświetlonym miejscem pracy jest biurko nr 1, zaś najgorzej biurko nr 4. Różnica ta wynika z przesłonięcia biurek 2 i 5 słupem oraz biurek 3 i 4 elementami kurtyn okiennych. Spadek natężenia oświetlenia pomiędzy rzędami biurek (odległość około 3m) wynosi aż 68%. Odnosząc otrzymane wyniki do natężenia oświetlenia na zewnątrz budynku (68 klx) należy zauważyć, że najwyższy otrzymany współczynnik oświetlenia dziennego wynosi ponad 7, zaś najniższy poniżej 1.

7. WYNIKI ANALIZ OBRAZÓW HDR

Analizę obrazów HDR dokonano dla dwóch scen o oku kamery zwróconym w stronę ściany południowej. Przypadek 1 posłużył do analizy luminancji w obszarze rzędu przyokiennego (biurka 1÷3), zaś przypadek 2 w obszarze rzędu środkowego (biurka 4÷6). Wszystkie wyniki zamieszczono na rysunkach 2 i 3, gdzie zestawiono je z wynikami uzyskanymi za pomocą symulacji komputerowych. Rysunki 2a i 3a przedstawiają obraz HDR po obróbce stanowiący element bazowy do tworzenia rozkładów luminancji. Rysunki 2b i 3b przedstawiają rozkłady luminancji w postaci izolini natomiast 2d i 3d w postaci bitmapy. Analizując otrzymane wyniki należy stwierdzić, że luminancja powierzchni będącej źródłem światła dziennego znacznie przekracza wartości 1000 cd/m².

Po dokładnej analizie obrazów wykonanych w innej skali wartości luminancji stwierdzono, że dla części środkowych dyli jest to wartość nawet powyżej 2000cd/m². Jednocześnie na fragmencie biurka znajdującego się w części przyokiennej wyznaczone wartości to około 1500 cd/m². Pozostałe powierzchnie elementów wyposażenia wewnątrz dają wartości luminancji poniżej 1000 cd/m². Analizując wyniki otrzymane dla drugiego rzędu biurek w głębszej części pomieszczenia (rys. 3) należy zauważyć większe kontrasty pomiędzy powierzchnią przeszklenia a otaczającymi elementami. Maksymalna luminancja fragmentu powierzchni biurka nie przekracza 1000 cd/m², zaś dla pozostałych elementów nie jest większa od 500 cd/m².



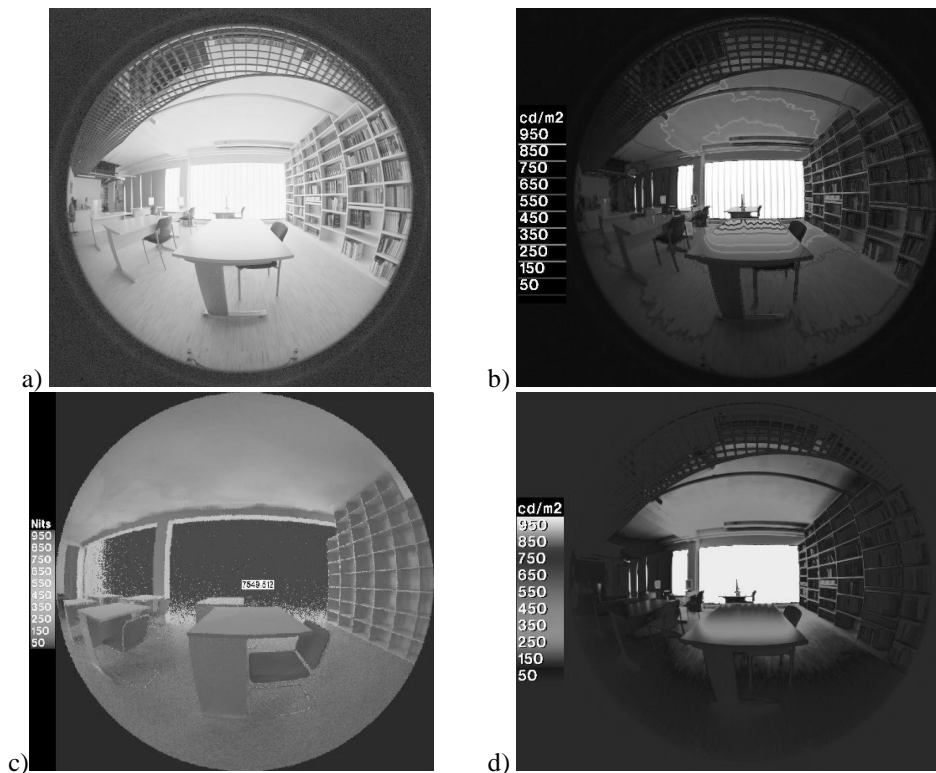
Rys. 2. Wyniki – skala 0-1000 cd/m^2 a) obraz HDR, b-d) rozkład luminancji dla rzędu przyokiennego b) izoliny na bazie HDR, c) symulacja, d) bitmapa na bazie HDR.

Fig. 2. Results – scale 0-1000 cd/m^2 a) image HDR, b-d) luminance distribution for close window raw b) isolines based on HDR, c) simulation, d) bitmap based on HDR

8. WYNIKI ANALIZ NUMERYCZNYCH

Dla potrzeb obliczeń numerycznych stworzono model pomieszczenia o parametrach optycznych przeszkleń i elementów nieprzeziernych dobranych w taki sposób, aby otrzymywane dla warunków pomiarowych wyniki były zbliżone do rzeczywistych.

Wyniki zamieszczono na rysunkach 2c i 3c. Otrzymano wyniki zbliżone co do wartości do wyników uzyskanych na drodze pomiarów oraz techniką HDR. Natężenia oświetlenia na płaszczyznach biurów różniły się od 10 do 30% w zależności od miejsca. Duże różnice występujące szczególnie dla części przyokiennej świadczyć mogą o błędnie dobranej charakterystyce samych przeszkleń. Potwierdzają to wyniki zamieszczone na rysunkach 2c, 2d, 3c i 3d. Zastanawia jedynie niższa wartość luminancji szyb w obszarze poniżej płaszczyzny roboczej. Jednakże komputerowe obrazy nie uwzględniają tak dużej głębi kontrastów luminancji. Jest to szczególnie widoczne w płaszczyźnie podłogi oraz na wysokości blatów roboczych. Jest to dobrze widoczne w postaci bardziej płaskich obrazów luminancji. Barwę przenikającego światła, na podstawie analiz HDR, ocenić należy jako umiarkowanie chłodną.



Rys. 3. Wyniki – skala 0-1000 cd/m^2 a) obraz HDR, b-d) rozkład luminancji dla rzędu środkowego b) izolinie na bazie HDR, c) symulacja, d) bitmapa na bazie HDR.

Fig. 3. Results – scale 0-1000 cd/m^2 a) image HDR, b-d) luminance distribution for middle row b) isolines based on HDR, c) simulation, d) bitmap based on HDR

9. WNIOSKI

Przedstawione wyniki oceny stanu istniejącego pomieszczenia przeznaczonego do pracy umysłowej utrzymano na podstawie: pomiarów *in-situ*, analiz obrazów HDR oraz symulacji komputerowych. Stworzony w środowisku *Radiance* model pomieszczenia wymaga dalszej kalibracji z uwagi na rozbieżności w otrzymanych wynikach natężenia oświetlenia na płaszczyznach roboczych. W zakresie rozkładu luminancji dla analizowanych widoków uzyskano zadawalającą zgodność. Oceniając wnętrze pod kątem jakości oświetlenia dziennego stwierdzono istotne kontrasty luminancji w przestrzeni, mogące w dłuższym czasie prowadzić do dyskomfortu użytkowników.

10. LITERATURA

- [1] Heim D., Klemm P., Narowski P., Szczepańska E.: *Komputerowa analiza oświetlenia dziennego i ocena parametrów komfortu wizualnego w pomieszczeniach*. (red. D. Heim) Łódź. Wydawca Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Politechnika Łódzka, 2007.

- [2] International Energy Agency, A report of IEA SHC Task 21/ ECBCS Annex 29: "Daylighting in Buildings – A Source Book on Daylighting Systems and Components", 2000.
- [3] Heim D., Kieszkowski K.: Wpływ zastosowania poziomych półek świetlnych na komfort wizualny we wnętrzach budynków. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska* z. 40. *Energia Odnawialna – innowacyjne idee i technologie dla budownictwa*. Rzeszów 2006, nr 229, s. 197-202, 2006.
- [4] Balcerzak W., Heim D.: Badania wybranych parametrów wizualnych żaluzji typu FISH. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* 2007, Tom 2 s. 11-14, 2007.
- [5] Darula S., Kittler R., Kocifaj M., Plch J., Mohelnikova J., Vajkay F., *Osvetlovani Svetlovody*, Grada Publishing, 2009.
- [6] Duda E., Heim D., Jędrzejuk H., Klemm K., Marks W., Walerian E.: Problem optymalizacji wielokryterialnej budynków mieszkalnych z zastosowaniem kryteriów ekonomicznych, komfortu wewnętrznego oraz ochrony środowiska. *Materiały Konferencyjne XII Konferencji Naukowo-Technicznej Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, Łódź-Słok, 2009, s. 45-48
- [7] Heim D., Interaction between external environment and building stimulated by dynamic envelope with inter-space: *Proceedings of the 2008 World Sustainable Building Conference vol. 2*, Ed. G. Foliente, T. Luetzkendorf, P. Newton, P. Peavere, pp. 2919-2925, 21-25, Melbourne, 2008.
- [8] Nowak Ł., Nowak H.: Badania przepływu strumienia ciepła od promieniowania słonecznego przez szyby o różnych charakterystykach radiacyjnych, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, tom IV*, 147-152, Łódź, 2009.
- [9] Górko M., Heim D., Szczepańska E.: Porównanie wybranych technik przetwarzania obrazów cyfrowych dla potrzeb określania zewnętrznych warunków oświetleniowych, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, Tom 4, 2009, s. 37-44.
- [10] Larson G.W., Shakespeare R.: *Rendering with Radiance – The Art and Science of Lighting Visualization*, Morgan Kaufman Publishers Inc., San Francisco, California, 1998.
- [11] Szczepańska E., Heim D., Program Desktop-Radiance do analizy natężenia oświetlenia i luminancji w budynkach, *Mat. IX Konferencji Naukowo – Technicznej Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, s.640-647, Łódź, 10-13 czerwiec 2003.

ESTIMATION OF LUMINANCE IN BUILDING'S INTERIORS WITH HIGH LEVEL OF DIFFUSE LIGHT

SUMMARY

Analyses presented in a paper were devoted to estimate visual quality of intellectual working space. The results were obtained based on measurements *in-situ*, processing of HDR images and numerical simulations. Based on the obtained result four parameters of indoors visual quality were estimated: luminance, illuminance, contrast and colour temperature.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2008-2011, jako projekt badawczy nr 3989/B/T02/2008/35 „Wielokryterialna optymalizacja budynków mieszkalnych z uwzględnieniem kryteriów: ekonomicznych, ochrony środowiska oraz komfortu w okresie całego roku”.

T. JANOWSKI, prof. dr hab inż.

M. HOLUK, mgr inż.

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ W MIKROKOGENERACJI

STRESZCZENIE

W artykule opisano zagadnienia związane z układami skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w budynkach. Przedstawiono układy mikro-kogeneracyjne wykorzystujące różne postaci energii pierwotnej. Omówiono potencjalne możliwości wykorzystania paliw regionalnych oraz czynniki pozwalające na rozwijanie tej tematyki w najbliższych latach.

1. WPROWADZENIE

Ograniczone zasoby energii pierwotnej, zagrożenia wywołane emisją gazów cieplarnianych, niska sprawność systemów przesyłowych energii cieplnej, wymagania wysokiej jakości energii elektrycznej przez zaawansowane technologie przemysłowe i informatyczne wymagają poszukiwania innych sposobów wytwarzania, przesyłania i użytkowania energii elektrycznej i cieplnej. Jednym z rozwiązań jest idea generowania energii elektrycznej i ciepła bezpośrednio w mieszkaniu, a szczególnie w domu jednorodzinnym, pod nazwą „elektrociepłownie domowe” (ang. Power plant for Home), Combined Heat and Power for the Home – CHPH. Wytwarzanie i eksploatację takich urządzeń podjęto w latach 2003 – 2006 m.in. w Japonii, Stanach Zjednoczonych oraz Niemczech. Rozwiązanie takie podnosi stopień wykorzystania energii cieplnej oraz eliminuje straty przesyłu energii cieplnej i elektrycznej. Mimo mniejszej sprawności generacji energii elektrycznej całkowita sprawność CHPH jest znacznie większa niż dużych systemów elektroenergetycznych. Taki system podnosi bezpieczeństwo energetyczne oraz zmniejsza zapotrzebowanie na energię elektryczną wysokiej jakości konieczną dla zaawansowanych technologii przemysłowych, ułatwia także wykorzystanie z energii ze źródeł odnawialnych. Źródłem energii pierwotnej może tu być gaz naturalny, gaz ciekły, paliwa ropopochodne, wodór (ogniwa paliwowe), biogaz, biomasa.

Poszukiwania nowych rozwiązań dla zapewnienia zasilania elektrycznego i ogrzewania małych obiektów doprowadziły do rozwoju technologii związanych ze skojarzoną produkcją energii cieplnej i elektrycznej (ang. Micro Combined Heat and Power -

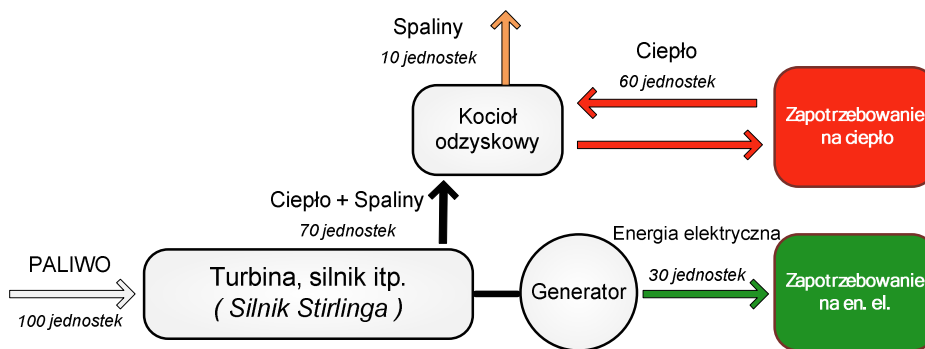
microCHP) w oparciu o źródła małej mocy także z wykorzystaniem źródeł odnawialnych. Taką skojarzoną produkcję energii cieplnej i elektrycznej nazwano mikrokogeneracją lub minikogeneracją w zależności od uzyskiwanych mocy.

Zastosowanie mikrokogeneracji daje duże możliwości małym podmiotom. Dlatego obok dużych elektrociepłowni zawodowych i przemysłowych na świecie coraz większą popularnością cieszą się małe układy skojarzone (50 KW÷3 MW). Pozwalają one na zastosowanie skojarzonego wytwarzania w małych urządzeniach wszędzie tam, gdzie występuje niewielkie zapotrzebowanie na moc cieplną i elektryczną w pojedynczych obiektach (szkoła, szpital) lub grupach obiektów (małe osiedle mieszkaniowe). Małe układy skojarzone zasilane są głównie gazem, czasem paliwem olejowym, więc ich stosowanie korzystnie wpływa na strukturę zużycia paliw w systemach energetycznych poszczególnych państw.

2. IDEA DZIAŁANIA MICRO-CHP

Idea działania systemu microCHP polega na równoczesnej produkcji dwóch lub więcej typów energii użytkowej z pojedynczego źródła energii i wykorzystaniu ciepła odpadowego z urządzeń wytwarzających energię elektryczną (Rys.1).

Stosowane technologie skojarzonego wytwarzania są korzystne zarówno z ekonomicznego, jak i ekologicznego punktu widzenia. Można je zastosować wszędzie tam, gdzie równocześnie występuje zapotrzebowanie na ciepło i energię elektryczną, a inwestowanie w duży układ elektrociepłowni nie jest możliwe lub wręcz nieopłacalne. Zatem małe układy skojarzone instalowane są przede wszystkim tam, gdzie przez dużą liczbę godzin w roku występuje znaczne zapotrzebowanie na ciepło grzejne i energię elektryczną.

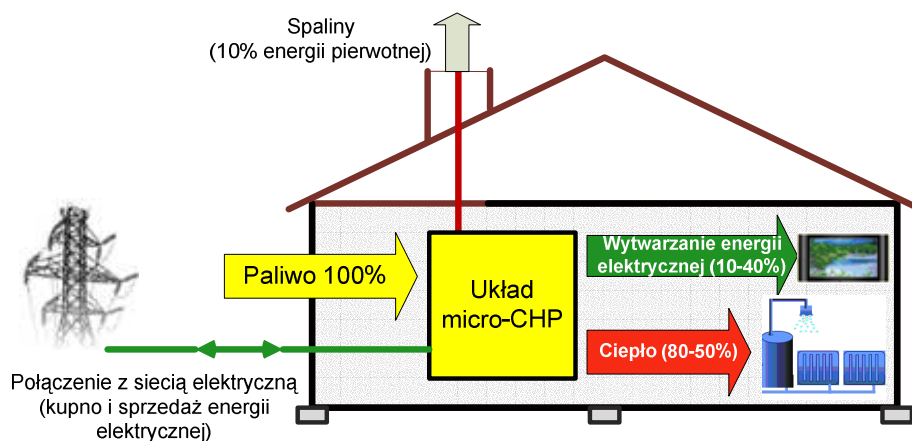


Rys. 1. Idea działania mikro-CHP [10].

Fig. 1. The micro-CHP Concept [10].

Wśród najnowszych rozwiązań proponowane są systemy małej mocy (microCHP) o mocy cieplnej poniżej 10 kW i mocy elektrycznej 1-5 kW dedykowane dla pojedynczego gospodarstwa domowego. Idea działania takiej „mikroelektrociepłowni domowej” polega na umiejscowieniu zarówno źródła energii elektrycznej jak i cieplnej wewnątrz zasilanego

budynku co eliminuje całkowicie straty ciepła oraz koszty przesyłu. Schemat działania takiego układu pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Przedstawienie schematu działania układów mikro-kogeneracyjnych [9].

Fig. 2. Presentation scheme of working micro-CHP plants [9].

W systemie microCHP energia pierwotna w postaci gazu ziemnego i płynnego, oleju napędowego, biomasy i innych, jest przetwarzana na energię elektryczną i ciepłą. Sprawność całkowita układu wynosi ok. 90%. Energia elektryczna wytwarzana jest w alternatorze napędzanym silnikiem cieplnym, którego sprawność zawiera się w przedziale 10-40%. Ciepło uzyskiwane w efekcie spalania paliw jest odzyskiwane w systemie wymienników ciepła i stanowi 50-80% energii pierwotnej. Ciepło wykorzystywane jest do ogrzania wody użytkowej oraz w systemie ogrzewania centralnego.

Podział energii na ciepło i prąd elektryczny wynika z uwarunkowań klimatycznych i geograficznych, tzn. w okresach kiedy nie potrzebna jest energia na ogrzewanie mieszkania (miesiące letnie), system ukierunkowany jest na wytwarzanie energii elektrycznej, natomiast w okresach wzmożonego zapotrzebowania na ciepło wzrasta udział procentowy wytwarzania energii cieplnej w stosunku do elektrycznej. Istnieje więc możliwość sprzedaży nadwyżki energii elektrycznej do systemu energetycznego lub wyłączenia niektórych elementów systemu i zakupu energii elektrycznej z sieci w okresach większego zapotrzebowania na energię elektryczną.

3. ENERGIA PIERWOTNA W CHP

Energetyka zawodowa i przemysłowa w Polsce oraz na świecie produkuje energię elektryczną i ciepło głównie w oparciu o paliwa kopalne, tj.: węgiel, gaz ziemny oraz inne paliwa [7]. W ostatnich latach rozpowszechniło się zastosowanie kotłów na ekologiczne paliwa biomasowe ze źródeł odnawialnych takie jak: ziarno energetyczne (np. owies), zrębki drzewne, pelety z granulatu drzewnego, brykiet drzewny, brykiet ze słomy, a także olej opałowy z roślin oleistych, biogaz, gazy wysypiskowe i inne. Ze względów ekono-

micznych i praktycznych tylko część wymienionych paliw może być wykorzystana w budowanych na małą skalę instalacjach dla pojedynczych gospodarstw domowych.

Tabela 1. Analiza biomasy jako paliwa [6]

Table 1. Analysis of biomass as fuel [6]

Rodzaj paliwa	Wilgoć całkowita	Popiół	Wartość opałowa	Siarka	Azot	Chlor	Fluor
	%	%	kJ/kg	%	%	%	%
Brykiet drzewny	7,6	3,7	18 428	0,08	0,12	0,091	b.d.
Brykiet ze słomy	9,7	5,2	17 131	0,14	b.d.	b.d.	b.d.
Pelety	7,7	1,8	18 670	0,10	0,12	b.d.	b.d.
Trociny	39,1-47,3	1,3	19 346	0,05-0,20	b.d.	b.d.	b.d.
Kora drzewna	38,4-48,1	3,9-14,7	17 588-20 674	0,06-0,07	0,28-0,33	0,02	b.d.
Pył drzewny	3,8-6,4	2,4-17,1	15 161-20 109	0,12-0,21	b.d.	b.d.	0,001-0,003
Zrębki	42,4	0,5	18 496	0,03	0,06	b.d.	b.d.
Mączka mięsno-kostna	2,7	26,8	18 039	0,48	b.d.	b.d.	b.d.
Mieszanina biomasy z węglem brunatnym	53,2-55,0	8,6-15,3	19 758-21 861	0,45-0,75	0,30-0,41	0,003	0,001
Węgiel brunatny (przykład)	53,1	17,3	22 276	0,78	0,24	0,007	0,002

W kogeneracji jest możliwość wykorzystania lokalnych paliw, takich jak biomasa, biopaliwa, biogaz, będący produktem fermentacji metanowej, uzyskany ze zgazowania, bądź pirolizy. Paliwa takie są pozyskiwane z lokalnych zasobów masy organicznej lub z celowo uprawianych w tym celu roślin energetycznych.

Pod względem energetycznym 2 tony biomasy równoważne są od 1 do 1,5 ton węgla kamiennego. Stosowanie biomasy umożliwia spełnienie ostrych norm ochrony środowiska, szczególnie w zakresie emisji CO₂, SO_x, NO_x, pyłów, dioksyn, chloru, metali ciężkich. Bilans emisji dwutlenku węgla jest zerowy, ponieważ podczas procesu spalania do atmosfery oddawane jest tyle CO₂, ile wcześniej rośliny pobrały z otoczenia. Ze względu na niską zawartość azotu w biomase ograniczona jest emisja NO_x do atmosfery w porównaniu ze spalaniem węgla.

Paliwa biomasowe pochodzą w Polsce z dwóch gałęzi gospodarki z rolnictwa i leśnictwa. Najpoważniejszym i najtańszym źródłem energii odnawialnej w Polsce jest słoma. Wartość opałowa słomy wynosi około 15 MJ/kg suchej masy. 1,5 tony słomy jest odpowiednikiem 1 tony węgla kamiennego.

W tabeli 1 podano wybrane parametry paliw biomasowych w porównaniu do parametrów węgla. Przeprowadzona analiza danych o lokalnych zasobach źródeł energii odnawialnych oraz znajomość cech użytkowych budowanych na świecie i proponowanych urządzeń pozwoli dokonywać właściwych rozwiązań.

4. SILNIK STIRLINGA

Obecnie coraz szersze zastosowanie znajdują małe skojarzone źródła energii, zwane mini- lub mikroelektrociepłowniami, w których do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej wykorzystuje się mikroturbiny gazowe małej mocy i silniki spalinowe. Ze względu na aspekty ekologiczne i ekonomiczne są to najczęściej silniki zasilane gazem ziemnym. Wynika to m.in. ze zwiększonej podaży tego gazu na rynku energii i z mniejszej emisji substancji szkodliwych w porównaniu z systemami na paliwa ciekłe i stałe.

Układy skojarzone z gazowymi silnikami spalinowymi mają najczęściej postać gotowych modułów, obejmujących silnik, generator, zespół wymienników ciepła, układ odprowadzania spalin i układ wyciszania hałasu. Bardzo dużym zainteresowaniem cieszą się układy skojarzone małej mocy, w których rolę napędu dla generatora pełni silnik Stirlinga.

Silnik Stirlinga jest silnikiem zewnętrznego spalania. Przetwarza on energię cieplną na mechaniczną bez procesu wewnętrznego spalania, jak dzieje się to w przypadku klasycznych silników spalinowych. Ciepło doprowadzane jest do czynnika roboczego, którym jest gaz, poprzez nagrzewanie zewnętrznej ścianki nagrzewnicy. Wskutek tego możliwe jest zasilanie silnika praktycznie dowolnym źródłem ciepła: związki ropy kopalnej, węgiel, drewno, wszelkiego rodzaju paliwa gazowe, biomasa, a nawet energia słoneczna. Ponadto silnik jest bardzo cichy – nie zachodzi w nim spalanie wybuchowe, ponieważ nie posiada rozrządu. Silnik Stirlinga doskonale nadaje się do napędzania generatorów w układach kogeneracyjnych zasilających małe obiekty.

Obecnie na rynku znajduje się szereg agregatów kogeneracyjnych z wykorzystaniem silnika Stirlinga. Układy te charakteryzują się wysoką sprawnością zarówno elektryczną (20÷30%) jak i cieplną (60÷70%) co sprawia, że ich sprawność całkowita szacowana jest w ok. 90%. Czynnikiem roboczym tych układów jest hel, wodór oraz powietrze. Ze względu na dowolną postać energii pierwotnej (m.in. gaz, biogaz) w procesie spalania, możemy mówić o zastosowaniu układów mikro-kogeneracyjnych w oparciu o silnik Stirlinga w najbliższych latach.

5. PRZYKŁADY UKŁADÓW MIKROGENERACYJNYCH DOSTĘPNYCH KOMERCYJNIE

Od kilku lat można zaobserwować wzrost zainteresowania tematyką związaną z odnawialnymi źródłami energii, m.in. układami kogeneracyjnymi. Aktualnie prowadzone są zaawansowane badania nad układami skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej.: WhisperGen (firmy Whisper Tech), Baxi Ecogen (Baxi Group), Deluxe (Honda), Aisin (Toyota) oraz SenerTech (Dachs).

W porównaniu (tabela 2) zostały przedstawione dwie grupy systemów: pierwsza do 1 kW, druga w przedziale 5.5-6 kW. Obie charakteryzują się bardzo wysoką sprawnością całkowitą w granicy 90%. Ze względu na mniejszy zakres mocy (do 1 kW) układy:

WhisperGen oraz Ecogen charakteryzują się niższą sprawnością elektryczną (12-14%), niż urządzenia z drugiej grupy (5.5-6 kW), których sprawność wynosi ok. 27%.

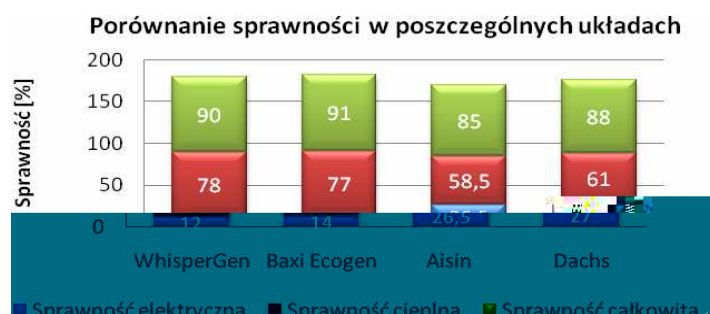
Urządzenie Baxi Ecogen pracuje w oparciu o silnik Stirlinga zasilany gazem. Zakres energii wyjściowej waha się od 0.2 kW do 1.0 kW, natomiast wartość ciepła uzyskiwanego wynosi: 25.4 kW. W wyniku tego sprawność całkowita urządzenia osiąga ponad 90%. Firma Baxi Group współpracuje z SenerTech, a ich wspólne urządzenie to DACHS, które dostępne jest na rynku od kilku lat. Warto zaznaczyć, że na chwilę obecną ponad 18 000 użytkowników zaufało tej technologii (głównie w Niemczech oraz Austrii). System ten oferuje 5.5 kW energii elektrycznej oraz 12.5 kW energii cieplnej, zasilanej: LPG lub ciekłym naturalnym gazem. Sprawność całkowita wynosi ok. 88%.

Tabela 2. Porównanie układów mikro-kogeneracyjnych
Table 2. The comparison micro-CHP units.

Typ	WhisperGen	Ecogen	Aisin	Dachs
Producent	WhisperGen Ltd	Baxi Group	Toyota	Senertec GmbH
Zasada działania	Silnik Stirlinga	Silnik Stirlinga	Silnik tłokowy	Silnik Otto
Maksymalna en. El, kW	1,0	1,0	6,0	5,5
Maksymalna energia cieplna, kW	7,5-14,0	3,5-24	13,5	12,5-20,5
Sprawność elektryczna, %	12	14	26,5	27
Sprawność całkowita, %	90	91	85	88
Wymiary, m	0,48x0,64x0,56	0,95x0,45x0,43	0,66x1,1x1,5	0,72x1,0x1,07
Waga, kg	150	110	465	530
Poziom hałasu, dB	<55	45	55	52-56

WhisperGen firmy Whispergen Ltd oferuje system 1 kW energii elektrycznej, natomiast zakres źródła ciepła jest regulowany w przedziale od 7.5 do 14 kW. Sprawność elektryczna wynosi 12%, cieplna – 78%, natomiast całkowita 90%. Aktualnie prowadzone są badania tego systemu, niemniej jednak dostępny jest na rynku niemieckim, holenderskim oraz belgijskim.

Urządzenie Aisin posiada czterosuwowy trzycylindrowy silnik spalinowy o łącznej pojemności 953 cm³ oraz wymiennik ciepła. Paliwem pierwotnym mogą być gaz ziemny oraz gaz ciekły LPG. Moc urządzenia waha się: od 1 do 6 kW energii elektrycznej oraz 11.7 kW energii cieplnej. Sprawność produkcji energii elektrycznej wynosi 26,5%, ciepła – 58,5%, co daje wynik 85% sprawności całkowitej.



Rys.3. Porównanie sprawności w układach mikro-kogeneracyjnych

Fig. 3. The comparison of efficiency in micro-CHP

6. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii jest jednym z priorytetowych działań krajów Unii Europejskiej w zakresie ochrony klimatu, środowiska i bezpieczeństwa energetycznego. Ograniczenie emisji szkodliwych substancji, pozytywny wpływ na bezpieczeństwo dostaw energii oraz efektywne użytkowanie energii to czynniki istotne dla rozwoju domowych systemów energetycznych.

Oszacowano, że w krajach Europy Zachodniej do 2020 roku udział energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu znacznie wzrośnie, natomiast jedna piąta zapotrzebowania energii w Europie będzie wykorzystywana z biomasy [4]. Przyjmując aspekty ekologiczne biomasa jest idealną alternatywą dla gazu, w celu zaopatrzenia budynków użyteczności publicznej w energię.

Głównymi zaletami mikro-kogeneracji jest wzrost sprawności i bezpieczeństwa energetycznego.

Układy z silnikami Stirlinga są opłacalne i doskonale nadają się do zasilania małych obiektów, takich jak domy jedno- i wielorodzinne, a nawet pojedyncze mieszkania w blokach mieszkalnych.

7. LITERATURA

- [1] Chmielniak T.: Technologie energetyczne, WNT, Warszawa, 2008.
- [2] Facão J., Oliveira C.: Evaluation a hybryd solar/gas combined heat and Power small system, Porto.
- [3] Kuindersma M.: Dynamic Modeling for Control of a Kinematic Stirling Engine, University of Groningen, Groningen, 2009
- [4] Podziemska A.: Technologiczno-ekonomiczne aspekty gazowej gospodarki skojarzonej cz.1, Nowoczesne Gazownictwo – nr 4/2005.
- [5] Połacki Z.: „Możliwości wykorzystania organicznego obiegu Rankine’a dla odzysku ciepła z procesów technologicznych. Rynek Energii, str. 50, Nr 2 (75)/2008.
- [6] Raport BMT Polska: Prognoza oddziaływania na środowisko zintegrowanego programu wojewódzkiego dla woj. dolnośląskiego na lata 2007-2013, Wrocław 2006
- [7] Skorek G., Skorek J., Kalina J.: Ekologiczny park energetyczny.

- [8] Smit R.: Cogeneration, Distributed Generation and Renewables, KEMA Nederland BV, 2006.
- [9] Materiały szkoleniowe firmy WhisperGen, www.whispergen.com
- [10] Materiały szkoleniowe firmy RetScreen International, www.etscreen.net

THE POSSIBILITY UTILIZATION RENEWABLE ENERGY IN MICRO-CHP.

ABSTRACT

In the article the issues connected with micro combined heat and power systems in the buildings were described. The division of such systems as to the kind of primary fuel was presented. The basic problems were discussed and factors enabling development of such subject in the following years.

Maria JAWORSKA-MICHAŁOWSKA, dr inż. arch.

Politechnika Krakowska
Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: mjmichalowska@op.pl

ŚCIANA Z OKNAMI; HISTORYCZNE WZORCE – WSPÓŁCZESNA INTERPRETACJA

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wybrane zasady kompozycyjne, uwzględniane przez architektów w kształtowaniu elewacji. W omawianych koncepcjach można zaobserwować estetyczny związek teraźniejszości z tradycją. Projektanci rozwijając dawne osiągnięcia, umiejętnie łączą je ze złożonymi, współczesnymi wymaganiami, dotyczącymi ochrony wnętrza przed przegrzaniem, a także sposobów pozyskiwania i przetwarzania energii słonecznej. W tym celu wykorzystują najnowsze rozwiązania techniczne i technologiczne.

1. WPROWADZENIE

J. Żórawski, w swojej książce pt. *O budowie formy architektonicznej*, uwzględnił m.in. zagadnienia związane z odpowiednim traktowaniem formy i tła w elewacji budynku. Projektanci mają świadomość, że obserwator „widzi formę na tle”, toteż od zawsze, zgodnie z tą zasadą percepcji, komponowali detale fasady. W katedrach gotyckich okno nie tyle było otworem, ile ciemnym tłem dla kamiennej koronki, tworzącej pionowe, ostrołukowe i koliste podziały. Misterny detal, wykonany z tego samego materiału co ściana, robił wrażenie, jakby ażurowa siatka została nałożona na ciemne wnętrze. Autor uznał, że: „[...] rodzi się doznanie, jakby dla opisu tej elewacji termin „okno” był zupełnie zbędny i nieistotny oraz jakby te wszystkie tak drobiazgowo ukształtowane formy były li tylko jedną wspólną koronką, nałożoną na mrok wnętrza”. Zupełnie innych wrażeń dostarczają elewacje późniejszych obiektów. W koncepcjach renesansowych willi, czerń za oknami przestała być tłem dla koronkowo opracowanego kamienia. Otwory pojawiły się na fasadach jako jednoznaczne formy, formalnie silnie podkreślone poprzez rodzaj otaczającej je ramy, usytuowanej na tle fasady. „Okna te są jakby głównymi punktami ściany i mają taki walor formalny jak oczy w twarzy ludzkiej” – zauważył autor [1].

Można zatem uznać, że istnieją dwa historyczne sposoby rozwiązań kompozycyjnych fasady. Pierwszy, w którym tłem dla formy (detalu) jest ciemne wnętrze za oknem (*Rys. 1.*) i drugi - w którym tłem dla otworu jest ściana budynku (*Rys. 2.*). Późniejsze konstrukcje szkieletowe tworzą również kanwę dla powstawania architektury jako formy na tle ciemnego wnętrza. Z kolei struktury tradycyjnie murowane, powstające z cegły, bloków betonowych, a także monolityczne z żelbetu nadają się doskonale do rozwiązań, w których tłem dla okna jest fasada. Efekt wizualny zależy wówczas od odpowiedniego stosunku pomiędzy płaszczyzną formy otworu a licem ściany jako tła. Oba aspekty doskonale wyczuwał już Le Corbusier, tworząc pierwsze kurtynowe fasady i A. Perrot, projektując klatki schodowe jako ażurowe elementy żelbetowe, usytuowane wokół kościołów.

Współczesny architekt niejednokrotnie czerpie inspiracje z dawnych rozwiązań, stosując różnorodne aluzje historyczne, interpretując prawzorcy i rozwijając uznane zasady. Środki wyrazu i ekspresji projektant dostosowuje do aktualnych wymagań, czyniąc architekturę wyrazem swoich czasów. Dzięki osiągnięciom techniki i technologii związanych z rozwojem szkła i sposobami mocowania tafli, pojęcie okna można dziś rozszerzyć na całość fasady, stosując całkowicie przezroczyste ściany. Wydaje się, że warto przyjrzeć się współczesnym rozwiązaniom, które potwierdzają zasadność sprawdzonych przez czas metod komponowania elewacji. Dziś są one również uzależnione od wbudowanego materiału ściany. Estetyczne koncepcje uwzględniają dodatkowo techniczne detale, wyznaczając ścianie coraz większą rolę związaną z funkcją zabezpieczającą – osłonową.



*Rys. 1. Elewacja gotyckiej katedry Notre-Dame w Reims
(projekt: Jean d'Orbais, ok. 1211 – 1300)*

*Fig. 1. Gothic elevation of the Notre-Dame cathedral in Reims
(Project: Jean d'Orbais, about 1211 – 1300)*

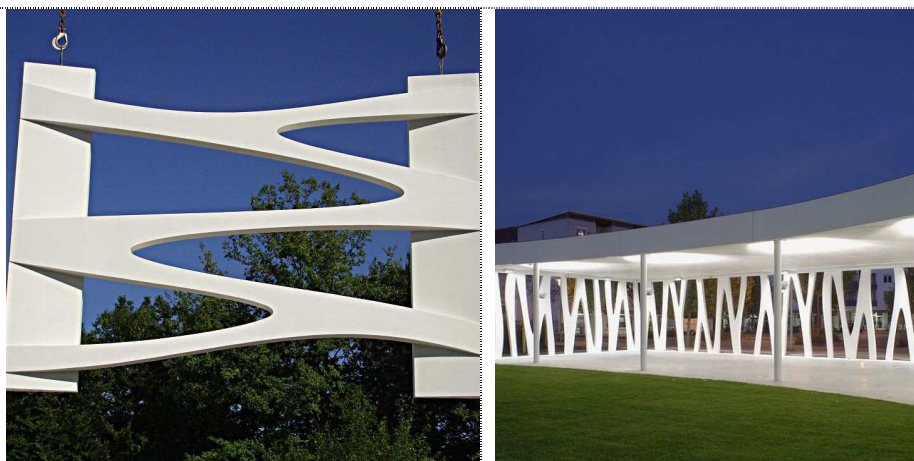
Rys. 2. Willa Papa Giulio w Rzymie (projekt: Giacomo da Vignola, ok. 1553)

Fig. 2. Villa Papa Giulio in Rome (project: Giacomo da Vignola, about 1553)

2. WYBRANE PRZYKŁADY WSPÓŁCZESNYCH KONCEPCJI

2.1. Ażurowa forma na tle wnętrza ukrytego za szklaną powłoką

W roku 2007 w Mannheim wybudowano nowy ewangelicki ośrodek wyznaniowy, zaprojektowany przez pracownię Netzwerkarchitekten, w którym szklaną fasadę projektanci ukryli za białymi i wygładzonymi półfabrykatami betonowymi, o kształcie kołyszących się ździebeł trawy (Rys. 3.) [2]. Ażurowa forma osłon odzwierciedla otwarty charakter gminy wyznaniowej. Detal ten, wysunięty przed lico fasady dobitnie rysuje się na ciemnym tle wnętrza „ukrytego” za szkłem. Efekt w nocy jest odwrotny. Panele wówczas wydają się być ciemne, ale z kolei idealnie kontrastują z barwnym oświetleniem. Całość formy obiektu tworzy wówczas efekt latarni nocnej, uwzględniany w wielu współczesnych realizacjach. W tej koncepcji, forma i tło tworzą spójną całość kompozycyjną i jednoznacznie odczytywaną metaforę.



Rys. 3. Elewacja ewangelickiego ośrodka wyznaniowego w Mannheim i prefabrykowany element betonowy (projekt: Netzwerkarchitekten, 2007)

Fig. 3. Elevation of the evangelic denominational center in Mannheim and prefabricated concrete element (project: Netzwerkarchitekten, 2007)

Bank Caja Vital (z hiszp. „żywy”), również w roku 2007, wybudował w Madrycie swoją siedzibę. Formę - optyczną iluzję żywego organizmu, zaprojektowali architekci z pracowni Mozas Aguirre Arquitectos. Biurowiec „ubrany” został w gigantyczne stalowe detale, przypominające kształtem drzewa z otaczającego Parku Natura 2000. Ognistoczerwona kurtyna westybulu, z biologiczną dekoracją opracowaną przez Javiera Pérez, to tętniące życiem serce kompleksu. Oryginalne użycie „brise – soleil”, chroniących czarną skórę owiniętą wokół planu przypominającego kroplę wody, kreuje nową jakość „żywego” cienia (Rys. 4.).



Rys. 4. Wizualizacja elewacji obiektu Caja Vital w Madrycie i szczegół montażu stalowych elementów (projekt: Mozas Aguirre Arquitectos, 2007)

Fig. 4. Vizualization of the elevation of the Caja Vitalin Madrid object and assembly detail of the steel elements (project: Mozas Aguirre Arquitectos, 2007)

2.2. Fasada jako płaszczyzna tła dla okien

Już moderniści w wieku XX wykorzystywali możliwość projektowania elewacji poprzez użycie analogii z malarstwem. „Malowali” różnorodne kształty otworów okiennych na płaszczyźnie ścian, tworząc abstrakcyjne skojarzenia. Posiadali głęboką świadomość, że „asymetria nie jest brakiem symetrii”. Specjalną rolę w takim kształtowaniu elewacji odegrała grupa de Stijl, skupiona wokół P. Mondriana [3]. Idee te są nadal rozwi-



Rys. 5. Biblioteka publiczna w Medellin (projekt: Giancarlo Mazzanti Architect, 2007)

Fig. 5. Public library in Medellin (project: Giancarlo Mazzanti Architect, 2007)

jane, czego przykładem jest m.in. realizacja z roku 2007 biblioteki publicznej w Kolumbii, autorstwa projektantów z pracowni Giancarlo Mazzanti Architect. Budynek w Medellin tworzą trzy bryły na wspólnej platformie zlokalizowanej na urwistym stoku Andów. Elewacje pokryto materiałem dostępnym w tym rejonie - ciemnym łupkiem, łączonym bezspoinowo. Ściany są dynamicznie nachylone w różnych kierunkach, co nadaje bryle światłocień i stanowi nawiązanie do naturalnej budowy skał. Różnorodnej wielkości otwory okienne skomponowano na siatce geometrycznej, ale niezależnie od układu kondygnacji. Efekt interesującej kompozycji wzmacnia się wieczorem, przy oświetlonych sztucznie wnętrzach (Rys. 5.).

Współczesne koncepcje formy i tła przechodzą w coraz bardziej zaskakujące metafory, uwzględniając również wyobraźnię człowieka ery komputerowej. Przykładem jest fasada wielofunkcyjnego obiektu Centrum Sztuki TEA, zbudowanego na Teneryfie w roku 2008 (Rys. 6.). Prace projektowe powierzono pracowni Herzog & de Meuron, która zaprosiła do współpracy lokalne biuro Virgilio Gutiérrez Herreros [4]. Charakter budynku definiuje północna żelbetowa ściana biblioteki z nieregularnymi otworami okiennymi



Rys. 6. Fragment elewacji Centrum Sztuki TEA na Teneryfie i jej „rozpikselowany” detal (projekt: Herzog & de Meuron i Virgilio Gutiérrez Herreros, 2008)

Fig. 6. Fragment of the elevation of the Art Center TEA on Tenerife and its multi-pixel detail (project: Herzog & de Meuron and Virgilio Gutiérrez Herreros, 2008)

wypełnionymi stałymi zestawami okiennymi, których układ stanowi graficzny zapis światłocienia na powierzchni falującej wody. Wzór perforacji to powiększony zapis rysunku wyodrębnionego z fotografii fal otaczającego założenie oceanu, który przetransponowano przy pomocy profesjonalnego oprogramowania komputerowego. „Okna – piksele” filtrują boczne światło, toteż promienie zachodzącego słońca w głównej czytelnicy stwarzają na posadzce i ścianach efekt poruszających się fal morskich. Inspiracja naturą w koncepcji architektonicznej pozwoliła na zdynamizowanie doznań obserwatora. Dobitność

efektu osiągnięto dzięki wyważeniu odpowiedniego stosunku proporcji pomiędzy konturowaną formą okien a licem ściany jako tła.

2.3. Dominacja tła

Na przykładzie fasady obiektu Casa de las Conchas w Salamance, J. Żórawski analizuje zatarcie „renesansowego” sposobu komponowania okien. Ściana, poprzez naklejenie na jej płaszczyznę rzeźbionych w kamieniu muszli nabiera takiego waloru formalnego, że „okna nikną i odgrywają rolę drugorzędną. Szeregi wystających konch, rzucających w słońcu ostre rytmiczne cienie na tło ściany, są tak dobitne, że nie czuje się wcale swobodnego ustawienia okien” – zanalizował autor [1]. Część współczesnych elewacji o strukturze rozrzedzonej, podlega również nieokreśloności. Rozbudowanie elewacji przeszklonych o dodatkowe systemy, które regulują dostęp promieniowania cieplnego i świetlnego, może wywoływać poczucie rozmycia kompozycji. Całe bogate spektrum możliwości związanych z elementami przeciwsłonecznymi wykorzystał np. J. Nouvel w paryskim obiekcie Musée du quai Branly, zrealizowanym w roku 2006. Szklaną elewację największego budynku kompleksu definiują czerwone, brązowe i białe osłony, filtrujące światło i ciepło (Rys. 7.). Zewnętrzną powłokę obiektu administracyjnego oraz następnego, mieszczącego pomieszczenia magazynowe i mediatekę, tworzą ruchome, metalowe żaluzje, oparte na pomarańczowym szkielecie. Ściany charakteryzują się ostrą grą kolorów i melanzem kształtów. Detal tła jest tak jednoznaczny i wyrazisty, że zdominował sposób ustawienia okien [5].



Rys. 7. Elewacja budynku *Musée du quai Branly* w Paryżu, (projekt: J. Nouvel, 2006)

Fig. 7. Elevation of the *Musée du quai Branly* in Paris, (project: J. Nouvel, 2006)

Omawianą ideę realizuje również w pełni fasada budynku Biocatalysis Department Technicznego Uniwersytetu w Grazu (Rys. 8.) [6]. Obiekt zaprojektowany został przez E. Gislbrechta i zrealizowany w roku 2006. Ten sześciokondygnacyjny budynek o przeszklonej elewacji, wyposażony został w system ruchomych, pionowych przesłon, które zsuwają się do różnorodnej szerokości w obrębie pasów wyznaczonych przez stalowe

wsporniki. Od frontu białe żaluzje, po całkowitym zsunięciu ujawniają bogatą kolorystykę swojej tylnej powłoki. Dynamiczna i ustawiczna zmienność ustawień elementów i kolorystyki dodatkowo potęguje się nocą, przy podświetleniu wewnątrz.



Rys. 8. Elewacja budynku Biocatalysis Department Technicznego Uniwersytetu w Grazu (projekt: E. Giselbrecht, 2006)

Fig. 8. Elevation of the Biocatalysis Technical Department of the University in Graz (project: E. Giselbrecht, 2006)

Inspiracje estetyką detalu użytkowego widoczne są również w projektach młodego pokolenia. W roku 2009 grupa 24 studentów z Uniwersytetu Technicznego w Darmstadzie wygrała międzynarodowy konkurs Solar Decathlon [7]. Celem zmagania było stworzenie



Rys. 9. Wizualizacja obiektu SurPLUShome (projekt: studenci Uniwersytetu Technicznego w Darmstadzie, 2009)

Fig. 9. Visualization of the SurPLUShome object (project: students of the Technological University in Darmstadt, 2009)

domu pasywnego, zasilanego jedynie energią słoneczną. Dwadzieścia drużyn uniwersyteckich z całego świata rywalizowało o zaszczytny laur. Zwycięski obiekt SurPLUShome jest prostą dwukondygnacyjną kostką. Cała formę pokryto warstwą paneli słonecznych i fotowoltaicznych, które doskonale wyłapują promienie słoneczne nawet w najbardziej pochmurne dni oraz odpowiednio je przetwarzają. Ważnym elementem są automatycznie otwierane żaluzje, które dostosowują stopień zacielenia, tak, aby zredukować nadmierne nagrzewanie się wnętrza (Rys. 9.). Stanowią spójne i wyraziste tło, skupiające uwagę przede wszystkim na sobie. W przypadku funkcji uchylecia – elementy wywołują efekt wyraźnego światłocienia na swojej podstawie.

3. PODSUMOWANIE

Architektura wciąż interpretuje archetyp ściany z oknem, przepuszczając formy poprzez współczesny język. Projektanci wybierają w tym celu rozmaite drogi, wykorzystując bogactwo materiałów budowlanych i technologii [5]. Niezliczona jest różnorodność poszukiwań i uzasadnień, aczkolwiek na pokazanych przykładach widać, że stylistyczne zapożyczenia niejednokrotnie stają się już przewidywalne.

Wydaje się, że słuszne i pozbawione tzw. efekciarstwa są rozwiązania wszelkich detali użytkowych, które tworzą dobitne tło ścian dla przeszklonych otworów. Decydują nie tylko o tzw. nowej estetyce, ale również o regulacji dopływu światła słonecznego do wnętrza obiektu i możliwości przetworzenia promieniowania w energię. Wiele takich koncepcji udowodniło możliwość przełamania technicznego paradygmatu, opartego na globalnych technologiach. Ich twórcy uwzględnili indywidualne pomysły i autentyczne potrzeby środowiskowe.

4. LITERATURA

- [1] Żórawski J., O budowie formy architektonicznej, Arkady, Warszawa, 1962.
- [2] strona internetowa: <http://www.heringinternational.com>, 2010-01-08.
- [3] Basista A., Kompozycja dzieła architektury, Universitas, Kraków, 2006.
- [4] Haduch B., Haduch M., TEAtr różnaitości, Architektura&Biznes, nr 9, 2009.
- [5] Jaworska-Michałowska M., Elevation and nature as spaces of mutual closeness, Międzynarodowa Konferencja SOLPOL 2008, Renewable energy innovative technologies and new ideas, Politechnika Warszawska, 2008.
- [6] D'Amico F., Biocatalisys at Technical University, Graz, OFARCH, nr 95, 2007.

WALLS WITH WINDOWS; HISTORICAL PATTERNS – MODERN INTERPRETATION

SUMMARY

In the article there were presented chosen composition rules, included by architects in the process of shaping elevation. In the analyzed conceptions, it is possible to notice aesthetical relations of the present with the tradition. Designers, developing old achievements, skillfully connect them with complex modern requirements, related to interior protection from overheating and also ways of gaining and processing solar energy. For this purpose, they use the most modern technical and technological solutions.

Justyna KOBYLARCYK, dr inż. arch.

Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego
Instytut Projektowania Urbanistycznego
Wydział Architektury
Politechnika Krakowska

WSPÓŁCZESNE ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA – PRÓBA OCENY KOMFORTU PRZESTRZENI MIESZKANIOWYCH NA WYBRANYCH OBSZARACH

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia zagadnienia związane z zagrożeniami środowiska, które mogą mieć znaczenie dla życiowego komfortu użytkowników przestrzeni mieszkaniowych. Zagadnienia te są ważne i istotne w aspekcie zapewnienia właściwych warunków egzystencjalnych w obiektów architektonicznych.

1. WSTĘP

Komfort jest pojęciem względnym i zależy w dużej mierze od indywidualnych odczuć jednostki, które cechuje zmienność w czasie. Definicja komfortu posługuje się między innymi takimi terminami jak: dostatni, wygodny, nacechowany pięknem i dobrobytem. Charakterystyka ta jednoznacznie podąża za pragnieniem współczesnego człowieka, który poszukuje przede wszystkim wygody i harmonii. Oba elementy kształtują wysoką jakość, z którą człowiek obcuje w konkretnym środowisku mieszkaniowym. Samo pojęcie komfortu nie nasuwa wątpliwości, natomiast jego ocena może budzić pewne subiektywne odczucia. Jego wyznacznikami są z jednej strony elementy decydujące o racjonalnym kształtowaniu środowiska; środowiska zdrowego i zrównoważonego, z drugiej strony są to twory techniki budujące środowisko sztuczne. Zapewniają one funkcjonalność i wygodę, często jednak zagrażają zdrowiu jednostki.

Szczególnie ważne mogą okazać się kryteria oceny i parametry (zmienne w czasie i często związane z subiektywnymi odczuciami jednostki). „Na przykład, w nie tak odległych czasach, można było uznać, że podróżowanie czterech osób samochodem marki „Fiat 126p” jest komfortowe. W tej chwili podróży z takim samochodem (z wyposażeniem z lat siedemdziesiątych XX wieku) do komfortowych zaliczyć nie można. W tym samym czasie na długie wyprawy turystyczne „komfortowo” jeżdżono autobusami bez żadnego

dotatkowego wyposażenia, a w tej chwili standardem jest klimatyzacja, uchylne siedzenia itp.”¹.

2. ELEMENTY KSZTAŁTUJĄCE KOMFORT OBSZARÓW ZAMIESZKANIA – PRÓBA OCENY ŚRODOWISKA PRZY UŻYCIU OKREŚLONYCH PARAMETRÓW

Wśród elementów kształtujących wysokiej jakości środowisko mieszkaniowe można wyróżnić między innymi: kontakt z naturą (rys. 1), obecność przestrzeni społecznych (rys. 2), intymność i spokój, łatwą dostępność do usług podstawowych i miejskich atrakcji (rys. 3), a także dóbr kultury (rys. 4).



Rys. 1. Plac zabaw dla dzieci w Przeworsku
Fig. 1. The children's playground in Przeworsk



Rys. 2. Wnętrze społeczne - Przeworsk
Fig. 2. The social interior - Przeworsk

¹ J. Kobylarczyk, *Jakość środowiska mieszkaniowego w strefie centralnej Jarosławia*, Politechnika Krakowska, Kraków 2008r., str. 19.



Rys. 3. Hala targowa w Jarosławiu
Fig. 3. The market hall in Jarosław



Rys. 4. Ratusz w Jarosławiu
Fig. 4. The town hall in Jarosław

Zwykle większość z tych elementów zapewniają obszary centralne niewielkich miast, które można potraktować jako przykłady compact cities. Z jednej strony zapewniają żywotność, bogactwo atrakcji miejskich, bliskość kultury i przestrzeni rekreacyjnych, a także usług, z drugiej strony w pewnym stopniu podejmują próbę stworzenia nastroju, czy poczucia intymności i spokoju. Wymienione czynniki kształtują również zasady rozwoju zrównoważonego, który wydaje się być podstawowym kierunkiem działań zmierzających do rozwoju wielu miast. W Nowej Karcie Ateńskiej 2003 przedstawiona została wizja miasta przyszłości – jest nim ośrodek miejski, którego rozwój dyktują zasady tzw. rozwoju zrównoważonego.

Przeprowadzone badania w 2006 roku na wybranych obszarach strefy centralnej Jarosławia, Łańcuta, Przeworska i po części słowackiego miasta Levocy pozwoliły na dokonanie wniosków z zakresu oceny jakości środowiska mieszkaniowego.

Za szczególnie ważny element respondenci uznali poczucie intymności i spokoju, a przede wszystkim bezpieczeństwo. Ważny okazał się także kontakt z naturą i obecność przestrzeni społecznych. Elementom tym zagraża środowisko sztuczne, coraz w większym stopniu wypełnione zabudowa mieszkaniową i usługami, a więc obiektami architektonicznymi, które nie pozostawiają żadnych rezerw terenu, którego część można by było przeznaczyć na obszary zielone, bądź kameralne wnętrza społeczne.

Badania wykazały, że dla mieszkańców strefy centralnej wybranych miast szczególnie istotną elementy kształtujące rozwój zrównoważony promujący prozdrowotny charakter.

Tablica 1. Wskaźniki oraz elementy i czynniki wspierające zdrowe środowisko mieszkaniowe podlegające ocenie mieszkańców

Table 1. Coefficients as well elements and factors supporting healthy housing-environment dependent from the estimation of inhabitants

	Zdrowie fizyczne	Samopoczucie psychiczne i mentalne	Poczucie spójności społecznej
Wskaźniki Elementy i czynniki	Właściwy mezoklimat (wahania temperatury, wilgotność powietrza, czas nasłonecznienia) Higiena przewietrzania i brak przeciągów	Doświetlenie wnętrz urbanistycznych - Umiarkowana różnorodność ukształtowań przestrzennych i estetycznych - Widok z okna (czy przynajmniej z części mieszkania jest widok na elementy natury)	- Czytelność i dostępności wnętrz społecznych Programu wnętrza społecznego,

Środowisko sztuczne – to między innymi środowisko zbudowane Skupia ono mieszkania i usługi ułatwiając dostępność infrastruktury miejskiej. Niekorzystnym zjawiskiem mu towarzyszącym jest: ograniczenie przestrzeni zielonych, zbyt małe odległości między budynkami – narusza to poczucie intymności.

Innym zagrożeniem jest transport, który usprawnia komunikację i tym samym dostępność do ważnych usług, a także miejsc uczęszczanych, działa niestety też negatywnie – potęguje hałas i zanieczyszcza powietrze, którego skażenie wywiera poważnie negatywny wpływ na zdrowie człowieka, a także stan techniczny unikalnych zabytków. Problem ten w dużej skali występuje w centrum Przeworska, które zostało podzielone na dwie części za sprawą intensywnie użytkowanej drogi przelotowej.

3. WSPÓŁCZESNE ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA

Podstawowym zagrożeniem środowiska jest człowiek, a właściwie jego działania zmierzające do komfortu przysyłającego wyższe cele, takie jak: dbałość i szacunek do terenu, ochrona naturalnych elementów środowiska itd.

Najczęściej wymienianym przez osoby biorące udział w badaniu (Ocena jakości środowiska mieszkaniowego w strefie centralnej wybranych miast województwa podkarpackiego, Prozdrowotny charakter środowiska zamieszkania na wybranych obszarach strefy centralnej: Jarosławia, Łańcuta, Przeworska i Levocy) zagrożeniem dla jakości środowiska zamieszkania był: brak poczucia bezpieczeństwa i intymności, hałas, a nawet złe rozwią-

zania komunikacyjne. Wymienione elementy mają duże znaczenie dla kreowania zrównoważonego obszaru i odpowiednich relacji zachodzących między jednostką, a przestrzenią, która zamieszkuje.

Człowiek chcąc przystosować się do nowych ciągle „polepszanych” przez rozwój technologii warunków wytworzył szereg współczesnych narzędzi – maszyn, robotów przydatnych w życiu codziennym.

Poza problemami ekologicznymi dużym zagrożeniem stał się sam postęp, który z jednej strony przyczynił się do poprawy warunków życia człowieka, a z drugiej strony spowodował zachwianie jego zdrowia zarówno fizycznego jak i psychicznego. Wywołał szereg niekorzystnych zmian w zachowaniu jednostki prowadzących, między innymi do: alienacji, agresji, zamknięcia się na świat oraz otoczenie zewnętrzne. Postęp zbudował relacje technologii informacji. „Ważna zasada, jaką należy kierować się we wszelkich dyskusjach na temat przyszłości miast, to wystrzeganie się postaw skrajnych – zarówno zbyt optymistycznych, jak i zbyt pesymistycznych. Technologia informacji nie powinna być zatem utożsamiana z remedium na wszelkie społeczno – ekonomiczne, polityczne i ekologiczne bolączki miast doby przemysłowej czy też z siłą, która wyzwoli człowieka z więzów ciała, rasy, płci, miejsca, czasu i narodowości. I przeciwnie, nie należy kreślić wizji świata spolaryzowanego, w którym obok elitarnych suburbiów, podtrzymywanych przez bogate korporacje, powstawać będą „getta informacyjnych biedaków”, otoczone przez całkowicie dla nich niedostępną, a mogącą poprawić ich los, najnowocześniejszą infrastrukturę. Propagowanie uproszczonych schematów może być bardzo niebezpieczne. Odwraca bowiem uwagę od złożonego charakteru relacji telekomunikacja a miasto, zdaje się także zdejmować z architektów i planistów odpowiedzialność za środowisko życia w miastach, sugerując podporządkowanie jego jakości wyłącznie dyktatowi technologii i rynku oraz interesom transkontynentalnych korporacji”².

Postęp nauki i techniki powiększa szanse na rozwój wielu ośrodków miejskich, w tym również niewielkich terytorialnie (stworzenie choćby korzystnych warunków do rozwoju systemów telepracy, telekomunikacji), działa niestety przy tym także niekorzystnie prowadząc do zwiększenia się zagrożeń cywilizacyjnych. Dużym wyzwaniem dla współczesnych architektów jest wyważone i rozsądne planowanie przestrzeni zapewniającej równocześnie prawidłową kondycję psychofizyczną człowieka, komfortowe warunki jak i ekologiczne rozwiązania (świadomość ograniczonych zasobów naturalnych). Sprzyja temu zrównoważony rozwój, niezwykle ważny dla człowieka, jego zdrowia i jakości środowiska jego zamieszkania.

Problem wydaje się niezwykle ważny ponieważ dotyczy wszystkich aspektów życia jednostki – warunków przestrzennych, komfortu użytkowania środowiska, a przede wszystkim zdrowia. Choroby cywilizacyjne stają się coraz częstszym i trudniejszym w leczeniu zjawiskiem. Szczególnie narażone na zagrożenia ekologiczne są dzieci, podatne na liczne zaburzenia i alergie.

Główne założenia projektowania zrównoważonego opierają się na: oszczędności energii, wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii, zmniejszeniu zużycia materiałów, wody i terenu, ponownym ich użyciu oraz recyklingu z możliwością ponownego użycia materiałów pochodzących z rozbiórki, szacunku do użytkownika i terenu.

² A. Palej, *Miasta cywilizacji informacyjnej, poszukiwanie równowagi pomiędzy światem fizycznym a światem wirtualnym*, Politechnika Krakowska, 2003r., str. 7.

4. NIEKTÓRE ZE ŚRODKÓW ZARADCZYCH

Wyznacznikiem komfortu zamieszkiwanego bądź w inny sposób użytkowanego terenu jest jego racjonalne planowanie z poszanowaniem zasad rozwoju zrównoważonego. Kształtowanie tylko i wyłącznie środowiska sztucznego całkowicie pozbawionego elementów naturalnych zagraża prawidłowej kondycji psycho – fizycznej człowieka.

Wydaje się ważne stworzenie tak zwanego bilansu ekologicznego zwracającego uwagę na konieczność:

- oszczędnego korzystania zwłaszcza z nieodnawialnych zasobów naturalnych (teren, powietrze, woda),
- ochrony miast przed zanieczyszczeniami i innymi działaniami prowadzącymi do degradacji walorów środowiska,
- oszczędnego korzystania z zasobów naturalnych biorąc pod uwagę stosunek korzyści z ich eksploatacji względem stopnia ich zużycia,
- oszczędnego korzystania z energii pierwotnej oraz zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii,
- zdolności odzyskiwania i wtórnego wykorzystywania większości zużywanych zasobów naturalnych,
- stosowanie materiałów wytwarzanych przy niskim zapotrzebowaniu na energię oraz niskiej emisji zanieczyszczeń do wody, powietrza i gleby.

5. ZAKOŃCZENIE

Wysoka jakość środowiska wspierana jest też przez prozdrowotny charakter – idea **zdrowego miasta** funkcjonującego zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Miasto modelowe XXI wieku to komfortowe miejsce do życia redukujące toksyczne substancje w żywności, poszerzające usługi medyczne łatwo dostępne dla wszystkich.

Szczególnie ważne wydają się: **przyroda, krajobraz i tereny otwarte**.

Szczególną troską w miastach XXI wieku mają zostać objęte miejsca zamieszkania, miejsca pracy oraz przestrzenie umożliwiające kontakt z elementami kulturowego i przyrodniczego dziedzictwa (wykopiska archeologiczne, zabytki, parki, skwery, rezerwaty przyrody, itd.).

Istotne wydaje się także umocnienie więzi z otoczeniem, poczucie przynależności do zamieszkiwanego lub w inny sposób użytkowanego terenu. Przyjazne człowiekowi obszary, czy też ulubione miasta wywołają pozytywne odczucia i emocje. „Jakość środowiska jest jednym z podstawowych czynników gwarantujących gospodarczy sukces miasta i przyczynia się także do jego żywotności społecznej i kulturalnej”³.

Kolejnym rozpatrywanym elementem jest Energetyka – energia pozyskiwana z czystych i odnawialnych źródeł (zmniejszenie zużycia energii oraz redukcja zanieczyszczeń prowadzących do skażenia powietrza, przeciw działanie efektowi cieplarnianemu).

Przedstawione środki zaradcze dla degradowanej przestrzeni są tylko jednymi z wielu proponowanych dla miast przyszłości – miast komfortowych, nacechowanych pięknem, wygodą, harmonią i różnorodnością. Istotne wydaje się zachowanie „zdrowych” proporcji między potrzebnym środowiskiem sztucznym, a naturalnym. Oba odmienne względem

³ Op.cit, str. 13.

siebie elementy organizowanej przestrzeni decydują o warunkach życia i rozwoju, człowieka. „Na jakość mieszkania składa się wiele czynników... wszystkie cechy naturalne i sztuczne, funkcjonalne i estetyczne”⁴.

6. LITERATURA

1. Chmielewski J.M., *Teoria urbanistyki w projektowaniu i planowaniu miast*
2. Kobylarczyk J., *Jakość środowiska mieszkaniowego w strefie centralnej Jarosławia*
3. Palej A., *Miasta cywilizacji informacyjnej, poszukiwanie równowagi między światem fizycznym a światem wirtualnym*
4. Pęski W., *Zarządzanie zrównoważonym rozwojem*
5. Ryńska E.D., *Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska*
6. Włodarczyk J.A., *Życie znaczy mieszkać*

PRESENT THREATS OF THE ENVIRONMENT - CONCEPTION OF COMFORT TESTING OF THE LIVING AREA ON THE SELECTED FIELDS

SUMMARY

The article describes problems connected with threats of the environment which can count for living comfort of users in housing-spaces. These problems are important and essential in the aspect of the assurance of proper existential conditions in architectural objects.

⁴ J.A. Włodarczyk, *Życie znaczy mieszkać*, PWN, Warszawa – Kraków 1997 r., str. 14.

Janusz KONKOL, dr inż.

Politechnika Rzeszowska

Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa

Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów

e-mail: jk7@prz.edu.pl

PLANOWANIE BADAŃ I STATYSTYCZNA ANALIZA WYNIKÓW NA PRZYKŁADZIE BADAŃ BETONÓW

STRESZCZENIE

Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie uwagi na możliwości jakie daje badaczowi zastosowanie planu badań oraz przedstawienie procedur pokazujących jak poprawnie przeprowadzić statystyczną analizę wyników badań zmierzając do opracowania modelu statystycznego (adekwatnej funkcji aproksymującej).

Jako wyniki będące podstawą do analiz posłużyły rezultaty badań, zrealizowanego uprzednio doświadczenia, dotyczące wpływu dwóch zmiennych niezależnych determinujących skład betonu na zmienną zależną, którą jest wytrzymałość na ściskanie tego betonu.

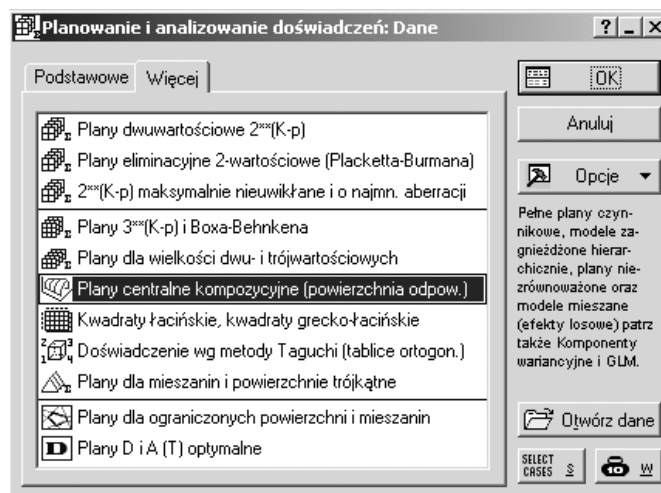
1. WPROWADZENIE

Głównym celem typowych analiz statystycznych wyników badań betonów jest określenie wpływu zmiennych niezależnych na badaną cechę oraz, jeżeli jest to możliwe, stworzenie adekwatnego modelu statystycznego opisującego zmianę badanej cechy w zależności od zmiennych niezależnych. Wykorzystując teorię planowania eksperymentu powyższy cel można osiągnąć dużo szybciej, przy mniejszym nakładzie pracy i kosztów.

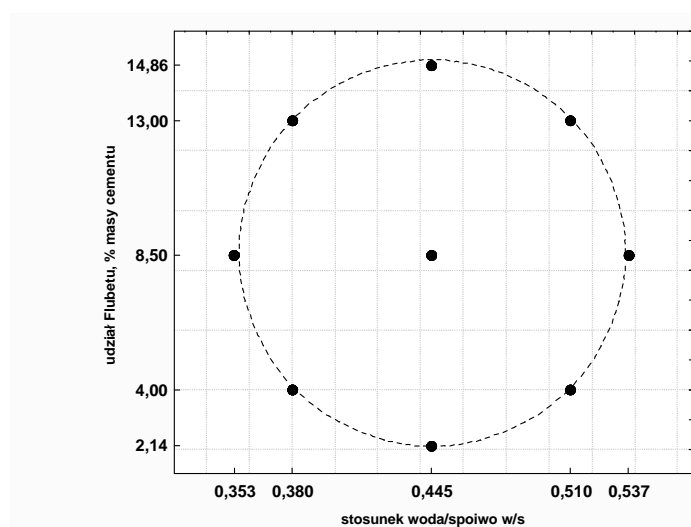
2. DOBÓR PLANU BADAŃ

Pierwszym etapem badań jest umiejętne zaprogramowanie całego eksperymentu. Badacz ma do wyboru wykonanie badań według planu pełnego, co często ma miejsce i jest zarówno kosztowne jak i pracochłonne, lub może zastosować jeden z planów badań. Wybór planu może nie być zadaniem prostym, gdyż wymagana jest tu wiedza podstawowa z tego zakresu, co niewątpliwie jest barierą zniechęcającą. Korzyści jakie daje zastosowanie planu badań są jednak niewspółmierne z czasem potrzebnym na zdobycie podstawowej wiedzy. Pomocą mogą tu być programy komputerowe, między innymi program STATISTICA.

Badacz w zależności od potrzeb oraz przewidywanych zależności może wybrać plan dwuwartościowy, trójwartościowy, kompozycyjny lub inny (rys. 1).



Rys. 1. Okno modułu Planowanie doświadczeń
Fig. 1. Window of the Design of experiments module



Rys. 2. Plan badań
Fig. 2. Testing plan

Jeżeli wiadomo, lub przyjęto takie założenia, że wpływ wielkości wejściowych na wielkość wyjściową ma charakter liniowy wówczas rozwiązaniem optymalnym jest przyjęcie planu dwuwartościowego. Jako, że w prezentowanym eksperymencie zależność

wytrzymałości na ściskanie od stosunku woda/spoiwo nie jest liniowa zatem ostatecznie wybrano plan centralny kompozycyjny. Przy dwóch wielkościach wejściowych i pięciu wartościach pośrednich, każdej ze zmiennych wejściowych plan centralny kompozycyjny składa się z 9 różnych punktów badawczych plus jedno powtórzenie w centrum planu (łącznie 10 punktów badawczych).

Kolejnym etapem po wyborze planu jest jego utworzenie dla założonych przedziałów zmienności wielkości wejściowych. Przyjęto, że stosunek woda/spoiwo w/s, zmienia się od 0,353 do 0,537 oraz udział dodatku (Flubetu) w stosunku do masy cementu zmienia się od 2,14% do 14,86%. Plan badań przedstawiono na rys. 2, a zestawienie zmiennych oraz składników mieszanek betonowych w tabeli 1.

Po określeniu składu mieszanek betonowych kolejny etap to realizacja badań.

Tabela 1. Zestawienie składu poszczególnych serii betonów

Table 1. Listing of the composition of particular concrete series

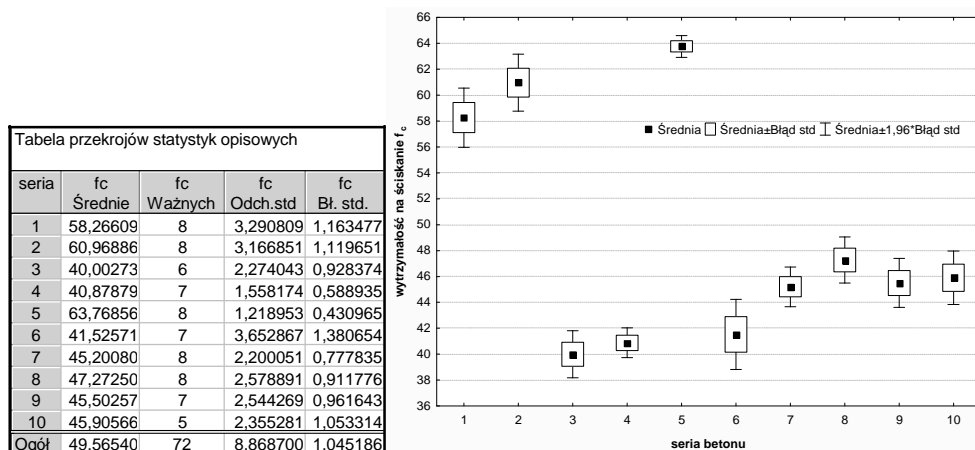
seria betonu	zmienna		Skład mieszanki betonowej według przyjętego planu w kg					
	w/s	Dodatek %	Spoiwo	Cement	Flubet	Woda	Piasek	Bazalt
1	0,380	4,00	454	435,8	18,2	172,5	739,3	1212,5
2	0,380	13,00		395,0	59,0	172,5		
3	0,510	4,00		435,8	18,2	231,5		
4	0,510	13,00		395,0	59,0	231,5		
5	0,353	8,50		415,4	38,6	160,3		
6	0,537	8,50		415,4	38,6	243,8		
7	0,445	2,14		444,3	9,7	202,0		
8	0,445	14,86		386,5	67,5	202,0		
9 (10)	0,445	8,50		415,4	38,6	202,0		

3. STATYSTYCZNA ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Po otrzymaniu wyników badań należy w pierwszej kolejności przeprowadzić analizę występowania błędów grubych w celu usunięcia ewentualnych anomalii, a następnie wyznaczyć miary położenia (wartość średnią) i miary rozproszenia (odchylenie standardowe, błąd standardowy) (rys. 3).

Bardzo ważną częścią analizy jest sprawdzenie jednorodności wariancji. Wykazanie jednorodności wariancji jest warunkiem koniecznym aby można było przystąpić do poszukiwania funkcji obiektu badań. Analizę jednorodności wariancji można przeprowadzić na przykład testem Browna-Forsythe'a (rys. 4) czy Levene'a. W obu testach uzyskane komputerowe poziomy istotności $p > 0,05$ (jako graniczny poziom istotności we wszystkich analizach przyjęto $\alpha = 0,05$) i wynoszą odpowiednio 0,40 i 0,09.

W celu sprawdzenia czy zmienne niezależne w istotny sposób wpływają na badaną cechę betonów przeprowadzono analizę wariancji testem F. Wynik analizy wariancji ($p < 0,05$, rys. 5) wskazuje na wysoce istotny wpływ zmiennych niezależnych (stosunku wodna/spoiwo oraz procentowego udziału dodatku do betonu) na zmienną zależną (wytrzymałość na ściskanie). Jednocześnie uzyskany wynik pozwala na odrzucenie hipotezy o równości średnich.



Rys. 3. Miary położenia i rozproszenia wytrzymałości na ściskanie f_c
 Fig. 3. Measures of location and dispersion of the compressive strength

Test jednorod. wariancji Browna-Forsythe'a (Flubet fc e kics ac)								
Zaznaczone efekty są istotne z $p < ,05000$								
Zmienna	SS Efekt	df Efekt	MS Efekt	SS Błąd	df Błąd	MS Błąd	F	p
fc	27,17671	9	3,019634	175,7937	62	2,835382	1,064983	0,400980

Rys. 4. Test jednorodności wariancji
 Fig. 4. Test of variance homogeneity

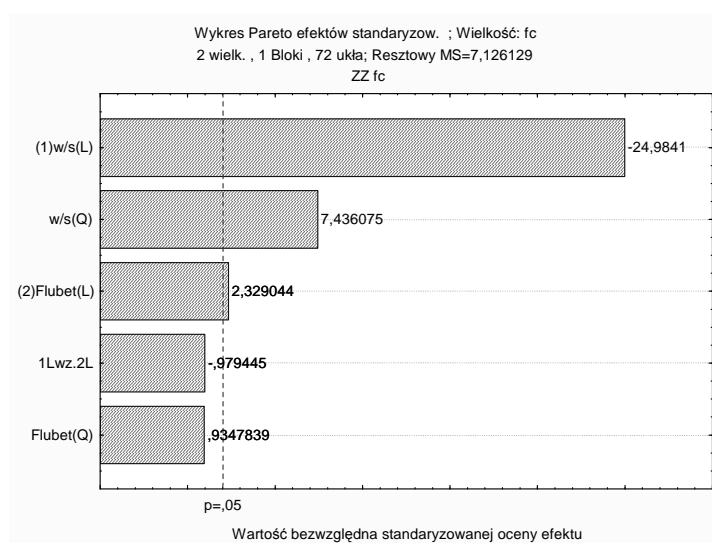
Analiza wariancji (Flubet fc e kics ac)								
Zaznaczone efekty są istotne z $p < ,05000$								
Zmienna	SS Efekt	df Efekt	MS Efekt	SS Błąd	df Błąd	MS Błąd	F	p
fc	5166,063	9	574,0070	418,3595	62	6,747733	85,06664	0,00

Rys. 5. Analiza wariancji
 Fig. 5. Variance analysis

ANOVA; Zmn.:fc; $R^2 = ,91578$; Popr.:9094 2 wielk. , 1 Bloki , 72 ukła;					
Wejśc.	SS	df	MS	F	p
(1)w/s(L)	4448,158	1	4448,158	624,2040	0,000000
w/s(Q)	394,041	1	394,041	55,2952	0,000000
(2)Flubet (L)	38,655	1	38,655	5,4244	0,022928
Flubet (Q)	6,227	1	6,227	0,8738	0,353307
1L wz.2L	6,836	1	6,836	0,9593	0,330937
Błąd	470,325	66	7,126		
Całk. SS	5584,423	71			

Rys. 6. Tabela ANOVA
 Fig. 6. The ANOVA table

Kolejnym krokiem analizy jest zaproponowanie postaci funkcji aproksymującej. Wstępnie przyjęto postać wielomianu drugiego stopnia z interakcjami pierwszego rzędu. Na podstawie wyników zestawionych w tabeli ANOVA (rys. 6) należy stwierdzić nieistotny wpływ zmiennej niezależnej Flubet w drugiej potęgze ($p = 0,353 > 0,05$), jak również interakcji ($p = 331 > 0,05$). Innym przedstawieniem uzyskanych wyników może być wykres Pareto (rys. 7). Uwzględniając powyższe dokonano zatem usunięcia efektów nieistotnych i powtórzono analizę istotności.



Rys. 7. Wykres Pareto

Fig. 7. The Pareto diagram

Ponowna analiza wraz ze sprawdzeniem adekwatności zaproponowanego modelu potwierdziła istotność efektów liniowych (w/s i Flubet) oraz efektu drugiego stopnia zmiennej woda/spoiwo (rys. 8). Jednocześnie wartość komputerowego poziomu istotności p w wierszu „Brak dopasowania” wynosząca $0,10 > 0,05$ świadczy o adekwatności przyjętej funkcji aproksymującej.

ANOVA; Zmn.:fc; R ² = ,91346; Popr.:90964 2 wielk. , 1 Bloki , 72 ukł.; Czysty błąd MS=6,648149 ZZ fc					
Wejśc.	SS	df	MS	F	p
(1)w/s(L)	4464,673	1	4464,673	671,5664	0,000000
w/s(Q)	466,773	1	466,773	70,2109	0,000000
(2)Flubet (L)	41,444	1	41,444	6,2339	0,015160
Brak dopas.	64,438	5	12,888	1,9385	0,100389
Czysty bł.	418,833	63	6,648		
Całk. SS	5584,423	71			

Rys. 8. Test istotności efektów i adekwatności funkcji

Fig. 8. Significance test of effects and adequacy of function

Współczynnik determinacji R^2 modelu wynosi 0,910, zatem zmienność wytrzymałości na ściskanie wyjaśniona jest zaproponowanym modelem w 91%, a 9% stanowią inne czynniki, w tym czynniki losowe.

Po sprawdzeniu istotności efektów i adekwatności funkcji dalsza analiza statystyczna dotyczy określenia współczynników przyjętego modelu oraz sprawdzenia ich istotności. Analiza istotności współczynników powinna być przeprowadzana na wartościach unormowanych. W programie STATISTICA zamiana wartości rzeczywistych na unormowane jest przeprowadzana automatycznie. Na podstawie relacji normowania wyliczane są wartości współczynników wielomianu dla rzeczywistych wartości zmiennych. Ocenę istotności współczynników funkcji aproksymującej przeprowadzono na wartościach unormowanych (rys. 9a) i wartościach rzeczywistych (rys. 9b). Uzyskane komputerowe poziomy istotności p , mniejsze od przyjętego granicznego poziomu istotności $\alpha = 0,05$, potwierdzają istotność współczynników przyjętego modelu.

a)	Oceny efektów ; Zmn.:fc; $R^2=$,91346; Popr.:90964 (Flubet fc e kics ac) 2 wielk. , 1 Bloki , 72 ukła; Czysty błąd MS=6,648149 ZZ fc							
	Wejśc.	Efekt	Błąd std Czys.bł.	t(63)	p	-95,% Gran.ufn	+95,% Gran.ufn	Wsp.
	Średn./Stała	46,2392	0,449657	102,8322	0,000000	45,3406	47,1378	46,23920
	(1)w/s(L)	-17,4587	0,673702	-25,9146	0,000000	-18,8050	-16,1124	-8,72935
	w/s(Q)	6,7840	0,809626	8,3792	0,000000	5,1661	8,4019	3,39201
	(2)Flubet (L)	1,6490	0,660446	2,4968	0,015160	0,3292	2,9688	0,82449

b)	Wpółcz. regresji; $R^2=$,91346; Popr.:90964 (Flubet fc e kics ac) 2 wielk. , 1 Bloki , 72 ukła; Czysty błąd MS=6,648149 ZZ fc					
	Wejśc.	Regresji Wsp.	Błąd std Czys.bł.	t(63)	p	-95,% Gran.ufn
	Średn./Stała	263,427	18,69271	14,09251	0,000000	226,07
	(1)w/s(L)	-848,827	85,19681	-9,96314	0,000000	-1019,08
	w/s(Q)	802,842	95,81378	8,37920	0,000000	611,37
	(2)Flubet (L)	18,322	7,33829	2,49678	0,015160	3,66

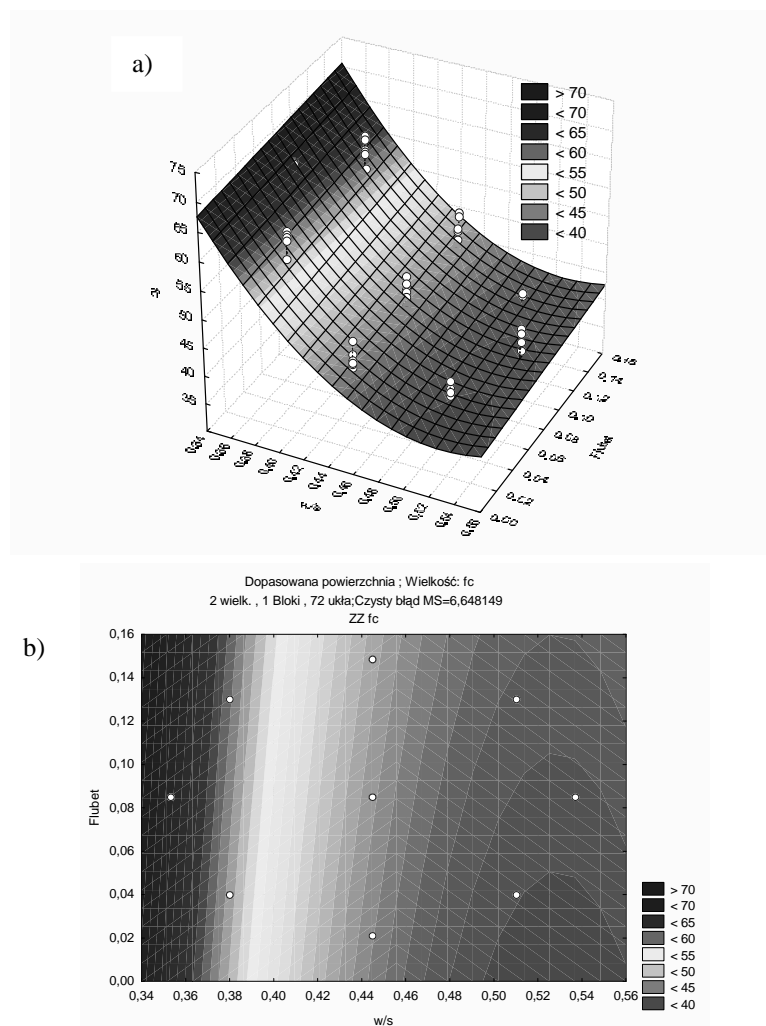
Rys. 9. Analiza istotności współczynników równania
a) dla wartości unormowanych, b) dla wartości rzeczywistych
Fig. 9. Significance analysis of coefficients of equation
a) for real values, b) for standardised values

Istotną kwestią po uzyskaniu modelu statystycznego jest obszar jego ważności. Na podstawie powyższych analiz uzyskano adekwatny model, w którym wszystkie współczynniki są istotne, jednak model ten jest prawdziwy tylko w obszarze objętym badaniem. Obszarem tym jest koło ograniczone punktami leżącymi na jego obwodzie (punktami badawczymi, rys. 2).

Wizualnie funkcję aproksymującą wyniki badań można przedstawić zarówno na wykresie powierzchniowym, jak również na wykresie warstwicowym (rys. 10 a i b).

W przypadku wyników badań będących podstawą do przeprowadzenia pełnej analizy statystycznej potwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie jest zależna od stosunku woda/spoiwo i opisana jest wielomianem drugiego stopnia. Spadek stosunku woda/spoiwo powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie.

Analizy wykazały również zależność wytrzymałości betonów na ściskanie od udziału dodatku Flubet (popiołu fluidalnego). Udział Flubetu wpływa na zmianę wytrzymałości na ściskanie w sposób liniowy. Wzrost udziału Flubetu powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie.



Rys. 10. Zależność wytrzymałości na ściskanie od stosunku woda/spoiwo oraz udziału Flubetu

a) wykres powierzchniowy, b) wykres warstwowy

Fig. 10. Correlation between compressive strength and water/binder ratio and the Flubet fraction a) surface chart, b) strata chart

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona statystyczna analiza wyników badań, poprzedzona wyborem planu badań, pozwoliła na znalezienie adekwatnej funkcji obiektu badań. Zaproponowana funkcja aproksymująca pozwala na wyjaśnienie zmiany wytrzymałości na ściszenie betonów w zależności od zmiennych niezależnych (stosunku woda/spoiwo oraz udziału dodatku Flubet). Funkcja ta może być również podstawą do dalszych analiz. Jeden z celów poszukiwania funkcji aproksymujących jest chęć wykorzystania ich do przeprowadzenia optymalizacji.

Prezentowane w artykule wyniki badań są częścią pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy nr N N507 475337.

5. LITERATURA

- [1] Polański Z.: Planowanie doświadczeń w technice. PWN, Warszawa 1984.
- [2] Strzałkowski A., Śliżyński A.: Matematyczne metody opracowywania wyników pomiarów. PWN, Warszawa 1973.
- [3] Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. StatSoft, Kraków 2006.
- [4] Konkol J.: Wprowadzenie do praktycznego planowania eksperymentu. W. R&D – badania innowacyjne z wykorzystaniem analizy danych. StatSoft Polska, Kraków 2007, s.43-58.

DESIGN OF EXPERIMENTS AND STATISTICAL ANALYSIS OF RESULTS FOR CONCRETE RESEARCH EXAMPLE

SUMMARY

The aim of the contribution is indication to opportunities which gives application of design of experiments to researchers. The author presents how to carry out the correct statistical analysis driving at formulation of statistical model.

Janusz KONKOL, dr inż.
Jaromir BIAŁEK, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa
Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów
e-mail: jk7@prz.edu.pl

ZASTOSOWANIE METOD STEREOLOGICZNYCH DO OCENY MROZOODPORNOŚCI BETONÓW NAPOWIETRZANYCH

STRESZCZENIE

W artykule zaprezentowano wyniki badań stereologicznych dotyczące betonów napowietrzanych. Na specjalnie przygotowanych płaskich przekrojach próbek betonowych określono parametry stereologiczne, w tym współczynnik rozmieszczenia porów. Wartość tego współczynnika określa odporność betonu na działanie cyklicznego zamrażania/odmrażania. Badania stereologiczne betonów uzupełniono o badania wytrzymałości na ściskanie.

1. WPROWADZENIE

Możliwości ilościowej opisu struktury stwardniałego betonu dają metody stereologiczne. Pomiary stereologiczne umożliwiają określenie wielu parametrów charakteryzujących strukturę porów w betonie, w tym również współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} [1]. Na podstawie wartości współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} można zakwalifikować beton pod względem jego mrozoodporności. Wyznaczenia parametrów stereologicznych dokonuje się na podstawie analizy płaskich przekrojów stwardniałego betonu. W celu poprawy mrozoodporności betonu zwykłego (zmniejszenia wartości współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L}) stosuje się domieszki napowietrzające. Modyfikacje składu betonu domieszkami napowietrzającymi dokonywano już od 1939 roku (USA). Domieszki napowietrzające to związki hydrofobowe, powierzchniowo czynne. Ich stosowanie ma na celu wytworzenie w strukturze stwardniałego betonu dużej ilości drobnych równomiernie rozłożonych porów powietrznych. Odpowiednie rozmieszczenie porów powietrznych zapewnia trwałość betonu na działanie cyklicznego zamraża-

nia/odmrażania. Woda, która dostanie się w pory kapilarne podczas zamrażania zwiększa swoją objętość, jednak nie powoduje to powstania dodatkowych naprężeń, gdyż lód przedostaje się do znajdujących się w strukturze betonu pęcherzyków. Wytworzenie odpowiedniego układu pęcherzyków nie jest zabiegiem technicznie prostym.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu ilości domieszki napowietrzającej MISCHÖL LP 70 (LP) na zmianę parametrów stereologicznych, w tym wskaźnik rozmieszczenia porów \bar{L} , będącego miarą mrozoodporności betonu. Wykonano cztery betony o stałym stosunku woda/cement i zmiennym udziale domieszki napowietrzającej, wynoszącym: 0; 0,1; 1,0 i 1,8% w stosunku do masy cementu. Charakterystykę domieszki napowietrzającej MISCHÖL LP 70 (LP) podano w tabeli 1 [2]. Do wszystkich mieszanek betonowych została dodana stała ilość superplastyfikatora WOERMENT FM 21 zapewniająca uzyskanie żądanej konsystencji. Użyto cementu portlandzkiego CEM I 32.5R z cementowni Ożarów, kruszywa żwirowego do 16 mm i piasku płukanego kwarcowego do 2 mm.

W celu określenia parametrów stereologicznych, jak również mrozoodporności betonu wykonano badania stereologiczne za pomocą programu FRAKTAL_Stereolog¹. Badanie struktury porów odbyło się za pomocą metody trawersu-liniowego, opisanej w normie PN-EN 480-11 [3].

Tabela 1. Charakterystyka domieszki MISCHÖL LP 70 (LP)

Table 1. Characteristic of the MISCHÖL LP 70 (LP) admixture

Właściwość	Dane techniczne
Surowiec podstawowy	Mydło żywic naturalnych
Kolor, forma	Ciemnobrązowy, ciecz
Gęstość (przy 20°C)	$1,01 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$
pH (przy 20°C)	$12,0 \pm 1,0$
Zawartość chlorków	$\leq 0,1 \text{ \% mas}$
Zawartość alkaliów	$\leq 0,8 \text{ \% mas}$
Zalecane dozowanie	0,05 – 1,6% masy cementu

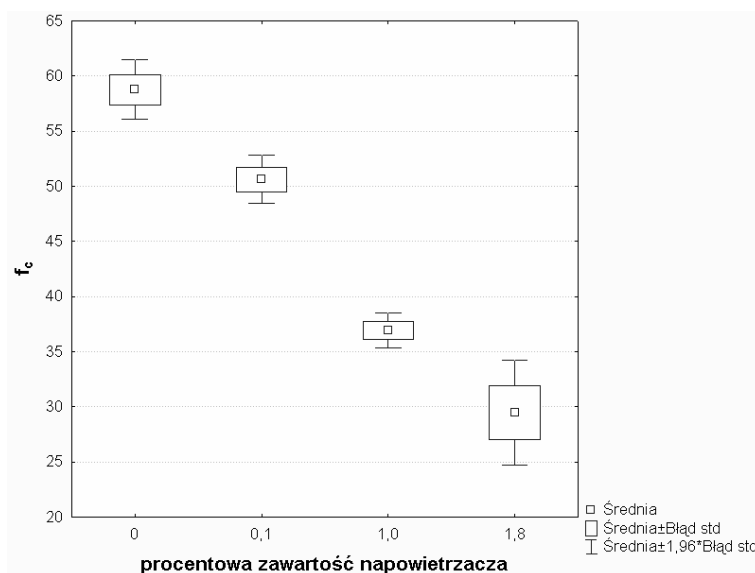
Wstępnie zaprojektowano skład mieszanki betonowej o stosunku wodno-cementowym $w/c = 0,45$ oraz punkcie piaskowym 29%. Otrzymano następujący skład na 1 m³ mieszanki betonowej: cement 406,7 kg, woda 183 l, piasek 494,9 kg i żwir 1322,5 kg. W przypadku pozostałych betonów ich modyfikacja polegała na dodaniu odpowiedniej ilości domieszki napowietrzającej.

¹ Konkół J.: FRAKTAL_Stereolog. Program komputerowy, Rzeszów 2001

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Dla każdej receptury mieszanki betonowej wykonano po sześć próbek sześciennych o boku 10 cm przeznaczonych do badań wytrzymałości na ściskanie oraz po jednej próbce sześcienną o boku 15 cm przeznaczonej do badań stereologicznych.

Badania wytrzymałości na ściskanie f_c wykonano po 28 dniach dojrzewania. Uzyskane wyniki badań poddano obróbce statystycznej. Przeprowadzono test Dixona w celu usunięcia błędów grubych (nie odrzucono żadnego z wyników). Obliczono Miary położenia (wartość średnią) i rozproszenia (odchylenie standardowe i błąd standardowy) (rys. 1, tabela 2). Wykazano jednorodności wariancji przy wykorzystaniu testu Bartletta. Testem F Snedecora (Fishera) stwierdzono istotny wpływ ilości domieszki napowietrzającej na wytrzymałość na ściskanie f_c , a tym samym statystyczną różnicę średnich.



Rys. 1. Wykres rozrzutu wytrzymałości na ściskanie f_c

Fig. 1. Scatter diagram of the compressive strength

Największą wytrzymałość na ściskanie uzyskał beton bez domieszki napowietrzającej. Dodatek domieszki napowietrzającej w ilości 1,8 % masy cementu wpłynął na 50% spadek wytrzymałości na ściskanie w porównaniu do betonu bez tej domieszki. Zależność między wytrzymałością na ściskanie f_c a ilością domieszki napowietrzającej opisano funkcją liniową postaci (rys. 2):

$$f_c = 54,948 - 14,914 \cdot V_{napow.} \quad (1)$$

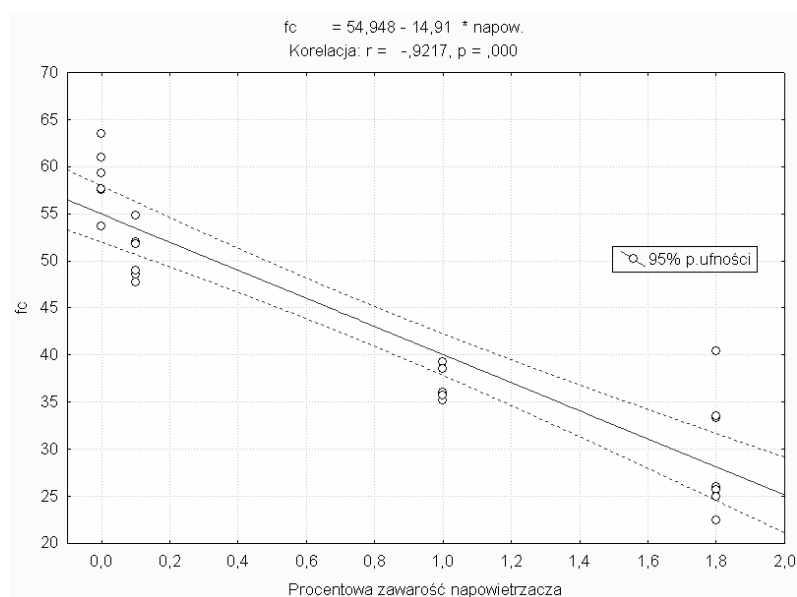
dla której współczynnik korelacji wynosi -0,922. Komputerowy poziom istotności p bliski zero (rys. 2) świadczy o wysoce istotnej liniowej korelacji między wytrzymałością na ściskanie a udziałem domieszki napowietrzającej. 85% zmiany wytrzymałości na ściskanie f_c wyjaśnione jest zmianą ilości domieszki napowietrzającej (współczynnik determinacji

$R^2 = 0,850$), a 15% zmiany wytrzymałości na ściskanie wywołane jest innymi czynnikami w tym losowymi. Jednocześnie jednocentowa zmiana ilości domieszki napowietrzającej powoduje zmianę wytrzymałości na ściskanie o 14,91 MPa.

Tabela 2. Zestawienie wyników wytrzymałości na ściskanie

Table 2. Listing of results of compressive strength

Seria betonu	Wytrzymałość na ściskanie f_c	$\pm S(x)$ odchylenie standardowe	$\pm S(\bar{x})$ błąd standardowy
[–]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
B1	58,77	3,36	1,37
B2	50,63	2,70	1,10
B3	36,92	1,80	0,80
B4	29,47	6,41	2,42



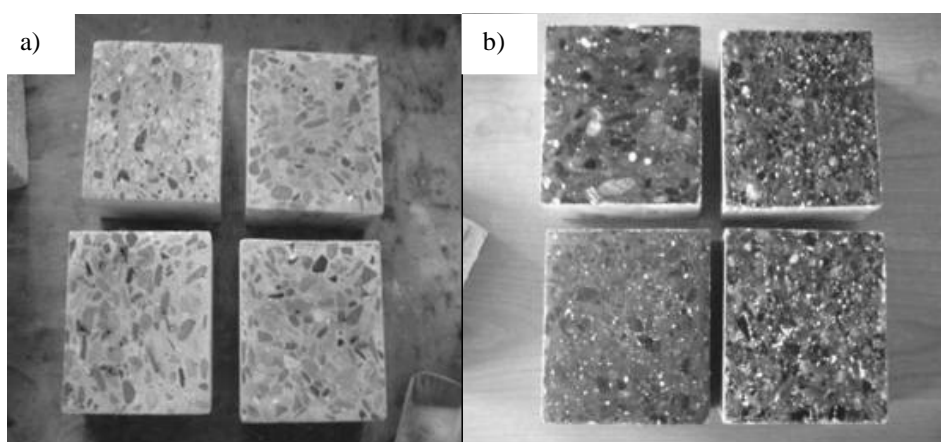
Rys. 2. Zależność wytrzymałości na ściskanie f_c od zawartości domieszki napowietrzającej

Fig. 2. Correlation between compressive strength f_c and air entrainment fraction

Na podstawie analizy powyższych wyników należy stwierdzić, że celowe zatem jest optymalizowanie dodawanej do mieszanki betonowej ilości domieszki napowietrzającej, kierując się zarówno kryterium jak największej możliwej do osiągnięcia wytrzymałości na ściskanie oraz kryterium najmniejszej ilości domieszki napowietrzającej koniecznej do uzyskanie przez beton odpowiedniej mrozoodporności. Odpowiedź na pytanie jaka ilość

domieszki napowietrzającej zapewni odpowiednią mrozoodporność betonu dają badania stereologiczne.

Próbki do badań stereologicznych przecięto uzyskując płaskie powierzchnie. Powierzchnie te przeszlifowano (rys. 3a), a następnie zaczerniono i wypełniono pory materiałem kontrastującym (rys. 3b). Zeskanowane obrazy zglądów betonowych z rys. 3b poddano obróbce komputerowej, polegającej na wyodrębnieniu miejsc występowania porów i usunięciu szumów. Za pory uznano piksele o odcieniu szarości w zakresie od 100 do 255 (0 – to kolor czarny, a 255 to biały). Uzyskany ostateczny obraz binarny posłużył do przeprowadzenia obliczeń, których dokonano w programie FRAKTAL_Stereolog (rys. 4).



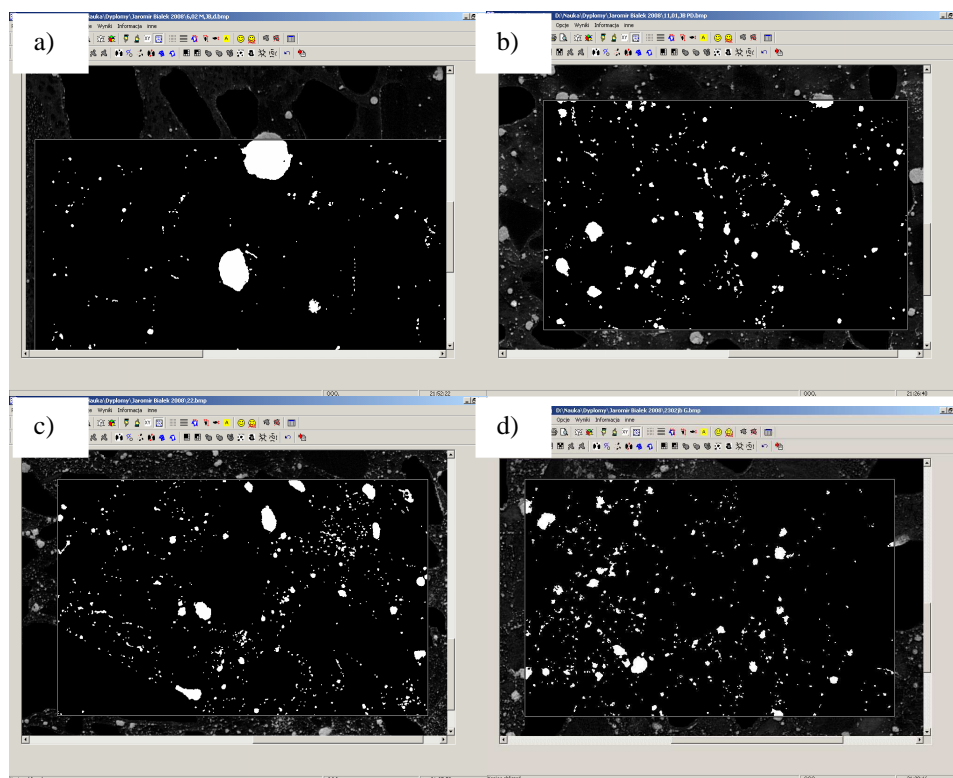
Rys. 3. a) próbki po przeszlifowaniu powierzchni, b) próbki przygotowane do analizy stereologicznej

Fig. 3. a) specimens after surface polished, b) specimens to stereological analysis prepared

Analizy statystyczne przeprowadzone w pracy [4] wykazały, że wyniki uzyskane analizując cały obraz próbki oraz przy dokonaniu podziału tego obszaru na mniejsze pola są statystycznie równe. Badania stereologiczne wykonano zatem na całej zeskanowanej próbce, po jednej z każdej mieszanki betonowej (rys. 4) określając następujące parametry porów powietrznych:

- ✓ N_A - licznosc względna przekrojów porów,
- ✓ A_A - powierzchnię względna przekrojów porów,
- ✓ S_V - powierzchnię względna porów,
- ✓ α - powierzchnię właściwa porów,
- ✓ \bar{l} - średnią cięciwę,
- ✓ η - średnią odległość swobodną,
- ✓ \bar{L} - wskaźnik rozmieszczenia porów.

Obliczone parametry stereologiczne zestawiono w tabeli 3.



Rys. 4. Obraz próbki betonowej z zawartością domieszki napowietrzającej:
a) 0%, b) 0,1%, c) 1%, d) 1,8%

Fig. 4. Image of concrete specimen with content air entrainment admixture
a) 0%, b) 0,1%, c) 1%, d) 1,8%

Tabela 3. Zestawienie wyników parametrów stereologicznych
Table 3. Listing of results of stereological parameters

Beton	Parametr stereologiczny						
	N_A	A_A	S_V	α	\bar{l}	η	\bar{L}
[–]	[1/cm ²]	[–]	[cm ² /cm ³]	[cm ² /cm ³]	[cm]	[cm]	[mm]
B1	9,79	0,015	1,292	83,86	0,048	3,048	0,97
B2	25,31	0,041	4,020	97,30	0,041	0,955	0,53
B3	40,24	0,046	5,311	115,94	0,035	0,719	0,43
B4	28,42	0,039	4,197	109,89	0,036	0,917	0,48

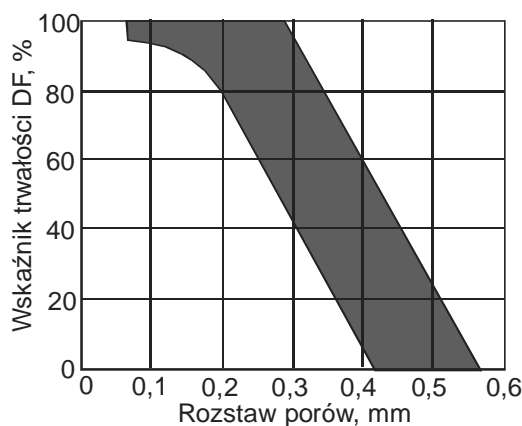
Korzystnie na mrozoodporność betonu będzie wpływać zarówno wzrost liczby porów powietrznych (max. N_A , max. α , max. S_V i max A_A), który przełoży się na

zmniejszenie odległości między porami (min. η i min. \bar{L}), jak również zmniejszenie wielkości porów (min. \bar{l}). Najlepszą zatem mrozoodpornością spośród badanych betonów ma beton serii B3 z 1% domieszki napowietrzającej. Najgorszą natomiast mrozoodpornością charakteryzuje się beton serii B1 – beton bez domieszki napowietrzającej.

Na podstawie uzyskanych wyników badań stereologicznych stwierdzono również, że nawet niewielka ilość domieszki napowietrzającej może znacząco zmienić strukturę betonu (rys. 2a i b). Wskaźnik rozmieszczenia porów zmienił się z wartości 0,97 w betonie bez domieszki napowietrzającej na wartość 0,53 w betonie z 0,1% zawartością domieszki napowietrzającej (zmiana o 45%).

Przeprowadzone badania potwierdziły również, że zbyt duża ilość domieszki napowietrzającej jest niewskazana i nie poprawia mrozoodporności betonu, a dodatkowo zdecydowanie obniża wytrzymałość betonu na ściskanie.

Analizując uzyskaną wartość wskaźnika rozmieszczenia porów \bar{L} nie można jednak wprost zakwalifikować betonu serii B3 jako odpornego na cykliczne zamrażanie/odmrażanie. Osiągnięcie wartości wskaźnika \bar{L} na poziomie gwarantującym mrozoodporność betonu, tj. $\bar{L} \leq 0,2$ mm, przy stosowaniu krajowych środków napowietrzających okazuje się stosunkowo trudne [5]. Mrozoodporność betonu serii B3 można jednak określić na podstawie wskaźnika trwałości DF (rys. 5) [6]. Jego wartość dla betonów o wskaźniku rozmieszczenia porów $\bar{L} \leq 0,2$ mm wynosi co najmniej 80%. W przypadku betonu serii B3 z jednoprocentowym udziałem domieszki napowietrzającej o $\bar{L} = 0,43$ wskaźnik trwałości DF może maksymalnie wynosić około 50%.



Rys. 5. Orientacyjny obszar wartości wskaźnika trwałości DF [10]

Fig. 5. Orientation area of index durability value (DF)

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników badań stereologicznych stwierdzono, że modyfikacja betonu domieszką napowietrzającą wpływa na poprawę jego mrozoodpor-

ności. Najbardziej optymalny skutek napowietrzania betonu, w celu poprawy jego mrozoodporności, uzyskano w przypadku betonu serii B3 z jednoprocentowym, w stosunku do masy cementu, udziałem domieszki napowietrzającej MISCHÖL LP 70 (LP).

Badania wykazały również znaczący wpływ niewielkiej ilości domieszki napowietrzającej na zmianę struktury betonu. Dodatek 0,1% domieszki napowietrzającej skutkował ponad 2,7 krotnym przyrostem porowatości betonu oraz poprawą parametrów stereologicznych decydujących o odporności betonu na cykliczne zamrażanie/odmrażanie.

Ujemnym skutkiem napowietrzania betonu jest spadek wytrzymałości na ściskanie przewyższający 50% przy 1,8% ilości domieszki napowietrzającej, dlatego najważniejszą decyzją, i to podejmowaną już na etapie projektowania betonu i badań laboratoryjnych, jest odpowiedni dobór składników mieszanki betonowej zapewniający uzyskanie przez beton pożądanej mrozoodporności przy jednoczesnym spełnieniu narzuconego warunku wytrzymałości na ściskanie.

5. LITERATURA

- [1] Powers T.C. (1949). The air requirement of frost-resistant concrete. Proceedings, Highway Research Board. Vol. 29, s. 184-202.
- [2] <http://www.bas-admixtures.pl/PL/produkty/domieszkidobetonu/Pages/default.aspx>.
- [3] PN-EN 480-11 Domieszki do betonów, zapraw i zaczynu. Metody badań. Oznaczenie charakterystyki porów w stwardniałym betonie.
- [4] Konkół J., Tomasik A.: Porowatość betonu wyznaczona metodami stereologicznymi oraz jej wpływ na właściwości mechaniczne betonu. XI International Scientific Conference Lviv-Koszyce-Rzeszów „Current Issues of Civil and Environmental Engineering” December 12-14, 2007, Lviv, Ukraine, s. 456-462.
- [5] Rusin Z., „Technologia betonów mrozoodpornych”. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2002.
- [6] U.S. Bureau of Reclamation, The air-void system of Highway Research Board cooperative concretes, Concrete Laboratory Report nr C-824 (Denver, Colorado, April 1956).

APPLICATION OF STEREOLOGICAL METHODS TO FREEZE RESISTANCE ESTIMATION OF AIR ENTRAINMENT CONCRETES

SUMMARY

Results of stereological investigations relating to air entrainment concretes have been presented in the contribution. Stereological parameters, including coefficient of pores distribution, have been determined on individually prepared plane sections of concrete samples. Value of this coefficient defines concrete resistance to cyclical freezing and thawing. Tests of the concrete compressive strength have been also carried out.

Janusz KONKOL, dr inż.
Tomasz NOWAK, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa
Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów
e-mail: jk7@prz.edu.pl

WPŁYW DODATKU BENTONITU EXTRA-PT NA WŁAŚCIWOŚCI BETONÓW

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań cech mechanicznych i fizycznych betonów bazaltowych o zróżnicowanym udziale dodatku bentonitu Extra-PT, dodawanego po stronie spoiwa w ilości 5, 10 i 15% masy cementu. Wykazano znaczący wpływ zmiany udziału bentonitu na badane cechy betonów, tj.: wytrzymałość na ściskanie, skurcz, nasiąkliwość, wodoprzepuszczalność oraz wysokość podciągania kapilarnego.

1. WPROWADZENIE

Jedną z pożądanych cech betonów jest odpowiednia wodoszczelność. Można ją zapewnić przez zastosowanie dodatku do betonu w postaci bentonitu. Jest to dodatek zarówno tani, ogólnodostępny, a co również bardzo istotne przyjazny środowisku. Wyniki badań uzyskiwane przez różnych badaczy potwierdzają przydatność bentonitu jako dodatku do betonów [1-4].

Stosowany do betonów bentonit powstaje przez rozdrobnienie skały ilastej. Głównym składnikiem bentonitu są glinokrzemiany. Cechą charakterystyczną bentonitu jest duża możliwość wchłaniania wody, co powoduje pęcznienie bentonitu i kilkukrotny przyrost jego objętości. Takie właściwości bentonitu powodują, że na skutek obecności w betonie wody ziarna bentonitu chłonąc ją zwiększają swoją objętość, przez co blokują dalszą możliwość penetracji wody. Przez pęcznienie uszczelniają strukturę betonu, stwarzając skuteczną barierę dla dalszej migracji wody.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań jest ocena właściwości betonów wykonanych z różnym udziałem bentonitu. Bentonit dodawano w ilości 5, 10 i 15% w stosunku do masy cementu zastępując nim odpowiednią ilość cementu.

W celu zrealizowania powyższych celów przeprowadzono następujące badania: konsystencji mieszanki betonowej, wytrzymałości na ściskanie, skurczu, nasiąkliwości, wodoprzepuszczalności i podciągania kapilarnego.

Badaniom poddano 4 mieszanki betonowe o zróżnicowanym udziale bentonitu i stałym stosunku woda/spoiwo wynoszącym 0,45. Do wykonania betonów użyto cementu portlandzkiego CEM I 32.5R z cementowni Ożarów, kruszywa bazaltowego do 16 mm z m. Wilków oraz piasku płukanego z m. Strzegocice. W celu utrzymania odpowiedniej konsystencji mieszanki betonowej (półcieklej) zastosowano superplastyfikator Woerment FM 21 w stałej ilości 1,5% w stosunku do masy cementu. Zastosowany bentonit pochodzi z Zakładów Górniczo-Metalowych Zębice S.A. w Zębcu. Charakterystykę bentonitu Extra-PT podano w tabeli 1 [5].

Tabela 1. Charakterystyka bentonitu Extra-PT
Table 1. Characteristic of the Extra-PT bentonite

Lp.	Określany parametr	Wynik
1	Wytrzymałość na ściskanie, N/cm ²	min.. 8,5
2	Osypliwość, %	max. 3
3	Wskaźnik pęcznienia, cm ³ /2g	min. 18
4	Zawartość węglanów, %	max. 5
5	Zawartość wody, %	max. 12
6	Zawartość montmorillonitu, %	min. 75
7	Przemiał, %	80% ziaren poniżej 0,056 mm

Podstawową recepturę mieszanki betonowej wykonano przy założeniu stosunku wodno-cementowego W/C = 0,45 i punktu piaskowego 31%. Otrzymano następujące składniki mieszanki betonowej na 1 m³: cementu 521,1 kg, wody 234,5 l, piasku 510,1 kg i gryszy bazaltowego 1173,3 kg. Pozostałe receptury powstały przez zastąpienie ustalonej ilości cementu bentonitem. Skład mieszanek betonowych na 1 m³ zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie składu poszczególnych serii betonów
Table 2. Listing of the composition of particular concrete series

Seria betonu	Składniki mieszanki betonowej, kg/1m ³						
	Cement + Bentonit	Cement	Bentonit (% mc)	Woda	Piasek	Bazalt	FM-21, % mc
B1	521,1	521,1	0	234,1	510,1	1173,3	1,5
B2		495,0	26,1 (5)				
B3		469,0	52,1 (10)				
B4		442,9	78,2 (15)				

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Przeprowadzono badania cech fizycznych i mechanicznych mieszanek betonowych i betonów. Badanie konsystencji mieszanki betonowej przeprowadzono metodą Vebe (tabela 3). W przypadku wszystkich betonów otrzymano zakładaną półciekłą konsystencję mieszanki betonowej (V4). Czas rozplywu stożka wynosił od 3 do 4 s.

Badania wytrzymałości na ściskanie f_c wykonano po 28 dniach dojrzewania, a do badania użyto sześciu próbek sześciennych o boku 10 cm. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie f_c , nasiąkliwości, wodoprzepuszczalności (głębokości penetracji wody) i konsystencji zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie wyników parametrów wytrzymałościowych i fizycznych mieszanek betonowych i betonów

Table 3. Listing of results of strength and physical parameters of mix compositions and concretes

Seria betonu	$f_c \pm S(\bar{x})$	Nasiąkliwość	Wodoprzepuszczalność	Konsystencja
[-]	[MPa]	[%]	[cm]	oznaczenie, czas [s]
B1	54,6±0,89	5,1	8,9	V4 (3 s)
B2	42,5±1,19	5,6	5,8	V4 (3 s)
B3	42,3±0,71	6,2	4,4	V4 (3 s)
B4	26,5±0,58	7,2	3,7	V4 (4 s)
S(\bar{x}) – błąd standardowy				

W przypadku badań wytrzymałościowych przeprowadzono statystyczną analizę wyników badań polegającą na sprawdzeniu występowania błędów grubych (testem Dixona), wpływu zmiennych niezależnych na zmienną zależną oraz sprawdzeniu jednorodności wariancji. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy założeniu poziomu istotności $\alpha = 0,05$, przy wykorzystaniu programu STATISTICA 8.0 PL. W wyniku przeprowadzonej analizy testem Dixona pozostawiono wszystkie wyniki badań. Na podstawie analizy wariancji natomiast wykazano istotny wpływ zmiennych niezależnych na wytrzymałość betonu na ściskanie f_c (jednocześnie wykazano różność średnich) (rys. 1, komputerowy poziom istotności $p \ll 0,05$) oraz na podstawie testu Lavene'a stwierdzono jednorodność wariancji (rys. 2, komputerowy poziom istotności $p = 0,354$).

Analiza wariancji (Arkusz1)								
Zaznaczone efekty są istotne z $p < ,05000$								
Zmienna	SS Efekt	df Efekt	MS Efekt	SS Błąd	df Błąd	MS Błąd	F	p
fc	2393,231	3	797,7438	91,55500	20	4,577750	174,2655	0,000000

Rys. 1. Analiza wariancji

Fig. 1. Variance analysis

Test Levene'a jednorodności wariancji (Arkusz1)								
Zaznaczone efekty są istotne z $p < ,05000$								
Zmienna	SS Efekt	df Efekt	MS Efekt	SS Błąd	df Błąd	MS Błąd	F	p
fc	3,994583	3	1,331528	23,20667	20	1,160333	1,147539	0,354207

Rys. 2. Test jednorodności wariancji

Fig. 2. Test of variance homogeneity

Poniżej przedstawiono wykres zmienności wytrzymałości na ściskanie w zależności od zawartości bentonitu. Przeprowadzone badanie dowodzą, że wzrost udziału bentonitu Extra-PT w betonie, zastępującego część cementu, zdecydowanie obniża wytrzymałość na ściskanie f_c . W przypadku zastąpienia 15% masy cementu bentonitem stwierdzono aż 51,5% spadek wytrzymałości na ściskanie. Dziesięcioprocentowe zastąpienie cementu bentonitem wpłynęło na 22,5% obniżenie wytrzymałości na ściskanie.

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono analizę korelacji. Wykazano statystycznie istotny wpływ udziału bentonitu na zmianę wytrzymałości na ściskanie f_c . Zaproponowany model pokazano na rys. 4 (wzór (1)).

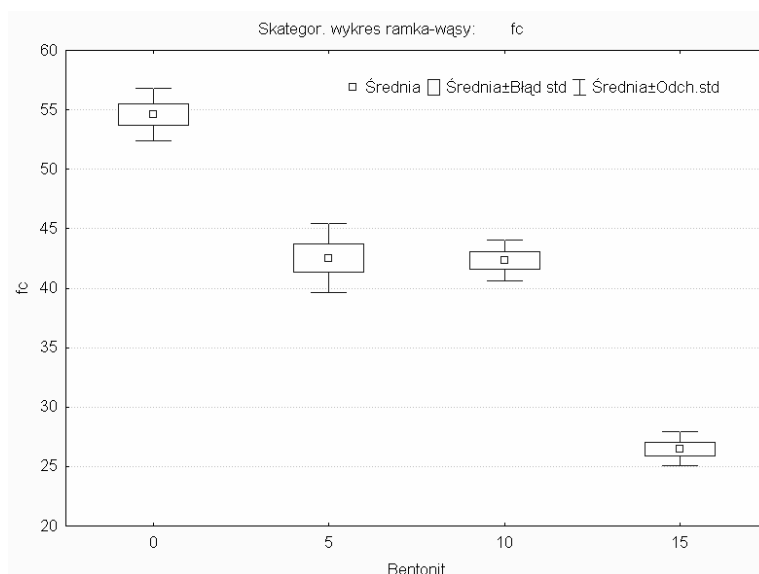
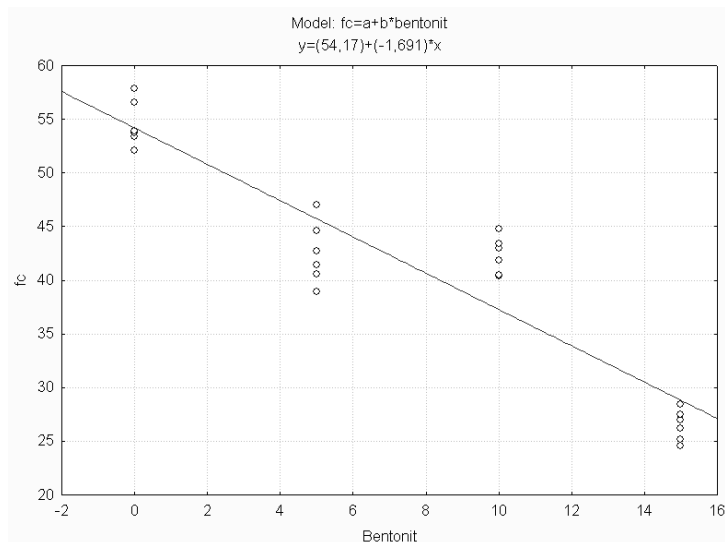
Rys. 3. Wykres rozrzutu wytrzymałości na ściskanie f_c

Fig. 3. Scatter diagram of the compressive strength

Rys. 4. Liniowa zależność między wytrzymałością na ściskanie f_c a udziałem bentonituFig. 4. Linear correlation between compressive strength f_c and bentonite fraction

W przewidzianym badaniem zakresie zmienności udziału bentonitu uzyskano statystycznie istotną liniową korelację między wytrzymałością na ściskanie, a udziałem bentonitu określoną wzorem:

$$f_c = 54,17 - 1,691 \cdot \text{BENTONIT} \quad (1)$$

Współczynnik korelacji równania (1) wynosi $R = 0,929$, komputerowy poziom istotności liniowej korelacji $p < 0,05$, a komputerowy poziom istotności współczynników równania liniowego, zarówno dla współczynnika kierunkowego, jak i wyrazu wolnego $p \ll 0,05$ (rys. 5). Uzyskane wartości komputerowych poziomów istotności świadczą o istnieniu liniowej zależności postaci (1).

Model: $f_c = a + b \cdot \text{bentonit}$ (Arkusz1)						
Zmn. zal. : f_c						
Poziom ufności: 95.0% ($\alpha = 0.050$)						
	Ocena	Błąd stand.	Wart. t df = 22	poziom p	Doln. uf Granica	Górn. uf Granica
a	54,17000	1,343116	40,3316	0,000000	51,38455	56,95545
b	-1,69100	0,143585	-11,7770	0,000000	-1,98878	-1,39322

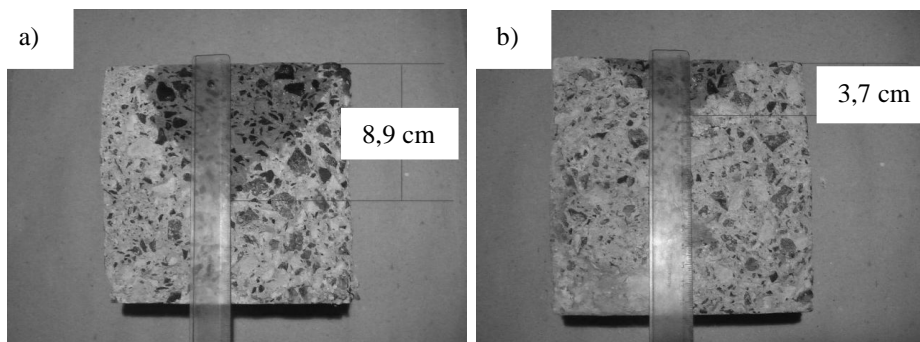
Rys. 5. Analiza istotności współczynników równania (1)

Fig. 5. Significance analysis of coefficients of equation (1)

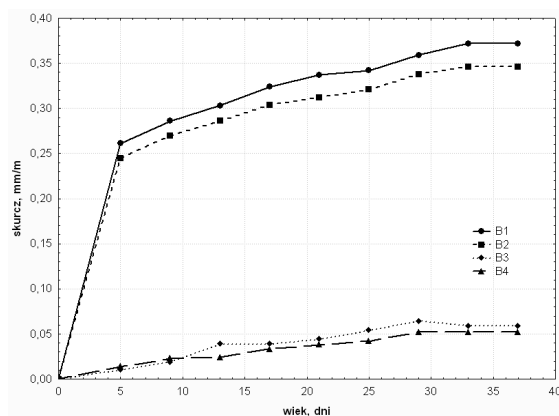
Współczynnik determinacji R^2 równania regresji (1) wynosi 0,863, co świadczy, że zmienność wytrzymałości na ściskanie wyjaśniona jest zmianą udziału bentonitu w 86,3%, a 13,7 % stanowią inne czynniki, w tym czynniki losowe. Otrzymana zależność pokazuje, że wraz ze wzrostem udziału bentonitu w betonie maleje wytrzymałość na ściskanie.

Na podstawie badań nasiąkliwości (tabela 3) stwierdzono, że w miarę wzrostu udziału bentonitu w betonie rosła nasiąkliwość tych betonów. Spowodowane jest to specyficznymi cechami bentonitu, który ma właściwości pochłaniania dużej ilości wody.

Wzrost udziału bentonitu pozytywnie wpłynął na wodoprzepuszczalność betonów, określoną jako głębokość penetracji wody pod ciśnieniem. Wymiana 15% masy cementu na bentonit spowodowała zmniejszenie głębokości penetracji wody z 8,9 cm do 3,7 cm (rys. 6a i b). Pęczniący bentonit znajdujący się w strukturze betonu powoduje wypełnienie porów, co skutkuje uszczelnieniem struktury i wytworzeniem bariery stanowiącą opór dla penetrującej wody.

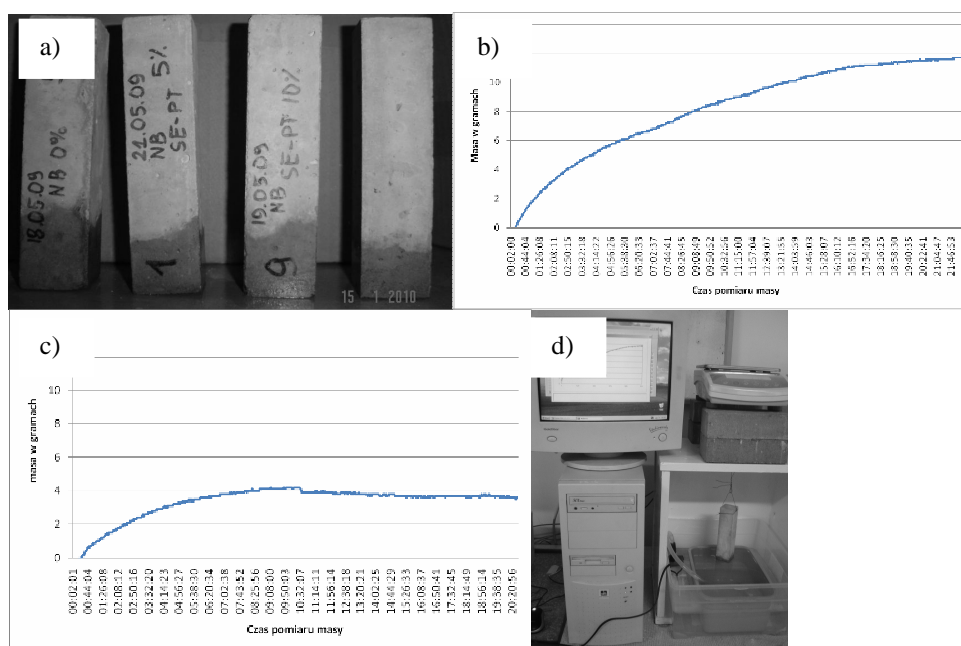


Rys. 6. Głębokość penetracji wody w betonie z: a) 0% bentonitu, b) 15% bentonitu
Fig. 6. Depth of water penetration in concrete with: a) 0% of bentonite, b) 15% of bentonite



Rys. 7. Wykres skurczu
Fig. 7. Diagram of shrinkage

Wzrost udziału bentonitu w betonie skutkował zmniejszeniem skurczu. Największy skurcz zaobserwowano w przypadku betonu bez dodatku bentonitu oraz z 5% udziałem bentonitu Extra-PT (rys. 7). Zdecydowanie zmniejszy skurczu mają betony z 10% i 15% udziałem bentonitu. Na ograniczenie skurczu w przypadku tych betonów w porównaniu do betonu bez dodatku bentonitu wpływa zdolność bentonitu do pochłaniania wody i pęcznienia, co powoduje zmniejszenie liczby mikropęknięć w strukturze betonu oraz tworzenie bardziej szczelnej struktury.



Rys. 8. Badanie podciągania kapilarnego, a) wynik metodą standardową, b) zmiany masy wchłoniętej wody w próbce betonu bez bentonitu, c) zmiany masy wchłoniętej wody w próbce betonu z 15% ilością bentonitu, d) zmodyfikowane stanowisko badawcze
Fig. 8. Investigation of capillary rise of water, a) the standard method, b) change of water mass absorption in specimen without bentonite, c) change of water mass absorption in specimen with 15% of bentonite, d) the modified test stand

Uzyskane wyniki badań podciągania kapilarnego wody świadczą o korzystnym wpływie dodatku bentonitu Extra-PT. Wraz ze wzrostem zawartości dodatku bentonitu Extra-PT ilość, jak i wysokość podciąganej wody ulegała zmniejszeniu. Zmiany wysokości podciągania wody obserwowane na powierzchni próbek nie są jednak wyraźne (rys. 8a). W celu potwierdzenia korzystnego wpływu dodatku bentonitu przeprowadzono badanie z jednoczesną rejestracją przyrostu masy próbki. Próbka podwieszona została do wagi laboratoryjnej i zanurzona w wodzie, której poziom był utrzymywany na stałej wysokości (rys. 8d). Wyniki pomiarów rejestrowane w czasie przedstawiono na rys. 8b i c. Masa

wchłoniętej wody przez próbkę bez bentonitu wynosi 12 g (rys. 8b), natomiast próbka z 15% zawartością bentonitu wchłonęła tylko 4 g wody (rys. 8c). Zaobserwowane wyniki można wytłumaczyć tym, iż bardzo drobne ziarna bentonitu szczelnie wypełniają wolne przestrzenie występujące w mikrostrukturze betonu.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały znaczący wpływ bentonitu na właściwości betonów. Stwierdzono, że 15% dodatek bentonitu w stosunku do masy cementu powoduje zdecydowany spadek wytrzymałości na ściskanie, jak również wzrost nasiąkliwości.

Zastosowanie bentonitu, jako dodatku do betonu powoduje jednak poprawę takich jego cech jak: skurcz, wodoprzepuszczalność czy wysokość podciągania kapilarnego. Poprawa tych właściwości powoduje, że dodatek ten jest istotnym zwłaszcza w budownictwie hydrotechnicznym.

5. LITERATURA

- [1] Targan Ş., Olgun A., Erdogan Y., Sevinc V.: Effects of supplementary cementing materials on the properties of cement and concrete. *Cement and Concrete Research*, 32, 2002, s. 1551–1558.
- [2] Abali Y., Bayca S.U., Targan S.: Evaluation of blends tincal waste, volcanic tuff, bentonite and fly ash for use as a cement admixture. *Journal of Hazardous Materials*, B131, 2006, s. 126–130.
- [3] Rawicki Z.: Zasady doboru ilości i rodzaju bentonitu do ciekłych mieszanek betonowych. *Archiwum Inżynierii Lądowej*, t. XXXIII, z. 1, 1987, s. 101–111.
- [4] Rawicki Z.: Wpływ dodatku bentonitu na właściwości betonów, *Cement Wapno Gips*, 8, 1987, s. 164–167.
- [5] <http://www.zebiec.com.pl/index.php?pname=158>.

INFLUENCE OF THE EXTRA-PT BENTONITE ADDITION ON CONCRETE PROPERTIES

SUMMARY

Experimental studies determining influence of the EXTRA-PT bentonite content on the concrete properties, such as compressive strength, shrinkage, absorption, water permeability, capillary rise of water, have been presented in the contribution.

The obtained results prove that a change in participation of the bentonite to 15% of cement's weight definitely influences the features of concrete's mixture as well as hardened concrete.

Rafał KORUPCZYŃSKI, dr inż.

Dariusz CZEKAŁSKI, dr inż.

Paweł OBSTAWSKI, dr inż.

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

OCENA ZMIENNOŚCI ZASOBÓW ENERGII WIATROWEJ W REJONIE RZD SGGW ŻELAZNA

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań dotyczących zmienności zasobów energii wiatrowej na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Żelaznej k. Skiernewic (woj. łódzkie). Wyniki zostały uzyskane w latach 2008 – 2009 przy wykorzystaniu meteorologicznej stacji pomiarowej.

1. WPROWADZENIE

Minęły już ponad 2 lata od uruchomienia na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w miejscowości Żelazna (woj. łódzkie) meteorologicznej stacji pomiarowej [1] – rys. 1. Dostępne są zatem wyniki badań pozwalające na ocenę przydatności tej lokalizacji dla budowy elektrowni (farmy) wiatrowej. W ramach badań rejestrowano prędkości wiatru na wysokości 6 i 12 m nad poziomem gruntu, kierunek wiatru, ciśnienie i temperaturę powietrza. Dane te pozwalają na ocenę zasobów energii wiatrowej na terenie RZD w Żelaznej.



Rys. 1. Widok ogólny stacji meteorologicznej na terenie RZD SGGW w Żelaznej
 Fig. 1. Measuring station on the territory of RZD SGGW at Żelazna - general view

2. WYNIKI

W oparciu o zarejestrowane dane meteorologiczne przeliczono prędkości wiatru na wysokości 50 i 73 m, które odpowiadają wysokościom turbin 330 kW (Enercon E-33) i 800 kW (Enercon E-53). Mają być one zainstalowane w farmie wiatrowej, która ma powstać w tej lokalizacji [1]. Wykorzystano wykładniczy profil prędkości wiatru [2]:

$$v_{h2} = v_{h1} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^p \quad (1)$$

gdzie: h_1 , h_2 – wysokości nad poziomem gruntu [m], v_{h1} , v_{h2} – prędkości wiatru [m/s] odpowiednio na wysokości h_1 i h_2 , p – wykładnik potęgowego profilu prędkości wiatru. Wartość p została obliczona jako średnia na podstawie porównania prędkości wiatru na wysokościach 6 i 12 m. W tabeli 1 podano średnie prędkości wiatru na rozpatrywanych wysokościach.

Z analizy danych zamieszczonych w tab. 1 wynika, że prędkość wiatru na wysokości większej od 50 m przekracza 6 m/s. W warunkach krajowych [3], teren przydatny do wykorzystania energii wiatru powinien mieć średnią roczną prędkość wiatru na wysokości 70 m powyżej 6,0 m/s. Teren RZD Żelazna spełnia ten warunek. Ponadto

można zauważyć, że w roku 2008 średnia prędkość wiatru była wyższa w stosunku do roku 2009 o ok. 6 – 7%. Tym samym energia wiatru proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości będzie większa o ok. 20 - 23% (dla 50 i 73 m).

Tabela 1. Średnie prędkości wiatru na rozpatrywanych wysokościach

Table 1. Mean wind velocity on the considered heights

Lp.	h [m]	v_{sr} [m/s] 2008 r.	v_{sr} [m/s] 2009 r.
1	6	3,77	3,45
2	12	4,27	3,89
3	50	6,52	6,09
4	73	7,30	6,86

Korzystając ze średnich prędkości wiatru wyznaczono szorstkość n terenu rozwiązując numerycznie równanie nieliniowe:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\ln\left(\frac{h_2}{n}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{n}\right)} \quad (2)$$

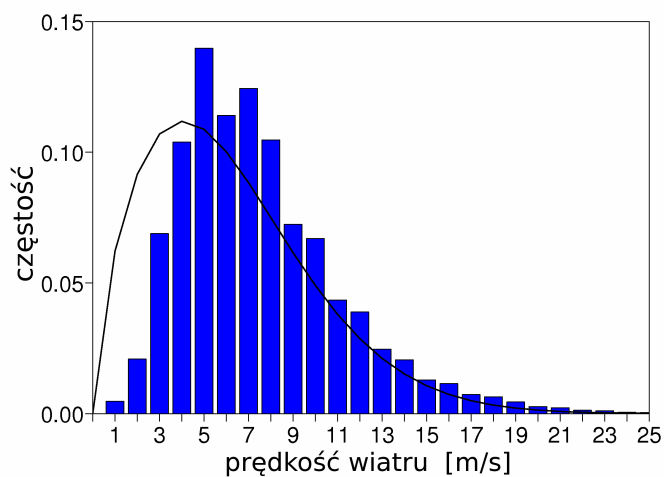
Dla danych z roku 2008 $n = 0,032$ m, dla danych z roku 2009 $n = 0,026$ m. Rozpatrywany teren kwalifikuje się do klasy szorstkości 1: otwarte pola uprawne z pojedynczymi zabudowaniami.

Jednym z najczęściej wykorzystywanych rozkładów statystycznych do opisu prawdopodobieństwa wystąpienia określonej prędkości wiatru $p(v)$ jest rozkład Weibulla [4]:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (3)$$

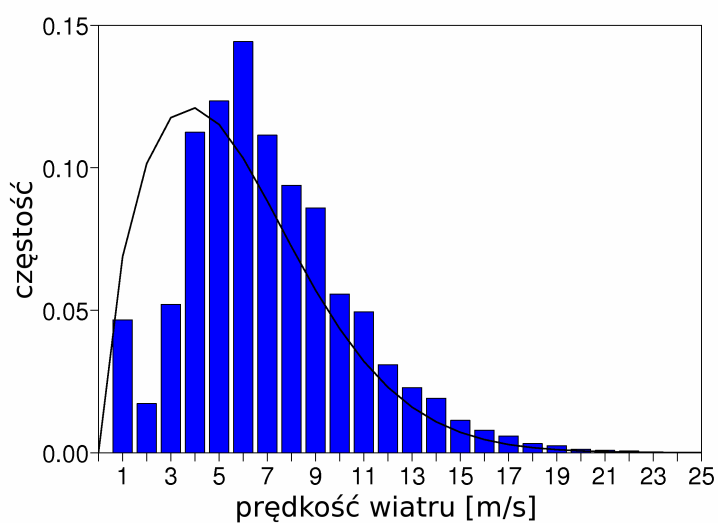
Parametry k i c są nazywane odpowiednio: współczynnikiem skali i współczynnikiem kształtu. Zostały one wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów korzystając z algorytmu podanego w [4]. Na rys. 2-5 przedstawiono rozkłady częstości występowania prędkości wiatru w roku 2008 i 2009 na wysokości 50 m i 73 m i ich aproksymację za pomocą rozkładu Weibulla. Na wysokości 50 m przeważają prędkości wiatru z zakresu 3 – 11 m/s, na 73 m: 4 – 11 m/s. W tym drugim przypadku rośnie udział prędkości wiatru powyżej 14 m/s.

Na rys. 6 i 7 przedstawiono wykresy częstości wiatru pochodzącego z danego kierunku (róże wiatrów). Zastosowano przedziały pięciostopniowe.



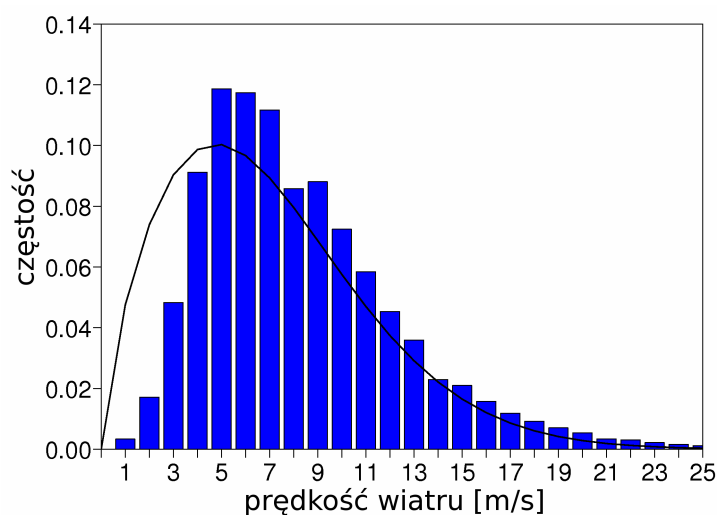
Rys. 2. Rozkład prędkości wiatru na wysokości 50 m i jego aproksymacja rozkładem Weibulla dla roku 2008

Fig. 2. Wind speed distribution for the height equal 50 m, and its Weibull approximation in year 2008



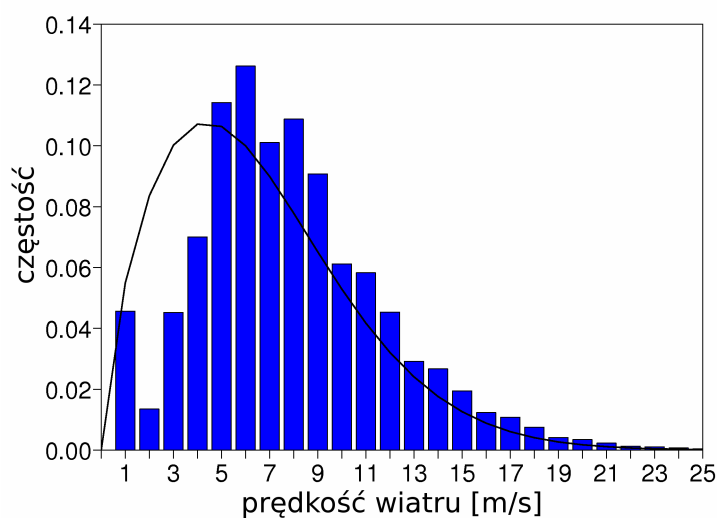
Rys. 3. Rozkład prędkości wiatru na wysokości 50 m i jego aproksymacja rozkładem Weibulla dla roku 2009

Fig. 3. Wind speed distribution for the height equal 50 m, and its Weibull approximation in year 2009



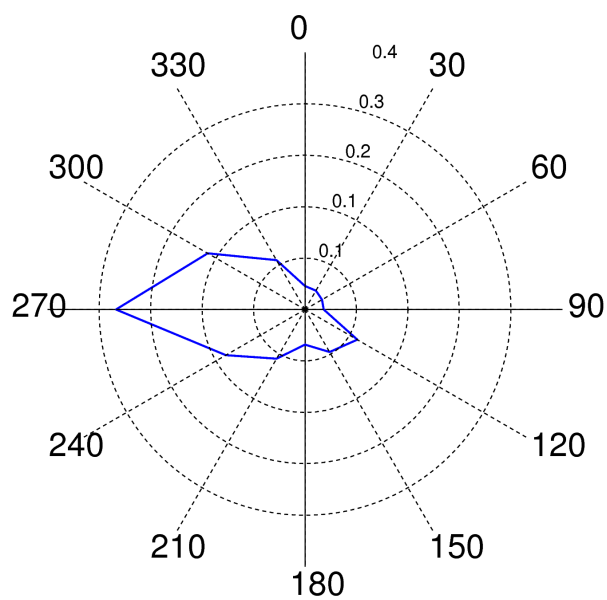
Rys. 4. Rozkład prędkości wiatru na wysokości 73 m i jego aproksymacja rozkładem Weibulla dla roku 2008

Fig. 4. Wind speed distribution for the height equal 73 m, and its Weibull approximation in year 2008

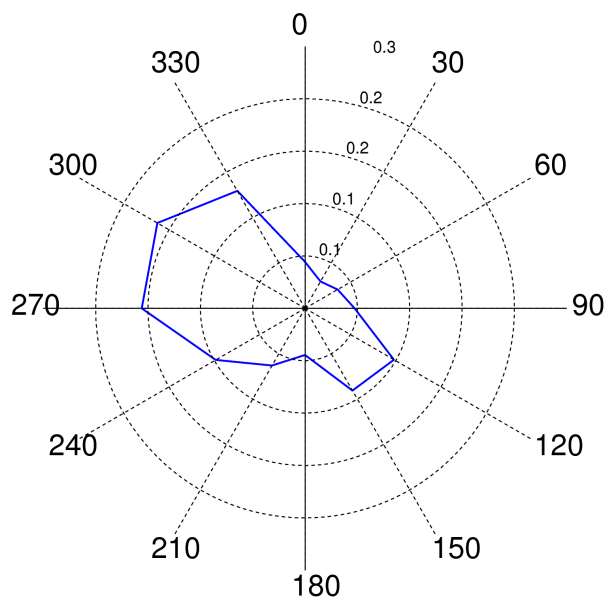


Rys. 5. Rozkład prędkości wiatru na wysokości 73 m i jego aproksymacja rozkładem Weibulla dla roku 2009

Fig. 5. Wind speed distribution for the height equal 73 m, and its Weibull approximation in year 2009



Rys. 6. Róża wiatrów dla wysokości 12 m (2008 r.)
 Fig. 6. Wind rose for the height equal 12 m (2008 yr)



Rys. 7. Róża wiatrów dla wysokości 12 m (2009 r.)
 Fig. 7. Wind rose for the height equal 12 m (2009 yr)

Odległość pomiędzy kolejnymi okręgami siatki na wykresach wynosi 0,07.

W przewidywanej lokalizacji farmy wiatrowej przeważają wiatry z kierunków zachodnich. W roku 2009 dominujący kierunek wiatru to kierunek północno – zachodni, wobec kierunku zachodniego w roku 2008. Rozmieszczenie turbin w terenie powinno być zrealizowane w taki sposób, aby zminimalizować ich wzajemne przesłanianie dla wiatrów wiejących z zachodu i północnego zachodu.

Dane pomiarowe pozwoliły na obliczenie mocy wiatru (nazywanej także jednostkową mocą wiatru) P_u [W/m^2] dla rozpatrywanych wysokości (tab. 2). Do obliczeń przyjęto zakres prędkości wiatru od 3 do 25 m/s.

Tabela 2. Moc wiatru na rozpatrywanych wysokościach
Table 2. Power of wind on the considered heights

Lp.	h [m]	P_u [W/m^2] 2008 r.	P_u [W/m^2] 2009 r.
1	6	79	58
2	12	104	78
3	50	372	299
4	73	521	427

Podobnie jak w przypadku średnich prędkości wiatru, moc wiatru w roku 2009 jest o ok. 20% niższa w stosunku do roku 2008.

W tab. 3 oszacowano przychody, na podstawie obliczonej ilości energii elektrycznej E [kWh], jakie mogłyby być osiągnięte w ciągu 2 letniej eksploatacji pojedynczej turbiny wiatrowej. Wg danych z archiwum Towarowej Giełdy Energii [5] cena 1MWh energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych wraz ze świadectwami jej pochodzenia wynosiła 354,00 PLN w roku 2008 i 386,00 PLN w roku 2009 (dane z dn. 31.12.2008 r. i 30.12.2009 r.).

Tabela 3. Przewidywany przychód i ilość energii elektrycznej wyprodukowanej przez turbinę w okresie 1.01.2008 – 31.12.2009 r.

Table 2. Predicted income and electrical energy produced by wind turbine between 1.01.2008 and 31.12.2009

Lp.	Typ, moc turbiny	E [kWh] 2008 r.	E [MWh] 2009 r.	Przychód tys. PLN 2008 r.	Przychód tys. PLN 2009 r.	Przychód tys. PLN 2008/09 r.
1	Enercon E-33, 330 kW, $h = 50$ m	836,0	739,3	295,9	285,4	581,3
2	Enercon E-53, 800 kW, $h = 73$ m	2525,8	2300,1	894,1	887,8	1781,9

Turbina o mocy 800 kW umieszczona na wysokości 73 m wyprodukowałaby ok. 3 razy więcej energii elektrycznej i pozwoliłaby osiągnąć trzykrotnie większy przychód w analizowanym okresie czasu niż turbina o mocy 330 kW na wysokości 50 m.

3. PODSUMOWANIE

Uzyskane w ciągu dwuletnich badań wyniki potwierdzają przydatność terenów RZD w Żelaznej do budowy elektrowni (farmy) wiatrowej. Inwestycja ta – jak się wydaje – przyniosłaby wymierne korzyści finansowe. Obecnie trwają prace przygotowawcze zmierzające do określenia źródeł i sposobów pozyskania środków finansowych.

4. LITERATURA

- [1] Czekalski D., Korupczyński R., Obstawski P., „Badanie zasobów energii wiatrowej w rejonie RZD SGGW w Żelaznej”, II Konferencja SOLINA 2008, Solina 28.05.2008 r.,
- [2] Petersen E.L., Mortensen L.G., Landberg L.; Wind Power Meteorology, Riso National Laboratory, 1997, (www.risoe.dk),
- [3] Latko A., Latko A.; Analiza warunków wiatrowych dla potrzeb Energetycznych, <http://windhunter.com/literatura.html>, dostęp: 3.04.2008 r.,
- [4] Johnson G.L., „Wind energy systems”, <http://eece.ksu.edu/~gjohnson/>, dostęp: 30.03.2010 r.
- [5] <http://www.cire.pl/GE/>, dostęp: 30.03.2010 r.

EVALUATION OF THE WIND ENERGY RESOURCES VARIABILITY IN THE REGION OF AGRICULTURAL EXPERIMENTAL INSTITUTE OF WARSAW UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES AT ŻELAZNA

SUMMARY

In the paper a estimation results of wind energy resources variability at Żelazna in Poland was presented. This place lays on the field of Agricultural Experimental Institute of Warsaw University of Life Sciences. The estimation was based on a meteorological measurements, which was done in 2008 and 2009 years by especially constructed measuring station.

Elżbieta KOSSECKA, prof. dr hab.

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Zakład Problemów Eko-Budownictwa
Ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
e-mail: ekossec@ippt.gov.pl

Jan KOŚNY, dr inż.

Oak Ridge National Laboratory
Buildings and Materials Group; Bldg. 3247, M.S. 6070
Oak Ridge; TN 37831-6070, USA
e-mail: kjo@ornl.gov

DYNAMIC THERMAL PERFORMANCE OF THE FRAME WALL WITH PCM-ENHANCED THERMAL INSULATION

ABSTRACT

Simulations have been carried out to demonstrate the performance of a light-weight wall assembly with PCM-enhanced insulation in different external climate thermal conditions. Weather data of Typical Meteorological Year (TMY) for the hot period of 30 June through 3 July, for three locations: Warsaw, Marseille and Cairo, were used to generate boundary conditions at the external surface of the south-oriented vertical wall. For internal temperature of 24°C, heat gains maxima are reduced by 23% to 37% for Marseille and 21% to 25% for Cairo; similar effects are to be observed for Warsaw.

1. INTRODUCTION

Different types of Phase Change Materials (PCMs) have been tested as dynamic components in buildings during the last 4 decades. Most historical studies have found that PCMs enhance building energy performance. Some PCM-enhanced building materials, like PCM-gypsum boards or PCM-impregnated concretes have already found their limited applications in different countries. Today, continued improvements in building envelope technologies suggest that throughout Southern and Central US climates, residences may

soon be routinely constructed with PCM in order to maximize insulation effectiveness and maintain low heating and cooling loads.

During the late 1980s and early 1990s, Oak Ridge National Laboratory (ORNL) tested several configurations of gypsum boards enhanced with phase-change materials (PCMs) and in 2002, an ORNL research team started working on fiber insulations blended with microencapsulated PCMs, produced with the use of a new micro-encapsulation technology that holds microscopic wax droplets inside hard acrylic polymer shells.

These PCM–insulation mixtures function as lightweight thermal mass components. It is expected that these types of dynamic insulation systems will contribute to the objective of reducing energy use in buildings and to the development of “zero-net-energy” buildings. This is a consequence of this technology’s ability to reduce energy consumption for space conditioning and reshape peak-hour loads. Other anticipated advantages of PCMs include improvements towards occupant comfort, compatibility with traditional wood and steel framing technologies, and potential for application in retrofit projects. ORNL research demonstrated that PCMs can be mixed with fiber insulations, incorporated into structural and sheathing materials, or packaged for localized application. Results from a series of small-scale laboratory measurements and field experiments indicate that a new generation of PCM-enhanced fiber insulations could have excellent potential for successful application in U.S. buildings because of their ability to reduce energy consumption for space conditioning and reduce peak loads [7, 8, 9, 10].

New PCM applications require a careful selection of materials, identification of PCM locations, bounding of thermal resistances, and specification of the amount of PCM to be used [1, 2, 6, 15]. The major goal of this work was numerical analysis of the energy performance of the frame wall with PCM-enhanced insulation in different climate conditions.

2. HEAT TRANSFER THROUGH A WALL WITH PCM

The estimated area heat storage capacity for a specific PCM-enhanced product is a key indicator of its future dynamic thermal performance. A theoretical model of the material with temperature-dependent specific heat can be used to calculate phase change processes in most common materials [1, 4, 6, 13]. The one-dimensional heat transport equation for such a case is:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right], \quad (1)$$

where ρ and λ are the material density and thermal conductivity, whereas T and h are temperature and enthalpy per unit mass.

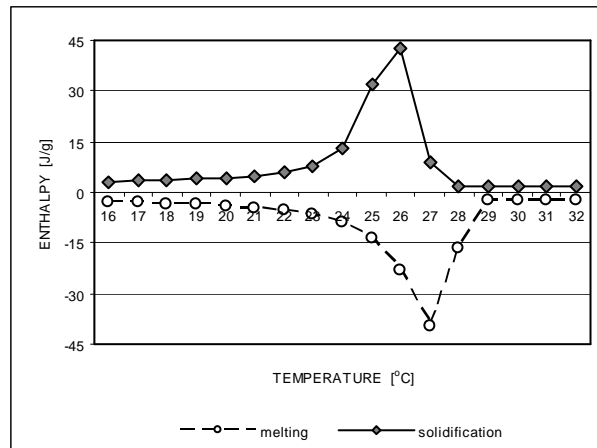
The enthalpy derivative over the temperature (with consideration of constant pressure) represents the effective heat capacity, with phase change energy being one of the components:

$$c_{eff} = \frac{\partial h}{\partial T}. \quad (2)$$

For most PCM materials, variations of enthalpy with temperature depend to some extent on the direction of the process considered, and are different for melting and

solidification. Therefore a model of the temperature-dependent specific heat, represented by an unique function of temperature, is an approximation of a real material thermal capacitance.

Figure 1 depicts temperature-dependent enthalpy differences and enthalpy curves for microencapsulated PCM, generated during differential scanning calorimeter testing. In this material, the melting takes place around 27°C and solidification around 26°C. Total phase change enthalpy, H_m , within temperature interval [20°, 29°] is 122 kJ/kg.



Rys. 1. Dane kalorymetryczne PCM w postaci mikrokapsulek
Fig. 1. Calorimetric data for the microencapsulated PCM

Effective heat capacity, c_{eff} , for a material which is a blend of insulation and PCM may be expressed as

$$c_{eff} = (1 - \alpha)c_{ins} + \alpha c_{effPCM}, \quad (4)$$

where α denotes the percentage of PCM, c_{ins} the specific heat of insulation without PCM and c_{effPCM} is effective heat capacity of PCM.

In the liquid state, the effective heat capacity of PCM doesn't show temperature dependence; it may be thus represented as the sum of two terms:

$$c_{effPCM}(T) = c_l + (c_{effPCM}(T) - c_l), \quad (5)$$

where c_l represents the temperature independent specific heat in the liquid state.

For a material to be used as thermal insulation, thermal conductivity is the most important parameter, which determines its thermal performance in different thermal conditions. For cellulose fiber insulation, linear dependence of conductivity on temperature is to be observed [9, 10]:

$$\begin{aligned} \lambda(T) &= \lambda_0 + \beta \cdot T \\ \lambda_0 &= 0.03575; \quad \beta = 0.00013 \end{aligned} \quad (6)$$

Addition of microencapsulated PCM does not result in a significant change in conductivity of the insulation.

Consider a plane wall of thickness L , composed of layers of different materials, and assume that some of them are phase change materials. Boundary (linear) conditions at the internal ($x = 0$), and external ($x = L$) surface of the wall have the form:

$$q(0, t) = \frac{1}{R_{si}} [T_i(t) - T(0, t)] \quad (7)$$

$$q(L, t) = \frac{1}{R_{se}} [T(L, t) - T_e(t)] \quad (8)$$

where T_i and T_e are ambient temperatures and R_{si} , R_{se} , surface film resistances.

Denote by R_{i-x} and R_{x-e} the resistances for heat transmission from the point x in the wall to the internal and external environment, respectively, and by R_u the total resistance for heat transmission through the wall. With conductivity along the wall's thickness is represented by the function $\lambda(x)$, the resistances are given by:

$$R_{i-x} = R_{si} + \int_0^x \frac{dx}{\lambda(x)} \quad R_{x-e} = \int_x^L \frac{dx}{\lambda(x)} + R_{se} \quad R_u = R_{si} + \int_0^L \frac{dx}{\lambda(x)} + R_{se} \quad (9)$$

Multiplying of Eq. (1) by the function R_{x-e} and integrating with respect to x over thickness of the wall, yields the following formula:

$$\begin{aligned} \int_0^L \rho \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \cdot R_{x-e} dx &= \int_0^L \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \cdot R_{x-e} dx = \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \cdot R_{x-e} \Big|_{x=0}^{x=L} + \int_0^L \frac{\partial T}{\partial x} dx = \\ &= -R_{se} \cdot q(L) + R_{0-e} \cdot q(0) + [T(L) - T(0)] \end{aligned} \quad (10)$$

Temperatures $T(0)$ and $T(L)$ may be eliminated using Eqs (7) and (8), which gives the following formula for the heat flux at internal surface:

$$q(0) = \frac{1}{R_u} (T_i - T_e) + \int_0^L \rho \frac{\partial h}{\partial t} \cdot \frac{R_{x-e}}{R_u} dx \quad (11)$$

Analogous formula for $q(L)$ is to be obtained on multiplying Equation (1) by R_{i-x} and integrating by parts [11].

The effect of time variations of enthalpy h along thickness of the wall, on the heat flux across the surface $x = 0$, depends thus on the factor R_{x-e}/R_u , which takes comparatively high values, close to 1, in the vicinity of that surface and low values, close to 0, in the vicinity of the opposite surface $x = L$. This means that only time variations of enthalpy near the surface considered play an important role, whereas the effect of variations near the opposite surface may be small.

3. PERFORMANCE OF THE FRAME WALL WITH PCM-ENHANCED INSULATION IN DIFFERENT CLIMATE CONDITIONS

Simulations have been carried out to demonstrate the performance of a light-weight wall assembly with PCM-enhanced cellulose fiber insulation in different external climate thermal conditions. The “melting curve” of Figure 1 has been assumed as a model

of the PCM effective heat capacity. Temperature dependence of thermal conductivity was represented by Eq (6).

Wall assembly similar to a typical 14 cm (5.5 in) wood frame wall has been considered. One-dimensional heat transfer has been assumed and the effect of studs has been neglected. Thermophysical properties of the wall's layers are listed in Table 1. Approximate value of total resistance for heat transfer, R_u , calculated assuming constant insulation conductivity value $\lambda(25^\circ\text{C}) = 0.039 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, including surface film resistances $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ and $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, is $4.14 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, and U-value is $0.24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. PCM content of 30% in an insulation layer of thickness of 0.14 m and density of $33.6 \text{ kg}/\text{m}^3$ means about 1.4 kg of PCM per square meter of a wall.

Tabela 1. Własności termofizyczne warstw ściany

Table 1. Thermophysical properties of the wall's layers

Material	L m	λ W/(m·K)	ρ kg/m ³	c_p kJ/(kg·K)
Gypsum board	0.013	0.16	800	1.088
Insulation	0.140	$\lambda(T)$	25.6	1.381
Ins. 30% PCM	0.140	$\lambda(T)$	33.6	$c_p(T)$
Plywood	0.013	0.12	544	1.244
Wood siding	0.013	0.07	545	1.255

Weather data of Typical Meteorological Year (TMY) [3, 5, 14], for the hot period of 30 June through 3 July, for three locations: Warsaw, Marseille and Cairo, were used to generate boundary conditions at the external surface of the wall. Solar radiation for each location was calculated for a vertical plane oriented south. Internal temperature, T_i , has been set constant at 24°C , at the same time.

In the linear model, when the heat flux due to solar radiation absorbed at the wall's surface, q_s , is included, boundary condition (7) takes the form:

$$q(L) = \frac{1}{R_{se}} [T(L) - T_e] - q_s = \frac{1}{R_{se}} [T(L) - T_{es}] \quad (12)$$

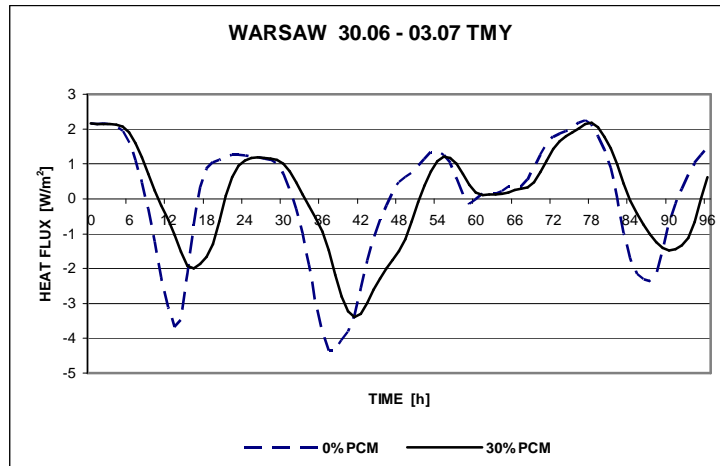
$$T_{es} = T_e + R_{se} \cdot q_s \quad (13)$$

T_{es} is the so called sol-air temperature. With $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ and absorption coefficient of 0.8, solar radiation flux of $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ increases T_{es} by 32°C .

Figures 2, 3 and 4 show comparison of heat flux profiles for subsequent four days, at internal surfaces of two walls; one containing the normal fiber insulation layer, and another one containing PCM-enhanced insulation, with 30% of PCM by weight.

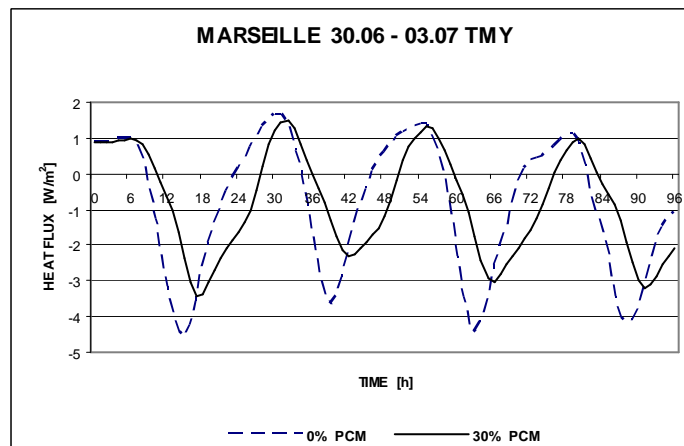
Comparison of the plots and calculated heat flow values indicates that for approximately cyclic processes the effect of PCM in an insulation layer results in time shifting and reduction of the heat flow rates extreme values but not in reduction of the total heat flow. Heat losses corresponding to minimum external temperatures at midnight are shifted to morning time, at the same time large heat gains from midday are shifted by about three hours to the afternoon time.

For $T_i = 24^\circ\text{C}$ the heat gains maxima are reduced by 23% to 37% for Marseille and 21% to 25% for Cairo. For Warsaw, which has more temperate climate, with less solar radiation, oscillations of the heat fluxes through walls are not as regular as for Cairo and Marseille, however the effect of reduction of heat gains maxima and time shifting looks more or less the same.



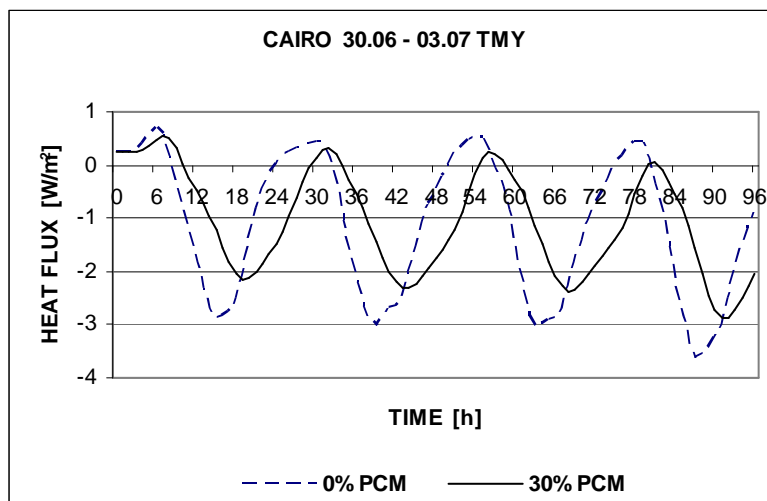
Rys. 2. Strumienie ciepła na wewnętrznej powierzchni ściany z warstwą izolacji o grubości 0.14 m bez PCM i z 30% PCM. Dane pogodowe TRM dla Warszawy; $T_i = 24^\circ\text{C}$.

Fig. 2. Heat flux profiles at the internal surface of the wall containing 0.14 m thick insulation layer with 0% PCM and 30% PCM. Weather data: Warsaw TMY; $T_i = 24^\circ\text{C}$.



Rys. 3. Strumienie ciepła na wewnętrznej powierzchni ściany z warstwą izolacji o grubości 0.14 m bez PCM i z 30% PCM. Dane pogodowe TRM dla Marsylii; $T_i = 24^\circ\text{C}$.

Fig. 3. Heat flux profiles at the internal surface of the wall containing 0.14 m thick insulation layer with 0% PCM and 30% PCM. Weather data: Marseille TMY; $T_i = 24^\circ\text{C}$.



Rys. 4. Strumienie ciepła na wewnętrznej powierzchni ściany z warstwą izolacji o grubości 0.14 m bez PCM i z 30% PCM. Dane pogodowe TRM dla Kairu; $T_i = 24^\circ\text{C}$.

Fig. 4. Heat flux profiles at the internal surface of the wall containing 0.14 m thick insulation layer with 0% PCM and 30% PCM. Weather data: Cairo TMY; $T_i = 24^\circ\text{C}$.

4. CONCLUSIONS

Results of simulations are consistent with results of theoretical considerations presented in section 2. Comparison of the plots and calculated heat flow values indicates that for approximately cyclic processes the effect of PCM in an insulation layer results in time shifting and reduction of the heat flow rates extreme values but not in reduction of the total heat flow.

For south oriented vertical frame walls, filled with PCM-enhanced insulation of thickness of 0.14 m, with PCM content of 30%, time shift of the heat flow rate oscillations is about three hours, compared to normal cellulose fiber insulation, and reduction of the heat gains maxima may be about 20% - 35% for hot and sunny Summer days, when air-conditioning is necessary.

5. REFERENCES

- [1] Ahmad M., Bontemps A., Salle'e H., Quenard D.; Thermal testing and numerical simulation of a prototype cell using light wallboards coupling vacuum isolation panels and phase change material. *Energy and Buildings* 38, 673-681 (2006).
- [2] Evers A.C., Medina M.A., Fang Y.; Evaluation of the thermal performance of frame walls enhanced with paraffin and hydrated salt phase change materials using a dynamic wall simulator, *Building and Environment* 45, 1762-1768 (2010).
- [3] Gawin D., Kossecka E. [red.]; Typowy Rok Meteorologiczny do symulacji procesów wymiany ciepła i masy w budynkach, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2002.
- [4] Heim D. & Clarke J.A.; Numerical modelling and thermal simulation of PCM-gypsum composites with ESP-r, *Energy and Building*, 36, 795-805 (2004).

- [5] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/Weather_data.cfm
- [6] Kisoock K., Limas S.; Diurnal load reduction through phase-change building components. *ASHRAE Transactions* 112(1), 509–517 (2006).
- [7] Kosny J., Yarbrough D., Petrie T.W., Syad A.; Performance of Thermal Insulation Containing Microencapsulated Phase Change Material, presented at 2007 International Thermal Conductivity Conference (2007a).
- [8] Kosny J., Yarbrough D., Miller W., Petrie T., Childs P., Syad A.; Thermal Performance of PCM-Enhanced Building Envelope Systems, X Thermal Envelopes Conference (2007b).
- [9] Kośny J., Yarbrough D.W., Miller W.A., Wilkes K.E., Lee E.S.; Analysis of the dynamic thermal performance of fibrous insulations containing phase change materials, 11th International Conference on Thermal Energy Storage; Effstock 2009 - Thermal Energy Storage for Energy Efficiency and Sustainability, Stockholm, Sweden (2009a).
- [10] Kośny J., Yarbrough D.W., Kossecka E.; Use of a Heat-Flow Meter to Determine Active PCM Content in an Insulation. 30th International Thermal Conductivity Conference, Pittsburgh, PA USA (2009b).
- [11] Kossecka E.; Wybrane zagadnienia dynamiki cieplnej ścian budynków, *Studia z Zakresu Inżynierii* Nr 45, s.122, Warszawa 1998.
- [12] Kossecka E., Kośny J.; Hot Box Testing of Building Envelope Assemblies; a Simplified Procedure for Estimation of Minimum Time of the Test; *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 36, Issue 3, 242-249 (2008).
- [13] Kossecka E., Kośny J.; Dynamiczna metoda pomiaru zawartości materiału fazowo-zmiennego w izolacji włóknistej, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* Tom IV, 109-112 (2009).
- [14] Marion W., Urban K.; User's Manual for TMY2s Typical Meteorological Year. National Renewable Energy Laboratory, 1995.
- [15] Zhu N., Ma Z., Wang S.; Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review. *Energy Conversion and Management* 50, 3169–3181 (2009).

DYNAMICZNE WŁASNOŚCI CIEPLNE ŚCIAN Z IZOLACJĄ WZBOGACONĄ MATERIAŁEM FAZOWO-ZMIENNYM

STRESZCZENIE

Przeprowadzono symulacje, których celem było zbadanie dynamicznych własności cieplnych lekkich ścian szkieletowych z izolacją wzbogaconą materiałem fazowo-zmiennym, w różnych warunkach klimatycznych. Wykorzystane zostały dane pogodowe Typowego Roku Meteorologicznego dla gorącego okresu od 30 czerwca do 3 lipca, dla trzech lokalizacji: Warszawa, Marsylia i Kair. Przy temperaturze wewnętrznej 24°C, maksima zysków cieplnych dla pionowej ściany o orientacji południowej są zredukowane od 23% do 37% dla Marsylii i od 21% do 25% dla Kairu; podobne efekty można zaobserwować dla Warszawy.

Barbara KOZAK, mgr inż. arch.

Politechnika Warszawska
Pracownia Architektury i Sztuki Współczesnej
ul. Koszykowa 55, Warszawa
e-mail: Basha2@wp.pl

WPLYW ROZWIĄZAŃ TECHNOLOGICZNYCH STOSOWANYCH W ARCHITEKTURZE PROEKOLOGICZNEJ NA FORMĘ BUDYNKU

STRESZCZENIE

Artykuł poświęcony jest rozwiązaniom technologicznym stosowanym w budynkach proekologicznych. Opisano w nim dlaczego ich użycie wpisuje budynki w nurt architektury proekologicznej. Ponadto przedstawiono najważniejsze wnioski analizy wpływu tych rozwiązań na formę budynku.

1. WSTĘP

Architektura proekologiczna to w najszerszym pojęciu budynki harmonijnie wpisane w otoczenie, stanowiące jego integralną część. Włączenie budynku w otaczające go środowisko odbywa się na dwóch płaszczyznach: estetycznej i funkcjonalnej. Projektowane budynki wpisują się w otoczenie poprzez zastosowanie lokalnych materiałów i nawiązanie do form istniejących w otoczeniu. Formy i linie bryły budynku inspirowane kształtami obecnymi w otoczeniu oraz kolorystyka i faktura materiałów występujących w otoczeniu, użytych do jego realizacji sprawiają, że obiekt wtapia się w otoczenie stając się w naturalny sposób jego częścią.

Funkcjonalne wpisanie w otoczenie realizuje się poprzez współpracę budynku ze środowiskiem w celu uzyskania komfortu jego użytkowania przy najmniejszym nakładzie finansowym. Osiągane jest to poprzez z jednej strony zapewnienie ochrony przed niesprzyjającymi warunkami klimatycznymi i jednocześnie wykorzystanie pewnych elementów klimatu do tworzenia przyjaznego klimatu wewnątrz.

Potencjałem tkwiącym w środowisku, który może być wykorzystany do zaopatrywania budynku w niezbędną do jego pełnego użytkowania energię, są słońce, wiatr i woda - źródła odnawialnej, czystej energii. Innym aspektem jest wykorzystanie naturalnych

ruchów powietrza do wentylacji budynku, niezbędnej dla utrzymania odpowiedniej jakości powietrza wewnątrz. Kolejnym dobrem naturalnym obecnym w środowisku jest woda.

Aby korzystać z wszystkich wyżej wymienionych składników, stosowane rozwiązania projektowe architektoniczne i technologiczne. Mają one istotny wpływ na wartość estetyczną budynków, w których są wykorzystywane.

2. URZĄDZENIA ZASILAJĄCE BUDYNEK W ENERGIĘ W OPARCIU O ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

2.1. Kolektory solarne

Kolektory słoneczne stosowane są w architekturze od lat 70-tych, kiedy to kryzys energetyczny uświadomił konieczność poszukiwania nowych źródeł, niewyczerpywalnych i dostępnych. Od tego czasu nieustannie rozwijane są technologie ich produkcji, dzięki czemu dokonano w tej dziedzinie ogromnego postępu. Obecnie są one bardzo wydajnym (zależnie od typu 85-95%) urządzeniem zaopatrującym budynek w gorącą wodę i ciepło.

Aby uzyskać ich maksymalną wydajność kolektora, należy go odpowiednio umiejscowić. Powinien on być wystawiony na działanie promieni słonecznych, dlatego na północnej półkuli należy go montować na południowej i zachodniej elewacji i połaci dachu. Ponadto na działanie kolektora ma istotny wpływ kąt jego nachylenia. W Polsce przyjmuje się, że optymalny kąt nachylenia kolektora do poziomu zawiera się 34°-70°. Należy go dobierać w zależności od przeznaczenia instalacji. Jeśli ma ona służyć do podgrzewania wody przez cały rok, to powinien on być zbliżony do kąta 20°. Natomiast jeśli instalacja będzie pełnić rolę uzupełniającego źródła ciepła zimą wtedy kąt powinien wynosić około 60°.

Kolejnym elementem, który trzeba wziąć pod uwagę podczas projektowania, jest znaczna powierzchnia kolektora potrzebna do zaspokojenia potrzeb nawet tak niewielkiego powierzchniowo i kubaturowo obiektu jak dom jednorodzinny. Przyjmuje się, że 1 m² powierzchni kolektora dla uzyskania 1 kW mocy. Daje to łączną powierzchnię 8-16m² dla podgrzania wody w zbiorniku o pojemności 500-1000l.

Te wymagania mają zasadniczy wpływ na formę budynku. Dlatego decyzja o zastosowaniu powinna zapaść już na początkowym etapie projektowania. Tworząc pierwszą koncepcję bryły trzeba pamiętać o zapewnieniu odpowiedniej powierzchni fragmentów nasłonecznionych (południowych i pld.- zach.) ścian i połaci dachów, na których będą mocowane kolektory. Optymalny kąt nachylenia kolektora do poziomu może być uwzględniony podczas określania spadku dachu czy kąta nachylenia ścian. Analiza zrealizowanych obiektów pokazuje, że kolektory mogą być zainstalowane na dachach, zewnętrznych elementach zacieniających i barierkach oraz stanowić fragment elewacji, będąc wpisane w płaszczyznę elewacji.

Z punktu widzenia estetycznego kolektory słoneczne ze względu na swoje wymiary stanowią widoczny, wyrazisty składnik elewacji. Mają szansę nadać mu nowoczesny, techniczny charakter budynkowi. Można to osiągnąć pod warunkiem, że będą wkomponowane w bryłę budynku i rysunek elewacji, stanowiąc integralną część budynku.

Na koniec warto zaznaczyć, że w wysiłkach o jak najlepszy efekt estetyczny projektantów wspierają producenci kolektorów, oferując coraz bardziej estetyczne kolektory oraz całe systemy tzw. zintegrowane, mogące stanowić fragment elewacji lub dachu.

2.2. Systemy fotowoltaiczne

Podobnie jak kolektory słoneczne systemy fotowoltaiczne działają w oparciu o energię słoneczną. Przetwarzają ją bezpośrednio w energię elektryczną. Ich wydajność, podobnie jak kolektorów słonecznych, zależy od warunków nasłonecznienia oraz orientacji względem stron świata i kąta nachylenia a także od typu i wynosi od 10% do 15%. Biorąc pod uwagę jednak bardzo szybki postęp technologiczny, można spodziewać się, że z czasem wydajność zostanie poprawiona. Niewątpliwą zaletą jest to, że elementy fotowoltaiczne potrafią czerpać energię ze światła odbitego oraz światła o małym natężeniu. Przewiduje się, najnowsza generacja systemów fotowoltaicznych oparta będzie o tzw. technologie cienkowarstwowe. Dzięki nakładaniu cienkiej warstwy kosztownego półprzewodnika na tani materiał (blache lub tworzywo sztuczne) znacznie redukuje się koszt całkowity elementu. Ponadto technologia ta umożliwia nakładanie półprzewodnika na zakrzywione płaszczyzny. Dzięki temu można wyprodukować elementy fotowoltaiczne (pojedyncze ogniwa, moduły i panele), które mogą być instalowane na dachach o różnej geometrii: spadzistych, płaskich i zakrzywionych oraz ścianach prostych i zakrzywionych.

Dostępne są obecnie całe systemy dachowe i fasadowe modułów fotowoltaicznych zintegrowane z budynkiem. Podsumowując, producenci oferują szeroką gamę produktów o zróżnicowanej formie kolorze i strukturze optycznej, co pozostawia projektantom dużą swobodę kształtowania budynków.

2.3. Turbiny wiatrowe

Wykorzystanie energii wiatrowej jest dyskusyjne ze względu na niekorzystny wpływ turbin na środowisko. Po pierwsze turbiny stanowią źródło hałasu, przy czym natężenie hałasu jest proporcjonalne do mocy i rozmiarów turbiny. Po drugie zmieniają one lokalny mikroklimat. Amerykańskie opracowania donoszą, że w ich pobliżu wzrasta temperatura i nasila się wiatr. Stanowią również realne zagrożenie dla przelatujących ptaków.

Wszystkie te zarzuty dotyczą jednak wielkich elektrowni wiatrowych. Wydaje się, że energia wiatrowa może być z powodzeniem stosowana dzięki turbinom o mniejszej mocy, skonstruowanym w celu zasilania pojedynczych budynków.

Wydajne działanie turbin wiatrowych wymaga zapewnienia odpowiednich prędkości wiatru. Małe turbiny wiatrowe są lokalizowane na dachach lub między budynkami.

Pomimo, że lokalizowane są wysoko ponad poziomem ludzkiego wzroku, to jednak są widoczne z większej perspektywy i wpływają na odbiór całego budynku. Szczególnie istotne to jest w na terenach zurbanizowanych, gdzie dach stanowi często piątą elewację budynku.

Interesującym przykładem zlokalizowania turbin wiatrowych z dbałości o wartość estetyczną jest budynek administracji państwowej CH2 Melbourne City Council House zaprojektowany przez pracownię DesignInc. Turbiny rozstawiono tu w rytmie powtarzającym podział elewacji. Zwraca uwagę również ich estetyczna forma i wyrazisty, żółty kolor.

Wartość estetyczną zaczynają rozumieć producenci, którzy zaczynają oferować produkty o coraz bardziej estetycznych formach, delikatniejszej budowie.

Pojawiają się rozwiązania całego zespołu turbin, zintegrowanych z budynkiem. Przykładem może być budynek Margot i Harold Schiff Residence zlokalizowany

w Chicago, zaprojektowny przez pracownię projektową Marthy Jahn Architects dla organizacji Marcy LakeFront. Orientacja i geometria budynku zostały tak ukształtowane, aby wzmocnić siłę wiatru nad dachem.

3. GOSPODARKA WODĄ W BUDYNKACH PROEKOLOGICZNYCH

Kolejnym zagadnieniem jest gospodarka wodą. Do użytkowania budynku używana jest ogromna ilość wody. Tymczasem woda pitna stanowi zaledwie 1% całkowitej ilości wody na Ziemi. W niektórych krajach w Europie np. Hiszpanii, już od najmłodszych lat dzieci uczone są, że woda to bardzo cenny produkt, niezbędny do życia, który występuje w ograniczonej ilości, dlatego trzeba go oszczędzać. Obecnie podejmowane są następujące działania w celu zapewnienia jak najbardziej efektywnego gospodarowania wodą:

- gromadzenie i wykorzystanie wody deszczowej,
- oczyszczanie wody czarnej i ponowne wykorzystanie do spłukiwania sanitariatów i podlewania zieleni,
- stosowanie systemów spłukiwania toalet zużywających małą ilość wody;

Analiza zrealizowanych obiektów pokazuje, że zbiorniki wody pełnią dodatkową rolę estetyczną i klimatotwórczą.

3.1. Zbiorniki do gromadzenia wody deszczowej

Woda może być gromadzona w zbiornikach do tego celu przeznaczonych. Lokalizowane są one w terenie lub w budynku, najczęściej w pomieszczeniu technicznym w piwnicy. Tymczasem przykład domu Cape Schranck House, zlokalizowanego na wybrzeżu Australii, zaprojektowanego przez Paula Morgana, pokazuje oryginalne i twórcze podejście do technicznego elementu jakim jest zbiornik na wodę. Zbiornik wody deszczowej o rzeźbiarskiej formie został zlokalizowany w sercu domu, w salonie. Forma zbiornika nadaje charakter wnętrzu jak również jest demonstracją prośrodowiskowych przekonań użytkownika oraz stanowi przypomnienie o elemencie niezbędnym do życia – wodzie. Ponadto zbiornik odgrywa zasadniczą rolę w regulowaniu wewnętrznego klimatu. Woda utrzymuje stałą temperaturę około 21°C nie dopuszczając do przegrzania wnętrza.

Woda deszczowa gromadzona też bywa w zbiornikach zewnętrznych w formie stawów. Oprócz swojej podstawowej funkcji pełnią one również rolę estetyczną, stając się istotnym elementem krajobrazu przestrzeni otaczającej budynek. Ponadto korzystnie wpływają na mikroklimat wokół budynku, szczególnie w okresie letnim obniżając temperaturę powietrza.

3.2. Oczyszczalnie biologiczne ścieków sanitarnych

Oczyszczalnie trzcinowe skutecznie, w naturalny sposób, nie zanieczyszczając środowiska, oczyszczają ścieki jednocześnie mogą się stać ozdobą przestrzeni wokół budynku. Po przepłynięciu przez filtr porośnięty trzciną woda nadaje się do ponownego użycia, np. podlewania zieleni wokół budynku, czy spłukiwania toalet.

Rozwiązanie takie zastosowano na przykład w szkole Sidwell Friends Middle School w Waszyngtonie zaprojektowanej przez arch. Kierana Tibrlake'a trzcinowej oczyszczalni ścieków nadano tam tarasową formę i połączono ze stawem pełniącym funkcję zbiornika wody deszczowej. Całe to założenie tworzy przestrzeń dziedzińca szkolnego.

4. PODSUMOWANIE

Opisane w referacie rozwiązania technologiczne stosowane są w budynkach proekologicznych w celu usprawnienia wpisania ich w środowisko. Dzięki nim budynki są zaopatrywane w media niezbędne według wymagań współczesnego użytkownika do komfortowego, pełnego ich użytkowania: energię, świeże powietrze i wodę. Instalacje, dostarczające prąd, ciepłą wodę i ciepło, działają w oparciu o odnawialne źródła energii-składniki środowiska, które mogą być czerpane ze środowiska bez jego niszczenia.

Jednocześnie stosowane rozwiązania mają istotny wpływ na formę budynku. Częściami składowymi tych systemów są urządzenia montowane na budynku często na eksponowanych fragmentach jak południowa elewacji, o zauważalnych gabarytach i czytelnym, wyrazistym formach. Projektanci chcąc uzyskać maksymalną wydajność stosowanych technologii planują ich zastosowanie już w początkowej fazie, znajdując dla urządzeń optymalną lokalizację. Na dzień dzisiejszy urządzenia te pełnią rolę uzupełniającą ogólną strategię budynku proekologicznego realizowaną poprzez zastosowanie lokalnych materiałów oraz energooszczędności uzyskaną poprzez pasywne pozyskiwanie energii i naturalną wentylację.

Stosowane technologie nadają budynkowi nowoczesną, techniczną formę, o wysokiej wartości estetycznej, będącą wynikiem działań architektów przy wsparciu producentów systemów. Dodatkowo forma ta niesie treści związane z świadomością zagrożeń dla środowiska płynących z ingerencji w nie człowieka i wrażliwością na środowisko. Inwestorom kojarzy się ona z oszczędnością, nowoczesnością i modą, a odbiorcom – widząc i potencjalnym klientom z bliżej nieokreślonym, aktualnym i często nadużywany hasłem” ekologii”.

5. LITERATURA

- [1] Christian Schittich(ed.).Solar Architecture.Strategies.Visions.Concepts. Birkhauser Architecture, 2003
- [2] Grzegorz Wiśniewski, Stanisław Gołębiowski, Marian Gryciuk; Kolektory słoneczne. Poradnik wykorzystania energii słonecznej, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 2001r.
- [3] Kristin Feireiss, Lukas Feireiss; Architecture of change. Sustainability and Humanity in theBuilt Environment, Die Gestalten Verlag, 2008
- [4] Sinisa Stankovic,Neil Campbell,Alan Harries; Urban Wind Energy. Earthscan publications Ltd.
- [5] czasopismo: Detail nr 7/2006
- [6] czasopismo: Detail nr 9/2009
- [7] <http://www.transferinnowacji.pl/pdf/Dr%20hab.%20in%C5%BC.%20Henryk%20Nowak.%20prof.%20nadzw.%20Pwr-%20Innowacyjne%20wykorzystanie%20przestrzeni%20do%20instalowania%20ogniw%20fotowoltaicznych%20.pdf>
„Innowacyjne wykorzystanie przestrzeni do instalowania ogniw fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkiem.”
- [8] http://www.aeritecture.com/projects_mlh.html

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS USED IN SUSTAINABLE BUILDINGS ON BUILDING FORM

SUMMARY

The subject of the article are the technological solutions used in sustainable buildings. There are described why the use of this solutions inscribes buildings in the sustainable architecture movement. Moreover there are presented results of the analysis of the influence of these solutions on building form.



*Zdj. 1. Schronisko w Alpach, Styria arch. Pos Architekten, Wiedeń;
panele fotowoltaiczne na elewacji i mocowane do balustrady balkonu oraz kolektory
słoneczne nad drzwiami, źródło: Detail 6/2007 str. 627*

*Photo 1. Alpin Lodge, Styria, arch. Pos Architekten, Wien
photovoltaic panels on the balcony and the elevation and thermal collectors
above the door, source: Detail 6/2007 page 627*



*Zdj. 2. Dom w Hegenlohe arch. Tina Voliz, Stuttgart
panele fotowoltaiczne na dwuspadowym dachu, źródło: Detail 6/2005 str. 625*

*Photo 2. House in Hegenlohe arch. Tina Voliz, Stuttgart
photovoltaic plant on the double-pitched roof source: Detail 6/2005 page 625*



Zdj. 3 i 4. Budynek zamieszkania zbiorowego Margot and Harold Schiff Residence, Chicago, USA arch. Marthy Jahn Architects turbiny wiatrowe, źródło: www.areotecture.com

Photo 3 i 4. Margot and Harold Residence, Chicago, USA arch. Marthy Jahn Architects wind turbines, source: www.areotecture.com



Zdj. 5. Szkoła Średnia Sidwell Friends, Waszyngton, USA arch. Kieran Timerlake Associates, źródło: Detail 9/2009 str. 924

Photo 5. Sidwell Friends Middle School, Washington, USA arch. Kieran Timerlake Associates biology pool source: Detail 9/2009 page 924

Magdalena LESIECKA-GOMUŁA, mgr inż.

Absolwentka Politechniki Krakowskiej,
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Pilotów 2D/4
31-466 Kraków

Janusz LESIECKI, dr inż.

Politechnika Krakowska,
Instytut Elektromechanicznych
Przemian Energii,
ul. Warszawska 24,
31-155 Kraków

ELEKTROTERMICZNE PRZETWARZANIE I AKUMULACJA ENERGII W SYSTEMIE OGRZEWANIA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono możliwość tworzenia systemów ogrzewania obiektów budowlanych, opartych na układach elektrotermicznego przetwarzania i akumulacji energii cieplnej. System ogrzewania budynków jest zasilany, w trybie pracy przerywanej, z podstawowego, stabilnego źródła energii elektrycznej, dostępnej z sieci elektroenergetycznej. Przetwarzana energia elektryczna, na ciepłą, zostaje zgromadzona w ceramicznym, wysokotemperaturowym akumulatorze energii cieplnej. Przedstawiony system ogrzewania budynków posiada, oprócz podstawowego, dodatkowe źródło zasilania energii elektrycznej wytwarzanej w małej elektrowni wiatrowej, pracującej wyłącznie na potrzeby tego systemu.

1. WPROWADZENIE

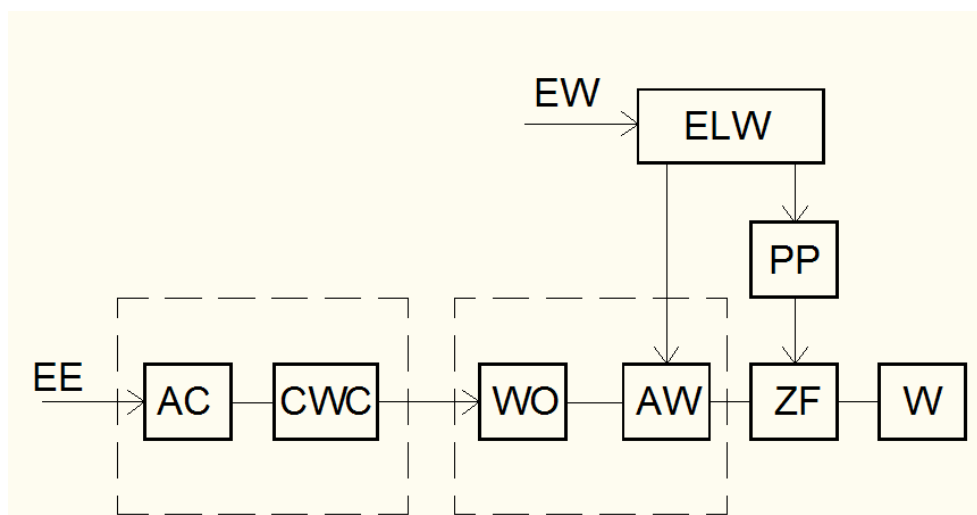
Powszechnie wprowadzane inteligentne instalacje do budownictwa (EIB), są wynikiem rozwoju nowych technologii, które wzbogacają funkcje użytkowe budynków. Tworzenie nowoczesnych instalacji w budownictwie, pozwoli realizować różnorodne

zadania sterowania procesami związanymi z efektywnie prowadzoną eksploatacją budynków. W naturalny sposób, ogrzewanie budynków również musi podlegać sterowaniu według określonych kryteriów. Elektryczne ogrzewanie stanowi najlepsze rozwiązanie, umożliwiające łatwą realizację sterowania temperatury w określonych pomieszczeniach danego budynku. Dlatego, należy budować systemy ogrzewania budynków, z jak największym udziałem układów elektrotermicznego przetwarzania i akumulacji energii, które będą stanowić źródło zasilania tych systemów. Tego rodzaju źródło zasilania stanowi energia elektryczna pobierana z systemu elektroenergetycznego, w okresie tzw. doliny energetycznej. W celu obniżenia całkowitych kosztów eksploatacji ogrzewania, podstawowe źródło zasilania, wybranego systemu, winno być uzupełnione źródłami energii odnawialnej uzyskanej np. z przydomowej małej elektrowni wiatrowej. Tego rodzaju wymaganie spełnia dwuźródłowy układ zasilania, prezentowanego systemu ogrzewania obiektów budowlanych.

2. WYBÓR STRUKTURY SYSTEMU OGRZEWANIA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

W przedstawionym schematycznie, dwuźródłowym systemie ogrzewania [1] (rys. 1), podstawowe źródło energii elektrycznej zasilą okresowo, zgodnie z wymaganiami zakładu energetycznego, centralny ceramiczny akumulator energii cieplnej AC. Przetworzona w nim energia elektryczna na ciepłą, zostaje skierowana bezpośrednio lub poprzez ciepłą kaskadę, do wymienników ciepła zainstalowanych w ogrzewanych pomieszczeniach. Elektrotermiczne przetwarzanie i akumulacja energii następuje w trybie pracy przerywanej. Czas akumulacji i przetwarzania energii elektrycznej na ciepłą, zgodnie z aktualnie obowiązującymi ograniczeniami, wynosi 10 godzin. Dlatego elektryczna moc, zainstalowanego zespołu rezystorowych przetworników, w ceramicznym rdzeniu akumulatora energii cieplnej, winna być 2,4 razy większa od mocy elektrycznych ogrzewaczy pracujących w trybie pracy ciągłej. Wynika to z równoważności zapotrzebowania na energię ciepłą przekazywaną do ogrzewanych pomieszczeń, w dwóch możliwych trybach pracy systemu ogrzewania, ciągłego i przerywanego. Podstawowy układ przetwarzania energii elektrycznej na ciepłą i jej akumulację, wspomagają dodatkowe, odnawialne źródła np. energii: wiatrowej, zwiększając w ten sposób efektywność działania systemu ogrzewania. Dla tworzenia systemu ogrzewania budynków, z wykorzystaniem dostępnych, odnawialnych źródeł energii, pracujących na różnych poziomach temperaturowych akumulacji energii, należy budować ciepłe kaskady. Ponadto, tworzenie skojarzonych źródeł wytwarzania energii cieplnej, w różnych strukturach systemu ogrzewania pozwala na elastyczną jego budowę. Jest to istotne ułatwienie technicznej realizacji określonego systemu ogrzewania. W obiektach budowlanych, o szczególnym charakterze, np. obiektach sakralnych, należy instalować bardziej złożone systemy ogrzewania, w celu zapewnienia odpowiedniej jakości ogrzewania tych obiektów. Elektryczne ogrzewanie promiennikowe spełnia takie wymagania. W wysokich, wielkogabarytowych obiektach sakralnych winno dominować elektryczne ogrzewanie promiennikowe [2,3]. Ta forma ogrzewania zapewnia wytworzenie odpowiedniej jakości mikroklimatu, tak cennego dla utrzymania wnętrza kościoła wg konserwatorskich wymagań. Jest to elastyczna realizacja minimalnie energetycznego sposobu ogrzewania budynków o charakterze strefowym i dlatego koszty

eksploatacyjne mogą być istotnie obniżone. Jedną z możliwych modyfikacji systemu ogrzewania, jest włączenie układu promiennik podczerwieni - zasobnik zawierający substancję o cechach fazowej przemiany, np. parafiny technicznej, do podstawowej struktury tego systemu. Promienniki podczerwieni winny być zainstalowane na ruchomych, pionowych podporach usytuowanych przy kolumnach opasujących nawę kościoła. W okresie „doliny energetycznej”, od godz 22.00 do 6.00 mogą one przekazywać energię ciepłą promieniowania podczerwieni do zasobników wypełnionych substancją o właściwościach zmienno fazowych, np. parafiną techniczną. Zespół zasobników można zainstalować w specjalnych kanałach. Wykonanie takich kanałów jest mniej uciążliwe od powszechnie stosowanego ogrzewania podłogowego.



Rys. 1. Dwuźródłowy system ogrzewania budynków [1]

Fig. 1. System for building space heating with double energy supply.

Oznaczenia

EE – energia elektryczna z systemu elektromagnetycznego

AC – ceramiczny akumulator ciepła

CWC – centralny wymiennik ciepła

WO – wymiennik olejowy

AW – wodny akumulator ciepła

ZF – zasobnik zmienno fazowej substancji

EW – energia wiatrowa

ELW – elektrownia wiatrowa

PP – promiennik podczerwieni

W – zastępczy, lokalny wymiennik ciepła

2.1. Wykorzystanie przemian fazowych substancji i termoakumulacji energii w układzie zasilania systemów ogrzewania

W akumulatorach energii cieplnej, wykorzystujących ciepło właściwe ciał stałych i cieczy zostaje magazynowana energia w postaci energii kinetycznej i potencjalnej cząstek, z których składa się wybrany ośrodek do jej gromadzenia. Duże możliwości magazynowania przetworzonej energii elektrycznej na ciepłą, stwarzają przemiany fazowe substancji, w których następuje przejście cząstek od struktury uporządkowanej do przypadkowej. W grupie materiałów zmiennie fazowych znajdują się hydraty i parafiny, które w otoczeniu źródeł ciepła poddawane są ustawicznym przemianom fazowym. Hydraty charakteryzuje duża pojemność cieplna, przy czym niektóre grupy są toksyczne oraz powodujące korozję, co dyskwalifikuje je jako substancje zmiennie fazowe do zastosowań technicznych. Również parafiny podlegają przemianom fazowym pod wpływem energii cieplnej. Poszczególne odmiany parafin posiadają różne temperatury topnienia. Możliwa jest modyfikacja własności fizycznych parafin, w tym również temperatury topnienia. W technice magazynowania energii cieplnej stosuje się parafiny o nie rozgałęzionym łańcuchu węgla np. parafinę techniczną twardą, o temperaturze topnienia 335 K. Istotą gromadzenia ciepła w substancjach zmieniających stan skupienia, pod wpływem energii cieplnej, jest zmiana entalpii na granicy faz (ciekłej/ stałej), przy czym różnica tych entalpii stanowi ciepło topnienia. W rozwiązaniach technicznych tę wartość energii wykorzystuje się do zasilania systemu ogrzewania. Natomiast w akumulatorach energii cieplnej zbudowanych z materiałów ceramicznych można gromadzić energię cieplną z maksymalną, technicznie dopuszczalną, temperaturą pracy ceramicznego rdzenia akumulatora. W bloku AC (rys. 1), stanowiącym podstawowe źródło zasilania systemu ogrzewania, następuje magazynowanie energii cieplnej wytworzonej w rdzeniu tego akumulatora. Z systemu elektroenergetycznego, energia elektryczna jest dostarczona do zespołu rezystorowych przetworników, umieszczonych w ceramicznym rdzeniu akumulatora. Zespół rezystorowych przetworników energii elektrycznej na ciepłą, jest utworzony z rurkowych elementów grzejnych. Pojedynczy element grzejny wykonany jest z ferrochromalu o dopuszczalnej temperaturze pracy 1430 K. W ceramicznym rdzeniu, wykonanym w postaci kształtek szamotowych, znajduje się zespół elementów grzejnych, równomiernie rozłożony w całej objętości rdzenia akumulatora. Z ceramicznego rdzenia akumulatora, w którym została zakumulowana energia cieplna, następuje jej przekazanie do olejowego wymiennika ciepła, tworzącego budowę „kanapkową” z ceramiczną płytą akumulatora. W ten sposób dochodzi do schładzania rdzenia akumulatora na skutek przekazania energii cieplnej do olejowego wymiennika ciepła CWC, a stąd do ogrzewanych pomieszczeń. W wysoko temperaturowym trybie akumulacji energii cieplnej, można obniżyć masę ceramicznego rdzenia akumulatora, zachowując jego pojemność cieplną na wymaganym poziomie.

2.2. Zastosowanie turbiny wiatrowej z pionową osią obrotu do zasilania systemu ogrzewania obiektów budowlanych

Wszystkie turbiny wiatrowe pracują w naturalnych ograniczeniach energetycznych. Wśród najistotniejszych ograniczeń jest prędkość progowa turbiny, wynikająca z mas wirujących związanych z daną konstrukcją turbiny oraz oporami statycznymi

połączeń części ruchomych. Poprawę własności dynamicznych, zespołu turbina wiatrowa generator energii elektrycznej, można uzyskać przez obniżenie wartości mas wirujących tego zespołu. W tym celu należy wprowadzać do budowy turbin wiatrowych lekkie materiały, o dużej wytrzymałości mechanicznej i odporne na działanie czynników atmosferycznych. Dzięki zastosowaniu turbiny z pionową osią obrotu i zmiennym rozstawem łopat, względem osi obrotu turbiny, można prowadzić proces wytwarzania energii elektrycznej z regulowanym poziomem mocy. Oryginalna konstrukcja z pionową osią turbiny wiatrowej, oparta na turbinie Savoniusa, pozwala na automatyczną zmianę momentu mechanicznego, podczas jego rozruchu w warunkach niekorzystnych. Tego rodzaju turbina wiatrowa posiada zespół łopat tworzący powłokę walcową. Powierzchnia tej powłoki ma różny stopień wypełnienia, zależny od prędkości wiatru. W warunkach krytycznych, łopaty turbiny tworzą powłokę walcową o 100% stopniu wypełnienia. Taki stan zapewnia pełne bezpieczeństwo dla otoczenia, w tych warunkach turbina nie ulegnie zniszczeniu

Ten rodzaj turbiny wiatrowej może być zastosowany do budowy elektrowni wiatrowej na wysięgnikach usytuowanych na budynkach. Wieże kościelne, mogą spełniać tę dodatkową funkcję, konstrukcji wsporczej, dla turbin wiatrowych. W tym celu można zagospodarować przestrzeń, znajdującą się ponad dzwonnica. Oczywiście tego rodzaju inwestycja wymaga odpowiednich uzgodnień i zezwoleń, w tym przede wszystkim, konserwatora zabytków. Poprawnie wkomponowana turbina wiatrowa, w tę przestrzeń, nie naruszy walorów architektonicznych wieży. Energia elektryczna pozyskiwana z tak zbudowanej elektrowni wiatrowej, może zasilać system ogrzewania kościoła lub oddzielnie może stanowić zasilanie promienników podczerwieni, zainstalowanych w obiekcie kościelnym.

3. BADANIE CZASOWYCH ZMIAN TEMPERATURY W POPRZECZNYM PRZEKROJU RDZENIA AKUMULATORA ENERGII CIEPLNEJ

Opis matematyczny procesu oddawania energii cieplnej, zakumulowanej w ceramicznym rdzeniu akumulatora, w fazie jego ładowania, do olejowych wymienników ciepła centralnego ogrzewacza akumulacyjnego CWC, można przedstawić w postaci:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\text{warunek początkowy: } T(x,0) = T_p \quad (2)$$

T_p – temperatura początkowa ceramicznego rdzenia dla fazy oddawania energii cieplnej,

$$\text{warunki brzegowe: } \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=2s} = 0, \quad t > 0 \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{\alpha}{\lambda} \cdot [T(0,t) - T_o], \quad t > 0 \quad (4)$$

s – grubość płyty, x, y, z - współrzędne prostokątne, spełniające warunki: $x \in (0, 2s)$, $x \ll y$, $x \ll z$, T_o – temperatura otoczenia ceramicznego rdzenia akumulatora, olejowego wymiennika ciepła.

Korzystając z dostępnych metod rozwiązania równania 1 z ograniczeniami 2-4 [4,6] można wyznaczyć niestacjonarny rozkład pola temperaturowego w określonym przekroju ceramicznej płyty, rdzenia akumulatora energii cieplnej.

Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe zostały ograniczone do badania czasowych zmian temperatury w osi przekroju poprzecznego ceramicznego rdzenia akumulatora ciepła. ($x = 0$) [1]. Ceramiczny rdzeń akumulatora energii cieplnej można traktować jak płytę nieskończoną, gdyż spełnia geometryczne ograniczenia wyłącznie w kierunku osi x .

Wielkości charakterystyczne ceramicznego płytowego rdzenia akumulatora energii cieplnej:

1) własności fizyczne ceramicznego ośrodka akumulacji:

- przewodność cieplna: $\lambda = 6,6$ [W/mK]

- ciepło właściwe: $c = 1,13$ [kJ/kgK]

- gęstość: $\rho = 2700$ [kg/m³]

2) ustalone gabaryty :

- $0,33 \times 1,6 \times 1,6$ [m]

3) moc elektryczna zainstalowanego zespołu rezystorów, $P = 60$ kW

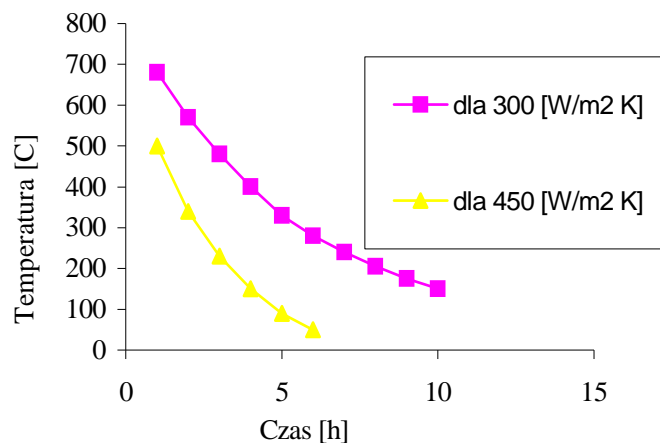
4) założone warunki eksploatacyjne:

a) temperatura otoczenia CWC, ceramicznego rdzenia akumulatora, $T_o = 90$ [°C]

b) temperatura początkowa fazy schładzania ceramicznego rdzenia akumulatora $T_p = 900$ [°C]

c) wariantowo przyjęty współczynnik wnikania ciepła : $\alpha = \{300, 450\}$ [W/m²K]

d) grubość rdzenia akumulacyjnego $2S_m = 0,33$ [m], $S_m = 0,165$ [m], $n = 0$



Rys. 2. Zależność temperatury, w osi przekroju płyty, od czasu schładzania

Fig. 2. Graph illustrating time course of the temperature measured in the axis of the cross-section of the plate during cooling

Z przeprowadzonych badań wynika, że ilość zgromadzonej energii cieplnej w ceramicznym akumulatorze, zapewnia stabilną pracę systemu ogrzewania, którego źródło energii cieplnej pracuje w trybie pracy przerywanej. Tryb pracy przerywanej określa zakład energetyczny. Dynamika przekazywania energii cieplnej do olejowego wymiennika ciepła, może być określona przez wartość współczynnika wnikania ciepła do tego wymiennika. Współczynnik wnikania ciepła będzie wielkością zadaną w układzie regulacji temperatury pomieszczenia. Oznacza to możliwość programowego przepływu energii cieplnej, w utworzonej strukturze ogrzewania obiektu budowlanego, według określonego celu sterowania, w tym przypadku temperatury. Ponadto, wyniki przeprowadzonego eksperymentu obliczeniowego, w dowolnym przekroju ceramicznego rdzenia, dostarczą informacji w zakresie czasowych zmian temperatury wewnątrz tego rdzenia. Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań, świadczą o dostępności zakumulowanej energii na poziomie technologicznie wymaganej temperatury w czasie 12 godzin, od chwili obowiązującego wyłączenia dopływu energii elektrycznej, zasilającej system ogrzewania.

4. PODSUMOWANIE

Akumulacja przetwarzanej energii elektrycznej, na jej ciepłą postać, w wysoko temperaturowych zasobnikach i przesyłanie jej do ogrzewanych pomieszczeń, ma uzasadnienie w budowie nowoczesnych systemów ogrzewania budynków. Szczególną rolę, tego rodzaju systemy, spełniają w ogrzewaniu wysokich, wielko powierzchniowych obiektach budowlanych, w których jest okresowo zmienne zapotrzebowanie na energię ciepłą. Odpowiednio skonfigurowany system ogrzewania, z uwzględnieniem dostępnego stabilnego źródła energii elektrycznej, pozwoli na racjonalne jej wykorzystanie. W tworzonym systemie ogrzewania obiektów budowlanych o szczególnym przeznaczeniu, np. kościołów, należy uwzględnić mieszany charakter ogrzewania, z dominującą rolą promieniowania podczerwieni. Wykorzystanie dostępnych, dodatkowych źródeł energii odnawialnej może w znaczący sposób obniżyć koszty eksploatacji ogrzewania. W realizacji sterowania systemami ogrzewania mogą być pomocne układy komputerowe, które zarządzają inteligentnymi elektrycznymi instalacjami w różnych obiektach budowlanych.

5. LITERATURA

- [1] Lesiecka M., Wieloźródłowe systemy ogrzewania w budownictwie, Praca magisterska, Politechnika Krakowska, 2005
- [2] Hausner J., Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2006
- [3] Rodacki T., Kandyba A., Urządzenia elektrotermiczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002
- [4] Hobler T., Ruch ciepła i wymienniki, WNT, Warszawa, 1986
- [5] Lubośny E., Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, WNT, Warszawa, 2006
- [6] Kącki E., Równania różniczkowe cząstkowe w zagadnieniach fizyki i techniki, WNT, Warszawa, 1995

ELECTROTHERMAL ENERGY PROCESSING AND ACCUMULATION IN THE SYSTEM FOR BUILDING SPACE HEATING

SUMMARY

The paper illustrates the idea of system for building space heating based on electrothermal energy processing and accumulation. Power for the heating system is supplied, in the interrupted operating mode, by the primary, stable source – the electrical grid. The processed electrical energy is accumulated in the ceramic, high-temperature heat accumulator. The presented building space heating system is additionally equipped with auxiliary onsite power supply – micro wind turbine.

Magdalena LESIECKA-GOMUŁA, mgr inż.

Absolwentka Politechniki Krakowskiej,
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Pilotów 2D/4
31-466 Kraków

Janusz LESIECKI, dr inż.

Politechnika Krakowska,
Instytut Elektromechanicznych
Przemian Energii,
ul. Warszawska 24,
31-155 Kraków

HYDROZESPÓŁ NOWEJ GENERACJI W BUDOWIE MIKROELEKTROWNI NA GÓRSKICH CIEKACH

STRESZCZENIE

W referacie została przedstawiona idea niekonwencjonalnego hydrozespołu dla mikroelektrowni wodnych instalowanych w różnorodnych uwarunkowaniach hydrotechnicznych. Zastosowanie nowatorskiej konstrukcji i nowej technologii wykonania, tak turbiny, jak też generatora synchronicznego, poprawi własności eksploatacyjne hydrozespołu w porównaniu z dotychczasowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi.

1. WPROWADZENIE

Niekorzystny udział wytwarzania energii, pochodzącej z odnawialnych źródeł, w jej globalnej produkcji zmusza do zintensyfikowania działań w kierunku zmiany tego stanu. Dlatego tak cenna jest każda inicjatywa podejmowana, w zakresie pozyskiwania różnych postaci energii odnawialnej, tak z przyczyn ekonomicznych, jak również w trosce o poprawę dotychczasowego stanu środowiska. Powyższe względy przemawiają za wdrażaniem nowych technologii, nakierowanych na generowanie energii z dostępnego obszaru odnawialnych źródeł. Ten zakres tematyki, w prezentowanym referacie, został zorientowany na energetykę wodną w aspekcie budowy mikroelektrowni.

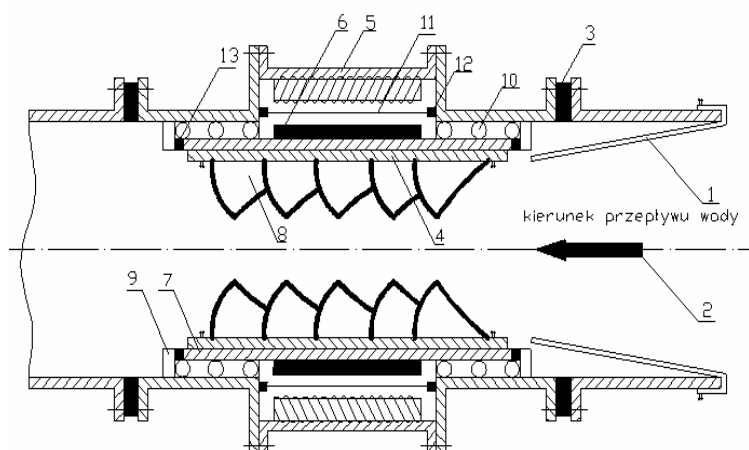
Prezentowany hydrozespół może być zastosowany w różnych warunkach przetwarzania energii potencjalnej dostępnych cieków górskich, nawet o niewielkich przepływach. Niekonwencjonalna konstrukcja hydrozespołu umożliwi budowę mikro elektrowni wodnych na górskich potokach, z wykorzystaniem naturalnego ukształtowania terenu w otoczeniu cieków. Tworząc tego rodzaju inwestycje, o charakterze rozproszonym, można znacząco poprawić niekorzystny krajowy bilans energetyczny. Należy zaznaczyć równocześnie, że budowane mikroelektrownie wodne nie naruszają, w sposób istotny, naturalnego charakteru cieków, inaczej jest w przypadku dużych elektrowni wodnych pracujących przy dużych spiętrzeniach i przepływach.

2. OPIS KONSTRUKCJI I TECHNOLOGII WYKONANIA ORYGINALNEGO HYDROZESPOŁU

W klasycznych rozwiązaniach konstrukcyjnych hydrozespołów, dla potrzeb mikroelektrowni wodnej, dominują dwumodułowe zestawy turbina wodna i generator prądu elektrycznego [4,5].

Przedstawiona w referacie idea hydrozespołu, według własnych przemyśleń autorów, jest oryginalnym zintegrowanym układem turbiny wodnej i generatora synchronicznego z trwałymi magnesami. W porównaniu do podobnych rozwiązań konstrukcyjnych [5], turbina hydrozespołu nie posiada osiowego podparcia łopat wirnika, wobec tego nie występuje efekt lokalnych turbulencji w jego części osiowej, w szczególności w przypadku dużych poziomów spiętrzenia i niewielkiej wartości przepływów cieków. Elementy łopat turbiny mają zmienną wysokość, dzięki temu następuje równomierny rozkład prędkości elementarnych strumieni przepływającej wody przez wnętrze turbiny. Hydrozespół, według przedstawionego pomysłu, zawiera moduł mechaniczny zintegrowany z modulem elektrycznym. W module mechanicznym występuje wirnik turbiny o zarysie rozciągniętej linii śrubowej wpisany w wewnętrzną powłokę walcową. Zewnętrzna część tej powłoki stanowi konstrukcję wsporczą dla magnetowodu wirnika generatora synchronicznego, stanowiącego składowy element elektrycznej części modułu hydrozespołu. Drugą część, elektrycznego modułu hydrozespołu, stanowi magnetowód stojana generatora synchronicznego. Obydwa magnetowody, wirnika i stojana, będą wykonane z materiału dielektromagnetycznego. W tej technologii wykonane elementy generatora, w sposób znaczący, obniżą masę generatora, a tym samym hydrozespołu. Zastosowanie w układzie wzbudzenia generatora magnesów Nd-Fe-B, charakteryzujących się wysoką koercją pozwoli uprościć konstrukcję wirnika generatora. Strumień wody doprowadzany jest do turbiny za pośrednictwem rury wlotowej wyposażonej w przewodniczącą wodną (1), poprawiającą właściwości dopływu tego strumienia do układu łopatek turbiny wodnej (8). Rura wlotowa podzielona została na dwie części, co wprowadza znaczne udogodnienia przy transporcie, montażu i przeglądach hydrozespołu. Miejsce połączeń rury wlotowej będzie uszczelnione simmeringowym pierścieniem gumowym (3), co sprawia, iż miejsce łączenia jest zabezpieczone przed niepożądanym działaniem wody. Tuż za elementami uszczelniającymi usytuowany został pierścień oporowy (9), mający na celu zabezpieczenie części wirujących przed drganiami oraz poprzecznymi przemieszczeniami. Zabezpieczenia te dotyczą zarówno tulei ślizgowych (10), jak również walca wsporczego stojana generatora synchronicznego (7). Walec wsporczy został sprzęgnięty z wirnikiem turbiny (4) za

pośrednictwem połączeń śrubowych. W ten sposób, przepływający przez wnętrze hydrozespołu strumień wody wymusza ruch obrotowy turbiny i równocześnie wirnik generatora (6). Istotne znaczenie, w rozwiązaniu konstrukcyjnym niekonwencjonalnego hydrozespołu, ma pokrywa osłaniająca (5). Połączenie śrubowe pokrywy z rurą wlotową i wylotową pozwala w szybki i prosty sposób dotrzeć do obwodów stojana i wirnika generatora synchronicznego.



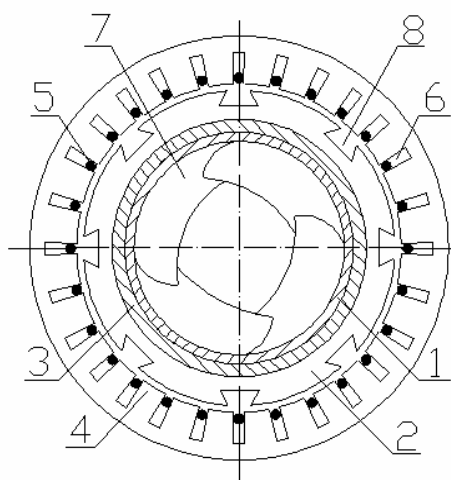
Rys. 1. Przekrój osiowy hydrozespołu z synchronicznym generatorem walcowym
Fig. 1. Hydroelectric unit with synchronous cylindrical generator - axial section

Jedną z istotnych zalet proponowanego hydrozespołu jest jego rozbieralność. Stwarza to możliwość przeprowadzania szybkiego i prostego demontażu poszczególnych podzespołów hydrozespołu w celu prowadzenia okresowych przeglądów.

Nowatorska konstrukcja hydrozespołu pozwala uniknąć tradycyjnego sprzęgnięcia turbiny z generatorem za pośrednictwem wału i układu przekładni [5]. Strumień wody napędza turbinę wodną hydrozespołu od strony wewnętrznej zapewniając jednocześnie intensywne schładzanie obciążonego generatora. Takie rozwiązanie konstrukcyjne, ułatwiające przebieg procesu chłodzenia generatora, jest jedną z istotnych zalet niekonwencjonalnego hydrozespołu. Na rysunku 2 przedstawiono przekrój poprzeczny hydrozespołu, ukazujący poszczególne jego podukłady.

Zastosowanie nowych technologii i materiałów w proponowanym rozwiązaniu konstrukcyjnym obwodów magnetycznych, różni przedstawiony hydrozespół od tradycyjnych realizacji. W zakresie wytwarzania magnetowodów, według nowej technologii, przeprowadzane są rozliczne badania [1,2] związane z możliwością wdrożenia do produkcji dielektromagnetycznych magnetowodów, wykonanych z magnetycznie miękkich kompozytów proszkowych. Zastosowanie kompozytów proszkowych pozwoliło na dowolne zamknięcie żłobków, co w konsekwencji uprościło konstrukcję obwodów magnetycznych maszyn elektrycznych. Dielektromagnetyczny magnetowód części pierwotnej ma strukturę segmentową, przy czym segmenty skrajne mają nieco inny kształt niż segmenty

wewnętrzne, które mają w ścianach wybrane miejsca na uzwojenia. Segmenty zewnętrzne mają wybrania identyczne jak segmenty wewnętrzne, ale tylko od strony przylegającej do segmentu wewnętrznego. We wszystkich segmentach jest wykonany przelotowy otwór służący do wyprowadzenia na zewnątrz końcówek uzwojeń i skręcenia elementów w całość. Segmentowa budowa magnetowodu pozwala na wykonanie generatorów o różnych parametrach z tych samych dielektromagnetyków.



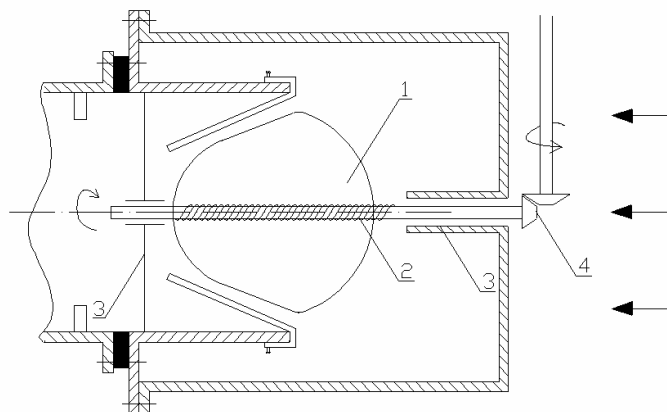
Rys. 2. Przekrój poprzeczny hydrozespołu (rozwiązanie z otwartymi żłobkami)

Fig. 2. Hydroelectric unit – transverse section (model with open grooves).

Kolejnym elementem hydrozespołu, stanowiącym swoistego rodzaju zawór z osłoną mechaniczną, jest podukład umożliwiający regulację czynnego przekroju wlotowego turbiny (rys. 3). Serwomechanizm z mechaniczną przekładnią (4) umożliwia przemieszczanie się zaworu (1) przy pomocy śruby napędowej (2) podpartej na brzegach (3) obudowy regulacyjnej przysłony.

Dodatkowo, ten podukład zapewnia pełne zamknięcie przestrzeni wlotowej hydrozespołu, w celu wykonania prac montażowych hydrozespołu od strony dolnej wody. Ponadto, przy odpowiedniej modyfikacji części regulującej przełyk turbiny (1) można uzyskać wejściowy, spiralno-osiowy ruch strumienia wody wpisujący się w kształt łopatek wirnika turbiny. Proponowane rozwiązanie poprawi sprawność turbiny wodnej, a tym samym hydrozespołu.

Innowacyjne rozwiązanie zarówno samego hydrozespołu, jak również przysłony regulacyjnej oraz brak bezpośredniej regulacji układu łopatek turbiny sprawiają, iż prototypowy model wymaga przeprowadzenia eksperymentów na stanowisku badawczym.



Rys. 3. Układ sterujący przepływem wody w hydrozespolu
 Fig. 3. Hydraulic flow control valve employed in the hroelectric unit

3. PROPOZYCJA BUDOWY MIKRO ELEKTROWNI NA WYBRANYCH GÓRSKICH CIEKACH Z WYKORZYSTANIEM NOWEJ GENERACJI HYDROZESPOŁU

Autorzy niniejszego referatu dokonali przeglądu niektórych górskich cieków, w województwie małopolskim oraz bliskim sąsiedztwie Krakowa, pod względem możliwości budowy mikroelektrowni wodnych. Po przeprowadzeniu wstępnej oceny energetycznej, wytypowanych cieków, zostały wybrane cieki reprezentatywne dla podgórskich terenów:

- rzeka Dłubnia, posiadająca w pełni sprawne wodne urządzenia piętrzące, możliwa do zrealizowania elektrownia o mocy $P = 2 \times 15 \text{ kW}$ [3]
- rzeka Prądnik Białucha, z istniejącym stopniem wodnym i fragmentami obiektu hydrotechnicznego wymagającego generalnego remontu, możliwa do zrealizowania moc elektrowni $P = 10 \text{ kW}$
- rzeka Kamienica, okolica wsi Szczawa – Bukówka, stopień wodny wymagający dokonania prac adaptacyjnych poszerzających jego funkcję hydrotechniczną dla potrzeb mikroelektrowni wodnej, przewidywana moc elektrowni $P = 5 \text{ kW}$
- potok Żmiąca posiadający kanał derywacyjny służący, w nieodległej przeszłości, zaopatrzeniu w wodę gospodarstwa wiejskie wsi Strzeszyce., możliwa do zrealizowania elektrownia o mocy $P = 2 \text{ kW}$

Podjęte działania, dotyczące przeglądu wytypowanych cieków, były związane z planowaną budową Uczelniano Przemysłowego Laboratorium Elektrowni Wodnej Politechniki Krakowskiej. Wstępna decyzja lokalizacji tego laboratorium jest związana z istniejącym zbiornikiem wodnym Zestawice na rzece Dłubni, a prace dotyczące adaptacji tego zbiornika do potrzeb laboratorium znajdują się w fazie uzgodnień formalno prawnych. Niezależnie od tego, dokonano oceny energetycznej wymienionych cieków, kwalifikując je w ten sposób do budowy mikroelektrowni wodnej. W tym celu została przeprowadzona inwentaryzacja wytypowanych cieków pod kątem możliwości zainstalowania na nich

mikroelektrowni wodnych. Ocenę energetyczną tych cieków dokonano na podstawie pomiaru przepływów. Przy wstępnym wyborze lokalizacji mikro elektrowni wodnej, należy wziąć pod uwagę kryterium maksymalnej mocy użytecznej. Wobec tego obiekt elektrowni winien być usytuowany w miejscu największej koncentracji różnicy poziomów i przepływu, w możliwie ograniczonym obszarze.

Często ubogie w wodę górskie rzeki, lub potoki mogą okazać się wystarczającymi nośnikami energii, dla potrzeb wytwarzania energii elektrycznej.

Dla przykładu, ze względu na ciekawe ukształtowanie terenu w otoczeniu potoku Żmiąca, powstała koncepcja budowy mikroelektrowni wodnej na tym cieku, zlokalizowanym w powiecie limanowskim. Potok ten, wraz z dopływami pozostaje w administracji Okręgowej Dyrekcji Gospodarki Wodnej Rejon Eksploatacji Wód w Nowym Sączu. Głównym przeznaczeniem badanego cieku jest zaopatrywanie w wodę części gospodarstw wsi Żmiąca oraz gospodarstw wsi Strzeszyce.

Charakterystyka przepływów potoku udostępniona przez Urząd Gminy w Łaskowej: powierzchnia zlewni $A = 1,14 \text{ km}^2$; średni opad roczny $P = 780 \text{ mm}$; średnie wzniesienie zlewni $H = 590 \text{ m n.p.m.}$; wysokość najwyżej położonego źródła $W_z = 650 \text{ m n.p.m.}$; wysokość profilu $W_p = 530 \text{ m n.p.m.}$; różnica wysokości $W = 120 \text{ m n.p.m.}$; długość cieku $L = 0,7 \text{ km}$; umowny wskaźnik spadku podłużnego $I = 171,42\%$; wskaźnik przepuszczalności gleby $N = 70\%$; przepływ średni normalny $Q_2 = 40 \text{ dm}^3/\text{s}$;

Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na możliwości energetyczne tego potoku dla instalacji mikroelektrowni wodnej. Istniejąca odnoga derywacyjna potoku, przy małej wartości przepływu i dużej różnicy poziomów, pomiędzy odnogą a podstawowym poziomem przebiegu potoku, sięgającej wartości 9 m, zwiększa możliwości energetyczne planowanego obiektu. Moc tak usytuowanej mikroelektrowni wodnej, przy kanale derywacyjnym z wykorzystaniem dotychczasowej 60% wartości przepływu cieku wynosi 2 kW.



Fot. 1. Jaz wodny na rzece Dłubni, projektowane laboratorium elektrowni wodnej Politechniki Krakowskiej

Fot. 1. Weir on Dłubnia River – the projected hydroelectric power station laboratory of the Cracow Institute of Technology

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona propozycja budowy mikroelektrowni wodnych na górskich ciekach, z wykorzystaniem zintegrowanego hydrozespołu, wymaga prowadzenia prac badawczych z zakresu hydromechaniki i maszyn elektrycznych. Autorzy referatu mają nadzieję, iż w ramach tworzonego Laboratorium Przemysłowo Uczelnianego Elektrowni Wodnej Politechniki Krakowskiej, zostaną podjęte kompleksowe prace, związane z wykonaniem prototypu prezentowanego hydrozespołu.

Warto nadmienić, że wytwarzaną energię elektryczną, w mikro elektrowniach wodnych, budowanych na małych ciekach górskich, można zakumulować np. w postaci produkowanego wodoru, poprzez elektrolizę dostępnej wody. Uzyskany w drodze elektrolizy wodór będzie stanowił źródło zasilania ogniw paliwowych, które są już wdrażane do produkcji. Naturalnie jest to przyszłościowe rozwiązanie, ukierunkowane na akumulację energii, pozyskiwanej z mało zasobnych źródeł energii odnawialnej.

5. LITERATURA

- [1] Ślusarek B.; Dielektromagnesyt Nd-Fe-B, Monografie Nr16, Wrocław, 2001,
- [2] Ślusarek B., Kordecki A.; Zastosowanie domieszkowanych di elektromagnesów NdFeB w silnikach prądu stałego, Studia i materiały Nr 20, Wrocław, 2000,
- [3] Stonawski J.; Operat wodno prawny na piętrzenie i retencjonowanie wody, BMW, Kraków, 2003,
- [4] Anuszczyk J.; Maszyny elektryczne w energetyce, WNT, Warszawa, 2005,
- [5] Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F.; Elektrownie, WNT, Warszawa, 2000

ADVANCED HYDROUNIT FOR MICRO HYDROELECTRIC POWER STATIONS IN MOUNTAIN WATERCOURSES

SUMMARY

The paper illustrates the idea of unconventional hydrounit for micro hydroelectric power stations installed in a variety of hydrotechnic conditions.

The use of innovative design and the brand new technology such as turbine, as well as the synchronous generator, will improve operating parameters of the hydrounit compared with existing construction solutions.

Przemysław MIĄSIK, mgr inż.

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

NUMERYCZNA SYMULACJA PROCESÓW TERMICZNYCH ZACHODZĄCYCH W PRZEGRODZIE BUDOWLANEJ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki symulacji procesów cieplnych zachodzących w przegrodzie budowlanej. W analizie komputerowej wykorzystano oprogramowanie ADINA 8.5. Przedstawiono sposób oraz możliwości programowe konstruowania modelu. Porównano wyniki uzyskane podczas badań rzeczywistych i analizy komputerowej. Przedstawione również zostały zalety stosowania symulacji numerycznej.

1. WPROWADZENIE

Szybki rozwój w dziedzinie informatyki jest procesem, dzięki któremu współcześni inżynierowie zostali wyposażeni w nowoczesne narzędzie o potężnych możliwościach. Stale postępujące zwiększenie mocy obliczeniowej komputerów, a także nieustanna ewolucja oprogramowania komputerowego pozwala na zastosowanie metod numerycznych do analizy elementów architektury i konstrukcji budowlanej w bardzo szerokim zakresie. Metoda Elementów Skończonych (MES) polega na podzieleniu analizowanego obiektu na mniejsze obszary i wyznaczeniu szukanych parametrów dla każdego z nich na podstawie warunków brzegowych oraz równań wynikających ze stanu równowagi pomiędzy sąsiadującymi elementami.

2. ADINA 8.5

Program ADINA 8.5 jest narzędziem służącym do modelowania elementów, układów i struktur oraz ich analizy w fazie montażowej i eksploatacyjnej w zakresie naprężeń, odkształceń, przepływu płynów, rozkładu temperatur itp.

ADINA 8.5 zawiera szerokie spektrum możliwości, zarówno jeżeli chodzi o formę analizowanego obiektu jak rodzaj obciążeń oraz ekspozycję wyników uzyskanych podczas procesu obliczeniowego.

Tworzenie geometrii modelu może odbywać się kilkoma sposobami. Punkty są najmniejszą jednostką geometryczną i tworzy się je poprzez podanie w tabeli ich numerów oraz współrzędnych w zadeklarowanym wcześniej układzie odniesienia. Odcinki proste można utworzyć poprzez podanie punktów początkowego i końcowego lub transformację (np. przesunięcie). W analogiczny sposób buduje się proste powierzchnie (prostokąty, trójkąty) oraz objętości (prostopadłościany, ostrosłupy, walce). W przypadku bardziej skomplikowanych geometrycznie kształtów brył – należy skorzystać z modułu ADINA-M. Ten segment programu pozwala na kształtowanie tzw. „ciał”, które mogą się wzajemnie przenikać. Budując proste bryły można zastosować działania geometryczne na nich (odejmowanie, mnożenie, sumowanie) i w ten sposób generuje się rozbudowane geometryczne elementy.

Definicja obciążeń pozwala na określenie rzeczywistych warunków pracy, jakim może zostać poddany analizowany obiekt. Z poziomu ADINA Structures można obciążyć model siłami skupionymi lub rozłożonymi na długości lub powierzchni elementu, naprężeniami, odkształceniami, ciężarem własnym, polem grawitacyjnym, temperaturą itp.

Określenie warunków początkowych jest istotne w przypadku, gdy model jest poddany obciążeniom zmiennym w czasie. W takim przypadku musi zostać zdefiniowany stan początkowy analizowanej konstrukcji.

Moduł ADINA CFD pozwala na analizę procesów zachodzących w konstrukcjach zawierających przestrzenie wypełnione materiałem ciekłym lub gazem. W celu określenia zależności interakcji między elementami stałymi i płynnymi korzysta się z zakładki „Specjalne warunki brzegowe”. Następujące oddziaływania są możliwe do zdefiniowania dla powierzchni styku płynu z ciałem stałym: konwekcja, radiacja, powierzchnia transparentna, opór termiczny.

Po wygenerowaniu pliku wejściowego należy zapisać wprowadzone dane i uruchomić moduł obliczeniowy. Po ukończeniu obliczeń należy przejść do modułu Post-Processing. Służy on do przedstawienia uzyskanych wyników. W zależności od modułu obliczeniowego – wygenerowane wyniki dotyczą analizy nośności, rozkładu temperaturowego lub przepływu płynów. Dane uzyskane w trakcie obliczeń można zapisywać i eksportować w postaci plików tekstowych a także wykresów. W przypadku analizy zawierającej funkcje czasowe – moduł pozwala na utworzenie pliku video z rozszerzeniem „avi”, obrazującego przebieg analizowanego zjawiska, zachodzącego w czasie.

3. BUDOWA MODELU NUMERYCZNEGO

W oparciu o oprogramowanie ADINA 8.5 zbudowany został model przegrody kolektorowo-akumulacyjnej, zaadoptowanej do południowej elewacji obiektu o konstrukcji wykonanej w technologii lekkiego szkieletu stalowego.

Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego, padające na płaszczyznę pionową, które zostało zarejestrowane podczas pomiarów rzeczywistych zostało przyjęte, jako podstawowe obciążenie dla modelu numerycznego. Wartości obciążenia strumieniem cieplnym poszczególnych powierzchni szyb oraz absorbera zostały wyznaczone na podstawie współczynników absorpcji, odbicia i transmisji podanych przez producenta przeszklenia. Podczas pomiarów wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego zapisywane były z częstotliwością 5 min.

W modelu numerycznym przedziały funkcji czasowej zdefiniowane zostały na poziomie $\Delta t = 1h$. Wartości natężenia promieniowania słonecznego, które posłużyły do obciążenia przegrody obliczono uśredniając pomiary dwunastu odczytów uzyskanych w trakcie każdej godziny. W analizowanym modelu zdefiniowane zostały materiały, z których zbudowana została rzeczywista przegroda: mur z cegły silikatowej, styropian, tynk c-w, wełna mineralna, PCV, szkło, stal konstrukcyjna, argon, powietrze. Parametry określające właściwości fizyczne poszczególnych materiałów przedstawiono poniżej (Tabela 1).

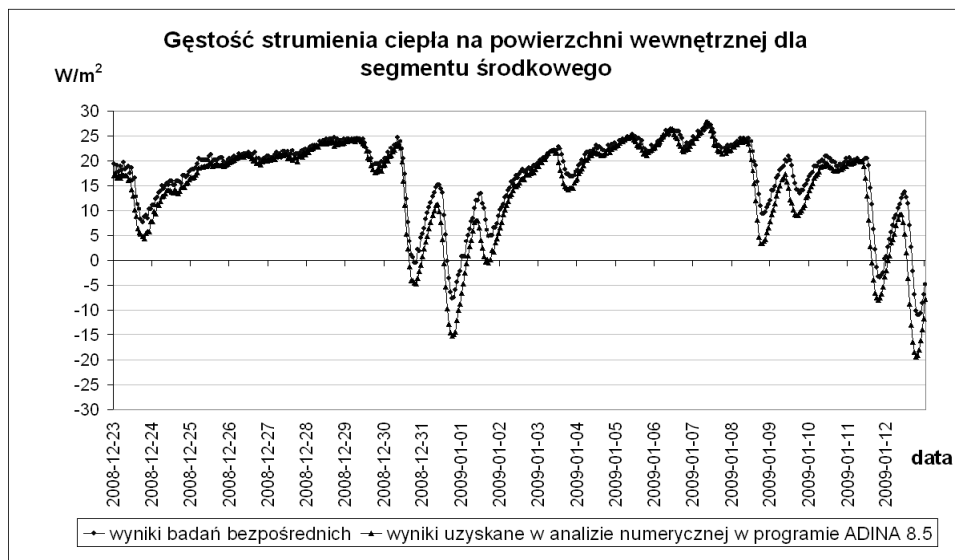
Tabela 1. Właściwości fizyczne materiałów zastosowanych w przegrodzie
Table 1. The physical characteristics of materials applied in the barrier

Materiał	Lepkość	Ciepło Właściwe	Gęstość	Współczynnik Przewodzenia	Współczynnik Rozszerzalności Ciepłej
	[kg/(m·s)]	[J/(kg·K)]	[kg/m ³]	[W/(m·K)]	[1/ K]
mur z cegły silikatowej	-	880	1900	0.800	-
styropian	-	1460	30	0.040	-
tynk c-w	-	840	1850	0.820	-
wełna mineralna	-	750	80	0.045	-
PCV	-	1460	1300	0.200	-
szkło	-	840	2500	0.800	-
stal konstrukcyjna	-	440	7800	58.000	-
argon	2.164 e-05	519	1.669	0.01739	0.003534
powietrze	1.820 e-05	1008	1.232	0.0256	0.003534

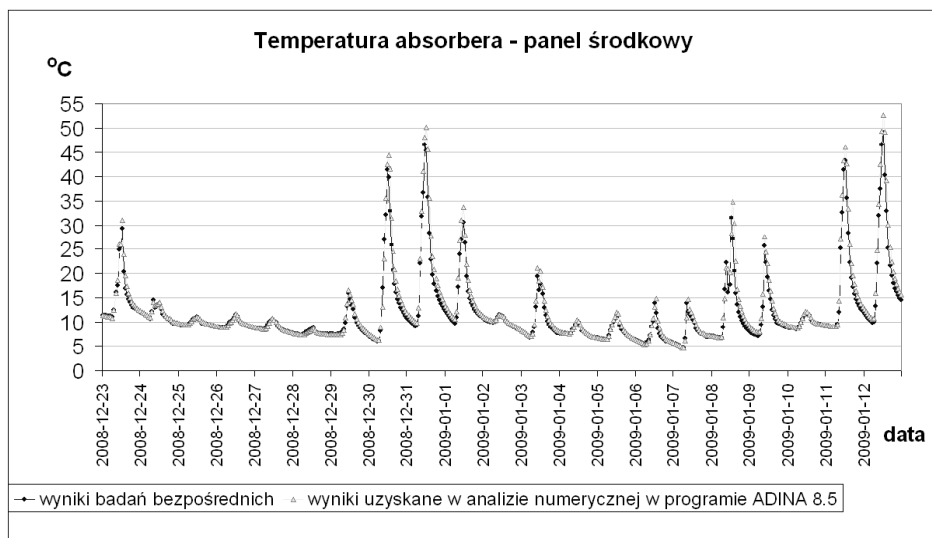
4. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Obliczenia pracy termicznej przegrody przeprowadzono dla okresu 21 dni od godziny 00:00 w dniu 23.12 2008 do godz. 00:00 w dniu 13.01.2009. Porównanie wyników uzyskanych z analizy numerycznej oraz w trakcie badań rzeczywistych (*Rys. 1, Rys. 2*) pokazuje, że metoda symulacji komputerowych daje wartości zbieżne z wynikami badań empirycznych.

Dzięki obliczeniom uzyskano dokładny rozkład temperatur oraz informacje dotyczące wartości i kierunku przepływu strumienia ciepła w przegrodzie dla zadanego okresu czasowego. Symulacja numeryczna procesów cieplnych pozwala na analizę pracy termicznej przegrody bez konieczności jej fizycznego konstruowania, co znacząco redukuje koszty badań oraz skraca ich czas. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można uzyskać rozkład pól temperatur dowolnego elementu składowego analizowanej przegrody w dowolnym punkcie czasowym.



Rys. 1. Gęstość strumienia ciepłego na powierzchni wewnętrznej przegrody w panelu środkowym – porównanie wyników uzyskanych podczas badań rzeczywistych z wynikami analizy numerycznej
 Fig. 1. Density of the heat flow on the internal surface of mass-wall in the central panel - the comparison of results got during real researches with the numeric analysis



Rys. 2. Temperatura absorbera w panelu środkowym – porównanie wyników uzyskanych podczas badań rzeczywistych z wynikami analizy numerycznej
 Fig. 2. Temperature of the absorber in the central panel - the comparison of results got during real researches with the numeric analysis

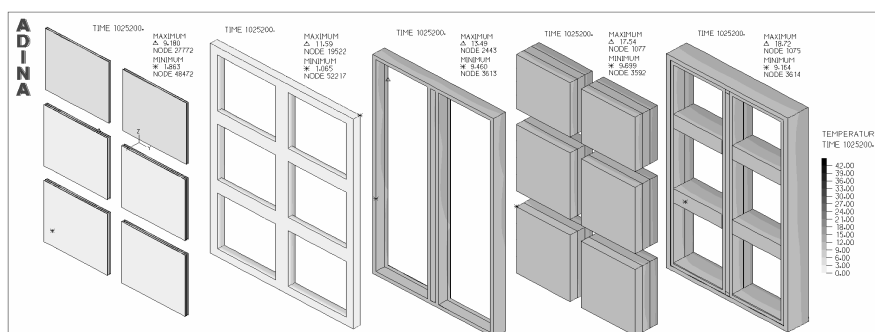
Na ilustracji (Rys. 3.) pokazano graficzny rozkład temperatur w szkielecie stalowym w dniu 23.12.2008 dla godziny 7:00, 13:00 i 19:00. Widoczny jest wpływ promieniowania słonecznego na podniesienie temperatury szkieletu (godz.13:00). Dzieje się tak, ponieważ blacha absorbera styka się bezpośrednio ze szkieletem. Ponieważ stal jest materiałem o bardzo dużej przewodności cieplnej, więc szkielet został odizolowany warstwą styropianu, aby zapobiec powstaniu niekorzystnego mostka termicznego w przegrodzie.



Rys. 3. Graficzny rozkład temperatur w szkielecie stalowym (23.12.2008). Od lewej: dla godz. 7:00, dla godz.13:00, dla godz. 19:00.

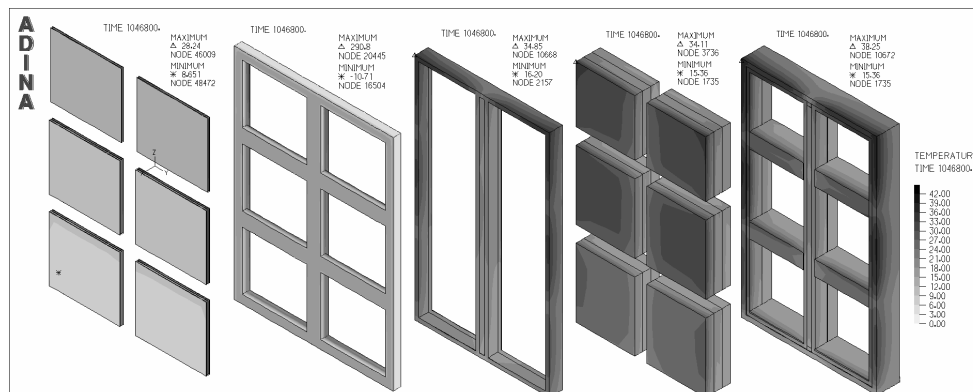
Fig. 3. The graph of temperatures in the steel skeleton (23.12.2008). From the left side: 7:00 a.m., 1:00 p.m., 7:00 p.m.

Istotną zaletą analizy numerycznej jest możliwość porównania zachowania cieplnego składowych części przegrody w trakcie kolejnych kroków czasowych. Taką możliwość daje system grupowania elementów składowych modelu. Na kolejnych ilustracjach (Rys. 4-Rys. 6.) pokazano rozkład temperatur w trakcie doby w poszczególnych częściach składowych modelu: w przeszkleeniu, ramie absorbera, szkielecie stalowym, warstwie akumulacyjnej i warstwie izolacyjnej.



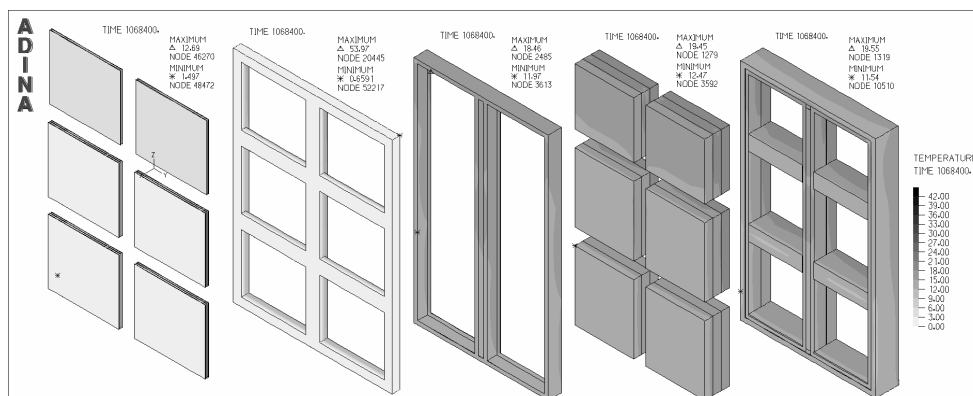
Rys. 4. Graficzny rozkład temperatur w elementach składowych przegrody o godz. 7:00 w dniu 23.12.2008. Od lewej: szyby kolektora, rama kolektora, stelaż stalowy, warstwa akumulacyjna, styropian.

Fig. 4. Graph of temperatures in the component elements of barrier at 7:00 a.m. (23.12.2008). From left side: the glazing of the collector, the frame of the collector, steel skeleton, mass-wall, thermal insulation.



Rys. 5. Graficzny rozkład temperatur w elementach składowych przegrody o godz. 13:00 (23.12.2008).

Fig. 5. Graph of temperatures in the component elements of barrier at 1:00 p.m. (23.12.2008).

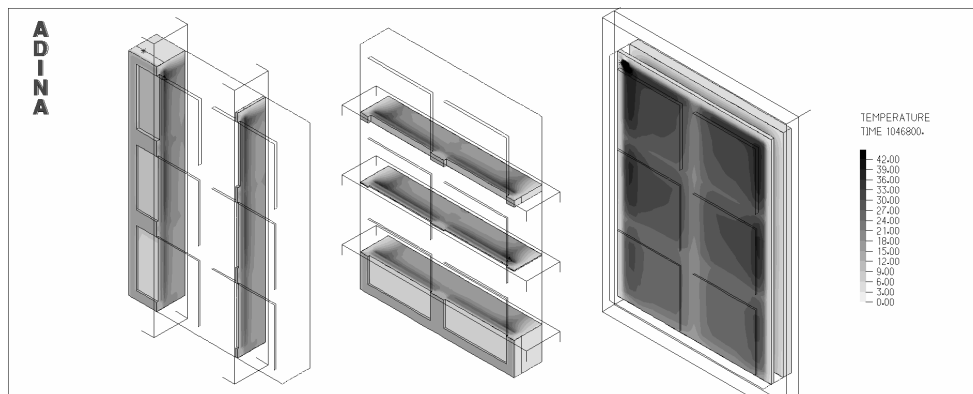


Rys. 6. Graficzny rozkład temperatur w elementach składowych przegrody o godz. 19:00 w dniu 23.12.2008.

Fig. 6. Graph of temperatures in the component elements of barrier at 7:00 p.m. (23.12.2008).

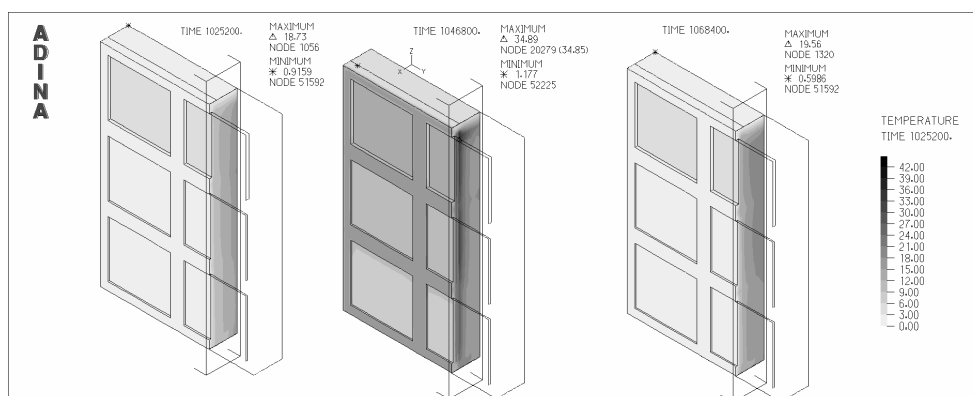
Metoda elementów skończonych (MES) pozwala na uzyskanie dokładnych wyników dla całej analizowanej konstrukcji. Na etapie przygotowania modelu nie musimy dokładnie definiować miejsca w modelu, dla którego chcemy uzyskać wyniki. Jeżeli zajdzie taka potrzeba, możemy podczas analizy wyników uzyskać szukane wielkości w dowolnym przekroju na podstawie interpolacji sąsiadujących elementów. Dokładność uzyskanych wyników będzie uwarunkowana zdefiniowanymi wymiarami poszczególnych elementów.

W zależności od potrzeby można generować jeden lub kilka przekrojów w dowolnych płaszczyznach modelu (Rys. 7). Można również porównać wyniki dla dowolnego przekroju w zależności od chwili czasowej, zawartej w analizowanym przedziale czasowym (Rys. 8).



Rys. 7. Graficzny rozkład temperatur w przegrodzie w przekrojach poziomych i pionowych.

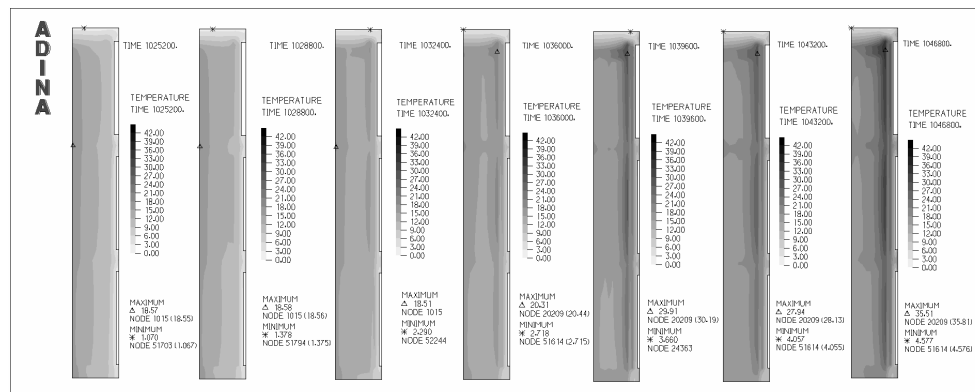
Fig. 7. The graph of temperatures in the barrier in horizontal and perpendicular cross - sections.



Rys. 8. Rozkład temperatur w wybranym przekroju pionowym przegrody w trakcie doby. Od lewej: dla godz. 7:00 dla godz.13:00, dla godz. 19:00.

Fig. 8. Graph of temperatures in the chosen perpendicular section of the barrier during the day.
From the left side: 7:00 a.m., 1:00 p.m., 7:00 p.m.

Symulacja numeryczna daje możliwość analizy procesu nagrzewania przegrody kolektorowo-akumulacyjnej. Na kolejnej ilustracji (Rys. 9.) zostało pokazane graficzne odwzorowanie rozgrzewania się przegrody na skutek działania promieniowania słonecznego – od godz. 7:00 do godz. 13:00 w dniu 23.12.2008. Widać dokładnie, jak z upływem czasu absorber zaczyna się nagrzewać i przekazywać strumień ciepła do wnętrza przegrody. Dolna część przegrody rozgrzewa się zdecydowanie wolniej. Jest to spowodowane tym, że w dolnym segmencie zastosowano przeszklenie o największym oporze cieplnym i najmniejszej transmisyjności, co w znacznym stopniu ogranicza wpływ promieniowania słonecznego na nagrzewanie absorbera. Dodatkowo w pustce powietrznej między absorberem i przeszkleniem ruch konwekcyjny unosi ciepłe powietrze do góry, a chłodne przemieszcza się ku dołowi.



Rys. 9. Graficzna odwzorowanie rozgrzewania się przegrody na skutek działania promieniowania słonecznego – od godz. 7:00 do godz. 13:00.

Fig. 9. The graphic projection of heating of the barrier in the consequence of the working of the solar energy – for 7:00 a.m. to 1:00 p.m.

5. PODSUMOWANIE

Wyniki otrzymane z analizy komputerowej zostały porównane z wynikami uzyskanymi dla przedstawionego przedziału czasowego w trakcie terenowych badań przegrody kolektorowo-akumulacyjnej, zainstalowanej w komorze klimatycznej. Zbieżność uzyskanych wyników jest podstawą do stwierdzenia, że numeryczny model przegrody został zbudowany właściwie.

Numeryczna symulacja procesów termicznych zachodzących w przegrodzie budowlanej może posłużyć do analizy zachowania termicznego tejże przegrody w skrajnie ekstremalnych warunkach. Dzięki takim możliwościom można przewidzieć zachowanie przegrody dla dowolnych, zadanych warunków brzegowych, co w dużym stopniu pozwoli na optymalizację projektowanych konstrukcji oraz ograniczyć powstawanie błędów na etapie projektowania.

THE NUMERIC SIMULATION OF THERMAL PROCESSES HAPPENING IN THE BUILDING BARRIER

SUMMARY

The results of the simulation of thermal processes happening in the building barrier were described in the paper. Software ADINA 8.5 was used in the computer analysis. Procedure and the program possibilities of constructing the model were described. Results got during real researches and computer analysis were compared. The advantages of the numeric simulation were also described in this paper.

Elżbieta MIŚNIAKIEWICZ, dr inż.

Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa
ul. Katowicka 48, 45-061 Opole
e-mail: e.misniakiewicz@po.opole.pl

UTRZYMANIE PRAWDŁOWEGO STANU TECHNICZNEGO OBIEKTÓW SKANSENU

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono stan techniczny spichlerza - jednego z obiektów architektury wiejskiej, usytuowanego na terenie Muzeum Wsi Opolskiej. Podano zakres występowania korozji biologicznej elementów obiektu, a także opisano zniekształcenie bryły budynku, wynikające z poluzowania złączy elementów konstrukcji obiektu. Przedstawiono również proponowane środki zaradcze w zakresie konserwacji spichlerza.

1. WPROWADZENIE

Cechą charakterystyczną skansenów, od strony technicznej jest to, iż znajdujące się w nich obiekty architektury wiejskiej są w większości budowlami wykonanymi z drewna, a więc są narażone na destrukcyjne działanie czynników biologicznych. Również, wystawione w tych obiektach eksponaty etnograficzne w większości są wykonane z drewna.

Stąd podstawowym problemem w zakresie opieki konserwatorskiej obiektów muzealnych jest zapobieganie korozji biologicznej oraz w wielu przypadkach, już niestety – likwidacja jej skutków.

Elementy drewniane są zasiedlane przez ksylofagi (owady żywiące się drewnem) w różnym stopniu zależnym od wielu czynników, między innymi od jakości impregnacji, chemicznego zabezpieczenia drewna przeciw korozji biologicznej. Czas skutecznego zabezpieczenia środkami biobójczymi jest różny, od 5 do 15 lat, a po upływie gwarantowanego czasu skuteczności preparatu od aplikacji, jego toksyczność w stosunku do owadów bądź grzybów maleje [1].

Budowle skansenowskie są poddane działaniu warunków środowiska zewnętrznego, przy czym często się zdarza, iż opady atmosferyczne skutkują zawilgoceniem ele-

mentów konstrukcyjnych w miejscach nieszczelności pokrycia dachowego, co sprzyja rozwojowi grzybów, pleśni, bakterii a także zwiększa ryzyko zaatakowania zawilgoconego drewna przez owady, techniczne szkodniki drewna.

Również między innymi wiek drewna i jego jakość mają wpływ na możliwość zaatakowania przez ksylofagi, np. drewno 75-100 letnie jest rzadko atakowane, a w drewnie 200 letnim wyjątkowo można znaleźć czynne żerowiska owadów. Z kolei jakość drewna budowlanego, z punktu widzenia zasiedlenia przez ksylofagi jest związana z ich wymogami żywieniowymi – chętnie atakują bielastą strefę drewna. Elementy drewniane wykonane z twardzieli są często w dobrym stanie technicznym, z tego względu, iż twardziel zawiera związki toksyczne dla czynników biotycznych takich jak grzyby czy owady [2].

Budowle znajdujące się w skansenach mają za zwyczaj część elementów drewnianych rekonstruowanych, czyli wykonanych z „nowego drewna”, chętnie atakowanego przez ksylofagi, zwłaszcza niezbyt skutecznie zaimpregnowanego środkami biochronnymi lub -gdy już minęła skuteczność działania tych środków. Stąd wykonując przeglądy tych obiektów natrafić można na aktywne jak i nieaktywne żerowiska owadów – technicznych szkodników drewna.

Uwalnianie budowli od owadów stanowi wyzwanie dla służb konserwacyjnych, gdyż drewno może być zaatakowane w różnych miejscach obiektu, a dezynsekcja powinna być przeprowadzona jednocześnie całym obiekcie (często wypełnionym eksponatami muzealnymi również w różnym stopniu zagrożonymi zasiedleniem owadami).

Porażenie grzybami domowymi, pleśniami, bakteriami zawilgoconych elementów drewnianych wymaga doprowadzenia obiektu do prawidłowego stanu technicznego. Przede wszystkim należy zabezpieczyć obiekty przed dalszym zawilgacaniem – uzupełnić lub dokonać wymiany pokrycia dachowego (zazwyczaj jest to pokrycie słomą, trzciną lub gontami), zabezpieczyć przeciw korozji biologicznej oraz – w razie potrzeby – wzmocnić lub wymienić fragment lub cały element drewniany, zwłaszcza - jeśli pełni funkcję konstrukcyjną.

Wśród innych stanów konstrukcji wymagających interwencji jest np. poluzowanie złączy elementów konstrukcyjnych, nadmierne ugięcia belek czy zniekształcenia ścian lub całych obiektów (będące zazwyczaj skutkiem skurczu i pęcznienia elementów lub zniszczenia poszczególnych elementów przez korozję biologiczną).

Naprawa uszkodzonych elementów drewnianych, w zależności od rodzaju podjętych środków zaradczych, takich jak np. uzupełnienie zniszczonych elementów w sposób tradycyjny – nowym fragmentem drewna, lub za pomocą żywic epoksydowych [3], wzmocnienie węzłów konstrukcyjnych „prętami wklejanymi” za pomocą żywic epoksydowych bądź też wzmocnienie elementów drewnianych taśmami węglowymi [4], wiąże się z mniejszymi lub większymi kosztami przeprowadzenia remontu bądź rekonstrukcji. Stąd, przy ciągłych niedostatkach środków finansowych wybór sposobu naprawy zazwyczaj uzależniony jest od sposobu ekspozowania danego fragmentu i od jego wartości muzealnej.

Wszystkie zgromadzone w muzeach etnograficznych obiekty muzealne zasługują na odpowiednie do potrzeb środki finansowe, pozwalające utrzymać je dla przyszłych pokoleń w dobrych warunkach i w prawidłowym stanie. Niepodważalne jest duże

znaczenie skansenowskich zabytków architektury wiejskiej - w zakresie przekazywania dziedzictwa kulturowego i etnograficznego regionu - stanowiących atrakcję turystyczną o walorach dydaktycznych.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono, na podstawie ekspertyzy mykologiczno-konstrukcyjnej (wykonanej rok temu przez autorkę referatu), stan techniczny spichlerza usytuowanego na terenie Muzeum Wsi Opolskiej. Jest to największy spichlerz tego skansenu, przy czym, tak dużych spichlerzy drewnianych jest w kraju tylko kilka. Większy od przedstawianego, spichlerz z I połowy XVIII wieku, z zasobów MWO był usytuowany na terenie Strzelec Opolskich, lecz w 1999 roku spłonął – został podpalony [5].

2. OPIS OGÓLNY OBIEKTU

Drewniany spichlerz ze Sławięc został zrekonstruowany na terenie Muzeum Wsi Opolskiej w 1968 roku (jest jednym z 56 obiektów skansenu). Spichlerz zbożowy, prawdopodobnie z 1610 roku, pochodzi z dawnego kompleksu zabudowań folwarcznych w Sławięcicach, koło Koźła (informacja na podstawie udostępnionej inwentaryzacji obiektu, wykonanej przed jego przeniesieniem na teren MWO). Obiekt zlokalizowany jest w południowo – wschodniej części muzeum, na wprost wejścia głównego.

Budynek spichlerza (rys. 1) jest niepodpiwniczony, dwu piętrowy z poddaszem (drugie piętro znajduje się w obszarze połaci dachowych). Wysokość: kondygnacji parteru, jak i I-go piętra - 2,60 m, II-go piętra - 2,95 m, a wysokość poddasza do kalenicy wynosi 3,06 m. Na granicy kondygnacji wykonano gontowe obdaszenie.

Wymiary główne budynku: szerokość ~ 10,4 m, długość ~ 24,6 m, wysokość od posadowienia belki podwalinowej do kalenicy ~ 11,4 m.



*Rys. 1. Widok spichlerza od strony południowo - zachodniej
Fig. 1. View on the granary from the south - west side*

Od strony frontowej budynku (zachodniej) – wejście schodami drewnianymi znajdującymi się poza obrysem ścian spichlerza. Obiekt posadowiony jest na kamiennej ławie fundamentowej o szerokości 90 cm. Mur fundamentowy został wyprowadzony około 20÷50 cm powyżej przyległego terenu. Ściany drewniane zewnętrzne wykonane są jako

sumikowo – łątkowe, lecz w narożach budynku występują połączenia jak w ścianach zrębowych. Czterospadowy dach typu mansardowego jest z przełomu XVIII-XIX wieku, konstrukcja jętkowa. Pokrycie połaci dachowych gontami drewnianymi. W połaciach dachowych ukształtowane są okna typu „wół oko”. Schody między kondygnacyjne jednobiegowe, drewniane. Podłogi drewniane.

Podczas rekonstrukcji obiektu na terenie skansenu, wymieniono niektóre belki ścian (zniszczone korozją biologiczną). W trakcie eksploatacji dokonywano drobnych remontów obiektu – takich jak flekowanie (uzupełnianie) niektórych elementów drewnianych, zabezpieczanie impregnatem przeciw korozji biologicznej (ostatnie zabezpieczenie wykonano około 10 lat temu).

Budynek jest wyposażony w instalację elektryczną oraz w niezbędne instalacje zabezpieczające go przed zniszczeniem – odgromową i sygnalizacji pożaru.

3. OCENA STANU TECHNICZNEGO SPICHLERZA

Na podstawie przeprowadzonych oględzin spichlerza stwierdzono znaczne zniszczenie korozją biologiczną (około 220 elementów), w zdecydowanej większości spowodowane przez ksylofagi. Porażona została część elementów konstrukcyjnych spośród takich, jak np.: słupy (łątki), słupy środkowe, krokwie, stężenia konstrukcji dachowej, miecze, belki schodów, bale ścian (sumiki).

Występują też znaczne przesunięcia elementów w złączach (rozwarcie w połączeniach elementów konstrukcyjnych dochodzące do 5 cm, a nawet ~ 10 cm w ścianie szczytowej- południowej) oraz są widoczne odchylenia słupów ścian od pionu. Nastąpiła deformacja fragmentów ścian zewnętrznych (nastąpiły wybrzuszenia płaszczyzny ścian na zewnątrz budynku).

Określono odchylenia posadowienia podwalin od poziomu (pomierzone miernikiem laserowym) - są w granicach 1 cm – ten stan może mieć niewielki wpływ na rozluźnienie złączy. Decydujący wpływ na poluzowanie złączy miał natomiast skurcz drewna. Ponieważ spichlerz jest usytuowany w odległości około 70 m od ruchliwej drogi, można przypuszczać, że na poluzowanie złączy miały również wpływ drgania od przejeżdżających, ciężkich samochodów.

Stan techniczny obiektu jest zły i grozi awarią budowlaną. Stan techniczny elementów wykończeniowych, typu pokrycie dachowe oraz podłogi jest zadowalający.

4. IDENTYFIKACJA WYSTĘPUJĄCYCH PORAŻEŃ ELEMENTÓW DREWNIANYCH DOKONANYCH PRZEZ OWADY NISZCZĄCE DREWNO ORAZ PRZEZ GRZYBY PLEŚNIOWE I BAKTERIE

4.1. Porażenia elementów drewnianych dokonane przez owady niszczące drewno

We wcześniejszych latach elementy drewniane zostały impregnowane, między innymi środkami olejowymi (np. powierzchnie zewnętrzne ścian budynku, deski podłogowe).

Drewno konstrukcji obiektu w większości uległo porażeniu owadami w różnym stopniu. Tylko niewielka część elementów obiektu jest porażona owadami w aktywnym stadium rozwoju (stwierdzono występowanie w nich czynnych żerowisk owadów). Dla

większości porażonych elementów zakwalifikowano żerowiska do opuszczonych przez owady.

Na podstawie rozpoznania makroskopowego, stwierdzono porażenie i częściowe zniszczenie elementów konstrukcyjnych obiektu przez owada niszczącego drewno – spuszczela pospolitego (*Hylotrupes bajulus*), a także porażenie w niewielkim stopniu przez kołatka upartego (*Anobium pertinax*).

Nie zaimpregnowane lub też źle zaimpregnowane elementy drewniane po wbudowaniu zostały porażone i częściowo zniszczone, zwłaszcza w obszarze bieli na głębokość 2,5÷3,0 cm (II stopień porażenia) oraz we fragmentach całkowicie zniszczone (III stopień porażenia).

Dotyczy to zwłaszcza elementów „nowych”, wprowadzonych w czasie rekonstrukcji spichlerza. Część elementów obiektu jest porażona na mniejszą głębokość (I stopień porażenia) – także w mniejszym stopniu uległy one zniszczeniu – w takim stanie znajduje się większość elementów.

Makroskopowo rozpoznano gatunki owadów po wyglądzie zewnętrznym zniszczonej struktury drewna, a szczególnie po otworach i żerowisku wypełnionym mączką drzewną oraz ekskrementami owadów, które w zależności od gatunku mają różne kształty.

Poprzez drążenie chodników larwalnych oraz wygryzanie otworów wylotowych ksylofagów drewno jest niszczone, co prowadzi często do znacznego obniżenia wytrzymałości drewna, a nawet do jego całkowitego zniszczenia.

Należy nadmienić, iż niektóre przechowywane w spichlerzu przedmioty muzealne (w chwili obecnej obiekt pełni funkcję magazynową) są również porażone owadami w stadium aktywnym – kołatką domowym (*Anobium punctatum*).

Stwierdzono porażenie w III-cim stopniu oraz konieczność wymiany następujących, z niżej wymienionych, rodzajów elementów konstrukcyjnych: podwaliny, słupy ścian (łątki), belki ścian (sumiki), słupy, krokwie, stężenia, miecze, belki stropowe, belki policzkowe schodów. Należy również wymienić, w niewielkiej ilości, zniszczone deski podłogowe.

Stwierdzono porażenie w III-cim i II-gim stopniu fragmentów elementów konstrukcyjnych, które należy poddać flekowaniu (naprawa poprzez wycięcie zniszczonej części elementu i uzupełnienie zaimpregnowanym fragmentem nowego drewna) lub wykonać tzw. „protezy” (wypełnienie ubytku) za pomocą żywic epoksydowych.

Większość elementów drewnianych należy poddać oczyszczeniu (I stopień porażenia), ewentualnie uzupełnieniu przez flekowanie oraz poddać zabiegowi impregnacji.

4.2. Porażenia elementów drewnianych dokonane przez grzyby pleśniowe i bakterie

Na podstawie wyglądu zniszczonego drewna, określono w sposób makroskopowy porażenie fragmentów elementów drewnianych w niewielu miejscach, przez grzyby pleśniowe oraz bakterie.

W miejscach występowania zawilgocenia elementów drewnianych – fragmenty więźby dachowej, dolna część podwalin oraz fragmenty belek ścian - wystąpiła destrukcja wskutek działania bakterii oraz grzybów pleśniowych.

5. ZALECENIA

Zalecenia dotyczą wymiany lub naprawy elementów konstrukcyjnych (wszystkie wytypowane elementy wyszczególniono w ekspertyzie) oraz zastosowania środków prowadzących do uzyskania zadowalającego stanu technicznego spichlerza.

Do wymiany przewidziano 67 elementów, a do tzw. „flekowania” (usunięcie zniszczonego odcinka elementu i wstawienie nowego fragmentu) przewidziano 70 elementów. Natomiast do oczyszczenia zniszczonego fragmentu elementu oraz jego uzupełnienia w niewielkim zakresie wytypowano 80 elementów. Przedstawiono wykaz naroży, ścian oraz złączy, które uległy deformacji i należy je zabezpieczyć łącznikami stalowymi, klamrami lub ściągami. Wszystkie wyszczególnione w ekspertyzie elementy oraz złącza są ujęte w dokumentacji fotograficznej ekspertyzy.

Przed przystąpieniem do prac związanych z wymianą i naprawą elementów konstrukcyjnych oraz prac impregnacyjnych należy zabezpieczyć obiekt przed dalszym poluzowywaniem połączeń konstrukcyjnych, gdyż może dojść do znacznej awarii budowlanej.

5.1. Zabezpieczenie obiektu stalowymi ściągami oraz łącznikami

Jako ściągi należy zastosować pręty ze stali St0S o średnicy 16 mm, o długościach dostosowanych do rozpiętości między usztywnianymi elementami (np. pomiędzy belkami stropowymi lub słupami). Pręty nagwintowane obustronnie na długości 5÷20 cm. Zamocowanie do elementów drewnianych należy wykonać za pomocą blach gr. 5 mm (przytwierdzonych do ściąganych elementów) i poprzez nakrętki na ściągach. Ściągi łączone ze sobą za pomocą śrub rzymskich.

Ściągi należy wykonać:

- na poziomie belek stropowych każdej kondygnacji i w poziomie podwalin (poniżej poziomu podłogi parteru, którą należy częściowo zdemontować),
- wzdłuż ścian podłużnych i osi podłużnej wyznaczonej przez słupy środkowe oraz wzdłuż ścian szczytowych i w osiach poprzecznych obiektu prowadzonych między słupami środkowymi a łątkami.

Należy również zabezpieczyć gniazda – złącza elementów konstrukcyjnych przed dalszym wysuwaniem elementów ze złącza poprzez zamontowanie pomiędzy nimi stalowych łączników (np. typu BMF), czy wykonanie innego typu klamrowania lub zastosowanie tzw. „prętów wklejanych”.

Przeprowadzanie nawierceń w elementach drewnianych i montaż blach ściągów oraz łączników należy wykonywać w tych obszarach elementów, które nie uległy destrukcji biologicznej. Ponadto nawiercone otwory należy zaimpregnować, stosując owadochronny i owadobójczy preparat do drewna – proponowany *Hylotox Q*.

Prace związane z zabezpieczeniem obiektu ściągami i łącznikami należy prowadzić bardzo ostrożnie, unikając obciążeń dynamicznych i drgań – mając na uwadze stan grożący awarią. Należy je rozpocząć od strony szczytu południowego w poziomie belek stropu nad parterem. Po wykonaniu zabezpieczeń w parterze wykonać ściągi i łączniki na I piętrze, a następnie wyżej. W ostatniej kolejności wykonać ściągi w poziomie podwalin.

5.2. Prace związane z wymianą lub naprawą podwalin

Prace te należy prowadzić odcinkami, zabezpieczając ścianę poprzez przekazywanie obciążeń na podnośniki (np. korbowe) ustawiane na stabilnym podłożu po obu stronach ściany. Należy przy tym zabezpieczyć pozostałe elementy konstrukcyjne, znajdujące się w bezpośrednim pobliżu wymienianego fragmentu podwaliny poprzez stemplowanie (stemple rozporowe z rur stalowych ustawiane na sztywnym podkładzie).

Zniszczone drewno należy usuwać odcinkami, po czym należy wymienić na danym odcinku fundamentu zniszczoną izolację z papy na nową izolację przeciwwilgociową (np. *Superflex D2* lub *Superflex 100* lub *Plastikol UDM2S*).

Dopiero po związaniu warstwy izolacji (okres zgodny z zaleceniami producenta) można ułożyć nowe fragmenty podwalin.

5.3. Wymiana lub naprawa zniszczonych elementów konstrukcyjnych

Zanim podjęte zostaną prace związane z wymianą bądź naprawą (flekowaniem) elementu, należy wszystkie elementy konstrukcyjne znajdujące się w pobliżu zabezpieczyć przed wysunięciem się z gniazd i możliwością uszkodzenia.

Stemplowanie elementów kondygnacji parteru i na wyższych kondygnacjach, należy prowadzić od poziomu terenu.

Wszystkie wycięte fragmenty w istniejących elementach i pozostających w obiekcie należy zaimpregnować przez smarowanie środkiem przeciw korozji biologicznej. Nowe elementy drewniane wbudowywane w obiekt proponuje się zaimpregnować metodą kąpieli. Wszystkie elementy drewniane nowo wmontowywane w obiekt powinny być w stanie powietrzno – suchym oraz zaimpregnowane. Dodatkowo proponuje się, w sporadycznie występujących miejscach aktywnych żerowisk owadów, dezynsekcję poprzez wstrzykiwanie środka biobójczego *Hylotox Q* do otworów wylotowych. Fumigacja tak dużego obiektu raczej nie jest wskazana, tym bardziej, iż aktywnych żerowisk jest tylko kilka.

W trakcie dopasowywania elementów należy zwrócić uwagę na wypionowanie narożników ścian budynku oraz doprowadzenie do pionu słupów. Odkształconą ścianę należy wyprostować przez czasowe zastosowanie obustronnych kleszczy drewnianych, ściąganych śrubami.

Elementy konstrukcyjne, w których zostanie wymieniony fragment lub wykonane będzie uzupełnienie (flekowanie) – należy zabezpieczyć dodatkowo łącznikami stalowymi np. BMF, łączącymi nowy fragment drewna z rekonstruowanym elementem konstrukcyjnym.

5.4. Inne prace do wykonania w remontowanym obiekcie

Należy wymienić zniszczone przez korozję biologiczną (nieliczne) deski podłogowe oraz belki policzkowe schodów na II piętro. Naprawić, wzmocnić, uzupełnić balustrady przy schodach między kondygnacyjnych.

Zniszczone korozją biologiczną fragmenty drewnianych elementów konstrukcyjnych należy usunąć do zdrowego, nie porażonego drewna i w przypadku spełnienia wymagań wytrzymałościowych zmniejszonego przekroju elementu, po oczyszczeniu szczotkami stalowymi zabezpieczyć preparatem impregnacyjnym.

Drewno po zaimpregnowaniu nie powinno być poddawane dalszej obróbce. W razie wykonania dodatkowych zaciosów lub nawierceń miejsca takie powinny być doimpregnowane, np. posmarowane. Zaleca się, aby drewno budowlane zostało najpierw stosownie przycięte i obrobione, wstępnie zaimpregnowane, a po odparowaniu rozpuszczalników i przesuszeniu do wymaganego poziomu wilgotności zastosowane w miejscu przeznaczenia. Jako zabezpieczenie impregnacyjne przed biokorozją można zastosować do elementów wewnątrz obiektu preparat *Penetrin*, a do elementów zewnętrznych - *Altaxin Q*.

Zabezpieczenie impregnacyjne powinno być powtórzone przed upływem gwarantowanego czasu skuteczności środka, zgodnie z zaleceniami producenta środka impregnacyjnego.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony w referacie spichlerz, drewniany, jak większość obiektów muzealnych prezentowanych w skansenach, narażony jest na destrukcyjne działanie czynników biologicznych. Większy problem stanowi jednak stan przed awaryjny, wynikający z poluzowania złączy elementów konstrukcyjnych obiektu. Konieczne jest jak najszybsze jego wzmocnienie i naprawa, których zakres został przedstawiony.

7. LITERATURA

- [1] Kozarski P.; Konserwacja domu, Polskie Stowarzyszenie Mykologów Budownictwa, Wrocław 1997,
- [2] Ważny J., Karyś J.; Ochrona budynków przed korozją biologiczną, Praca zbiorowa, Arkady, Warszawa 2001,
- [3] Rudziński L.; Naprawy i wzmocnienia konstrukcji drewnianych, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2000,
- [4] Jasieńko J.; Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmacnianiu zabytkowych konstrukcji drewnianych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003,
- [5] Wijas - Grochowska E.; Spalony drewniany spichlerz podworski ze Strzelec Opolskich, Śląskie Wieści Krajoznawcze, Biuletyn Opolskiego Klubu Krajoznawców, Kwiecień 2000.

MAINTAIN PROPER TECHNICAL CONDITION OF WOODEN OBJECTS OPEN – AIR MUSEUM OF RURAL ARCHITECTURE

SUMMARY

This paper presents technical condition the granary – one of the objects rural architecture, situated in the Opole Open – Air Museum of Rural Architecture. Illustrate the scope of biological corrosion elements of the objects and described distortion of the building resulting from the loosening of joints of structure elements of the object. Also presented the proposed remedies for maintenance of granary.

Witold NIEMIEC, dr hab. inż.;
Feliks STACHOWICZ, prof. dr hab. inż.;
Mariusz SZEWCZYK, dr inż.;
Tomasz TRZEPIECIŃSKI, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód; Katedra Przeróbki Plastycznej;
Katedra Termodynamiki;
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: wniemiec@prz.edu.pl; stafel@prz.edu.pl; szewmar@prz.edu.pl;
tomtrz@prz.edu.pl

ANALIZA MOŻLIWOŚCI KOMPLEKSOWEGO WYKORZYSTANIA OZE W GOSPODARSTWIE AGROTURYSTYCZNYM

STRESZCZENIE

Właściwości różnych rodzajów energii odnawialnej jako źródeł energii dla całkowicie samowystarczalnego gospodarstwa agroturystycznego powodują, że w takim przypadku najbardziej odpowiednie okazują się kogeneracyjne technologie biomasowe. Szczególnie interesujące dla przedsięwzięć w takiej skali są rozwiązania oparte na kotle bezpośredniego spalania sprzężonym z silnikiem Stirlinga; paliwo to zrębki lub pelety. Produkcja biomasy drzewnej na własne potrzeby w gospodarstwie o niewielkim areale wymaga zastosowania urządzeń agrotechnicznych dostosowanych do skali produkcji. Rozwiązania techniczne takich urządzeń zostały opracowane i opatentowane w Politechnice Rzeszowskiej, a ich działanie wraz z biomasowym układem kogeneracyjnym z silnikiem Stirlinga będzie testowane we współpracy z Lwowskim Państwowym Uniwersytetem Rolniczym w ramach „Programu Współpracy Transgranicznej Polska – Białoruś – Ukraina 2007 – 2013,” w projekcie pt. „Bio-Energetyka”.

1. WPROWADZENIE

Realizacja zalecenia UE w zakresie zwiększania udziału OZE w bilansie wykorzystania energii w państwach członkowskich, w przypadku Polski oznacza osiągnięcie poziomu 15% do 2020 roku. Tradycyjne źródło energii zawartej w drewnie aktywowane jest najczęściej poprzez pozyskiwanie ciepła albo zamianę nośnika energii w procesie zgazowania lub pirolizy. W przypadku pozyskiwania energii dla potrzeb gospodarstw agroturystycznych w dotychczasowej praktyce ciepło uzyskiwane jest najczęściej w pro-

cesach spalania drewna w piecach lub rzadziej w specjalnych konstrukcjach pieców z wykorzystaniem procesu zgazowania a następnie spalania otrzymanego gazu. Realizowana polityka gospodarki energią ze wrastającym udziałem OZE, dobrze wpisuje się w potrzeby i możliwości tanich sposobów zaopatrzenia w ciepło gospodarstw indywidualnych oddalonych od możliwości zaopatrywania się w energię ze zbiorczych źródeł jak to ma miejsce np. w miastach.

Zdaniem autorów, pod określeniem kompleksowe wykorzystanie OZE w gospodarstwach agroturystycznych, należy rozumieć sytuacje występujące w konkretnych przypadkach w terenie w warunkach sprzyjających do uzyskania różnych postaci energii z kilku źródeł zaliczanych do OZE, np. biomasy, słońca, wody, wiatru, energii termicznej otoczenia, wyjątkowo - zasobów geotermalnych lub gazu wyprodukowanego w procesie fermentacji metanowej biomasy. Politechnika Rzeszowska od kilku lat prezentuje rozwiązania konstrukcyjne środków technicznych do produkcji, i przerobu biomasy zdrewniałych części roślin, z wykorzystaniem niebezpiecznych odpadów (komunalne osady ściekowe), jako nawozu na zakładanych plantacjach.

2. ANALIZA MOŻLIWYCH SPOSOBÓW ZAOPATRZENIA W ENERGIĘ

Rozpatrując efektywność zastosowania odnawialnych źródeł energii w gospodarstwie agroturystycznym przyjąć należy kilka założeń. Przede wszystkim odnośnie wielkości gospodarstwa, a w konsekwencji zapotrzebowania na energię oraz stopnia dostępności do tradycyjnych źródeł i nośników energii. Z punktu widzenia możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii najciekawszy jest przypadek, wynikający z przyczyn lokalizacyjnych lub założeń ekologicznych, braku dostępu do tradycyjnych nośników energii bezpośredniej, w szczególności sieciowych. Prowadzić to może do konieczności zapewnienia samowystarczalności energetycznej tak pod względem dostaw energii elektrycznej jak i energii cieplnej. Gospodarstwo agroturystyczne różnić się będzie od gospodarstwa tradycyjnego jedynie innym podziałem zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą. W pierwszym przypadku spodziewać się można wyższego udziału energii cieplnej w bilansie energii użytkowej.

Dla gospodarstwa samowystarczального energetycznie, podstawowe źródło energii powinno charakteryzować się przede wszystkim:

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

Rozważania nad przydatnością poszczególnych rodzajów energii odnawialnej dla potrzeb takiego gospodarstwa rozpocząć można od źródeł odnawialnych mających postać

energii termicznej: energii geotermalnej i energii termicznej otoczenia. W obydwu przypadkach parametrem dyskwalifikującym jest niska lub zerowa wartość egzergii.

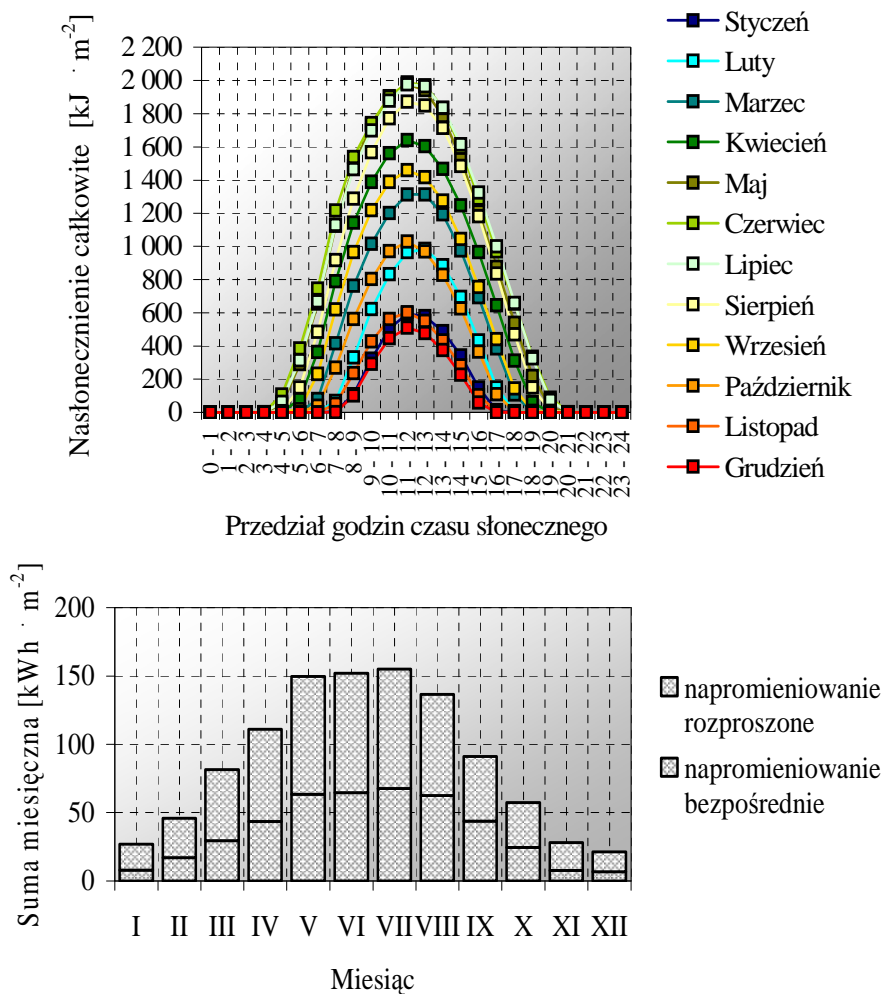
Energia termiczna otoczenia pobierana z gruntu, wód powierzchniowych lub gruntowych i powietrza charakteryzuje się praktycznie zerową wartością egzergii. Może być wykorzystana jedynie jako pomocnicze źródło energii cieplnej, która przy wykorzystaniu pomp ciepła napędzanych dostarczoną przez inne urządzenia energią mechaniczną lub wysokotemperaturową energią termiczną, zostanie przetworzona w niskotemperaturową energię cieplną wykorzystywaną w systemach co i cwu. Podstawą systemu musi być jednak wysokoegzergetyczne źródło energii odnawialnej oraz urządzenie przetwarzające energię zeń pochodzącą w energię elektryczną.

Energia geotermalna może być oczywiście wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej, ale jej źródło musi posiadać odpowiednio wysoką temperaturę, a w konsekwencji egzergię na tyle wysoką, aby sprawność wytwarzania energii elektrycznej osiągała sensowne wartości. Pojęcie „sensowne wartości” oznacza, że za minimalną wartość temperatury źródła geotermalnego, przy której może ono posłużyć do zasilania elektrowni geotermalnej, przyjmowane są przez różnych autorów temperatury z zakresu od 120 do 180°C. Na terenie Podkarpacia oraz całej Polski, temperatura złóż osiąga wartość wyższą od 120°C znacznie poniżej 3 km [1-2], co ze względów ekonomicznych praktycznie uniemożliwia powstanie tego typu instalacji. Ponadto wykorzystywanie energii geotermalnej w tak małej skali jest całkowicie nieuzasadnione ekonomicznie.

Równie powszechnym i nieograniczonym dostępem jak w przypadku energii termicznej otoczenia charakteryzuje się energia promieniowania słonecznego i energia wiatru. Obie energie w przypadku wykorzystywania do produkcji energii elektrycznej charakteryzują się jednak niewielką dyspozycyjnością zarówno w sensie dostępności energii w wymaganej ilości i postaci, jak i w sensie wykorzystania zainstalowanej mocy, zatem wymagają układu akumulacyjnego o znacznej pojemności. Zmienność dostępności promieniowania słonecznego jest co prawda bardziej przewidywalna, ale jak pokazano na rys. 1 charakteryzuje się znacznymi wartościami zarówno w cyklu dziennym jak i sezonowym. Niektóre systemy realizujące wysokotemperaturową konwersję fototermiczną promieniowania słonecznego w celu jej przetworzenia na energię elektryczną charakteryzują się już dyspozycyjnością podobną jak w układach opartych na nośnikach energii chemicznej. Są to jednak układy o znacznie większej skali i wymagają nasłonecznienia rocznego rzędu 2,5 kWh/m² i to prawie w całości w postaci promieniowania bezpośredniego, co jak widać na rys. 1. na terenie Podkarpacia jest niemożliwe. W przypadku energii wiatru zmienność, zarówno dzienna jak i sezonowa, wartości dostępnej energii są mniejsze. Bardzo niska dyspozycyjność energii promieniowania słonecznego w równym stopniu jak w przypadku produkcji energii elektrycznej, praktycznie uniemożliwia wykorzystywanie energii promieniowania słonecznego jako jedyne źródła energii cieplnej.

Proponowane i dostępne komercyjnie rozwiązania łączące w jeden układ urządzenia przetwarzające na energię elektryczną energię promieniowania słonecznego i energię wiatru, pozwalają w oparciu o sentencję „jak nie świeci to wieje”, zwiększyć dyspozycyjność takiego układu oraz zmniejszyć układ akumulacyjny. Rozwiązanie to choć skuteczne przez większą część roku, zawodzi w okresie kilku miesięcy na przełomie roku

kiedy to bezwietrznym układom wyżowym towarzyszy całkowite zachmurzenie powodowane przez straty lub stratocumulusy.



Rys. 1. Nastonecznienie – warunki średnie dla Podkarpacia; wykres górny - sumy godzinne promieniowania całkowitego, wykres dolny – sumy miesięczne promieniowania w rozbiciu na promieniowanie bezpośrednie i rozproszone [1].

Fig. 1. Average insolation at Podkarpacie; the upper graph - hour total insolation, the lower graph - month insolation in the break on the direct and diffuse radiation.

Zdecydowanie lepsze właściwości posiada energia cieków wodnych. Można ją bowiem z dużą sprawnością i w stosunkowo małych urządzeniach przetwarzać na energię elektryczną. Konieczny jest jedynie ciągły przepływ wody o odpowiedniej ilości. Skojarzenie małej elektrowni wodnej ze sprężarkową pompą ciepła pozwala na pełne

zaspokojenie potrzeb energetycznych gospodarstwa. Problem z powszechnym stosowaniem takiego rozwiązania polega na tym, że w stosunkowo suchym i nizinnym kraju niewiele gospodarstw posiada dostęp do odpowiedniego cieku i warunki do jego spiętrzenia.

Trudności z dostępnością źródła energii są zdecydowanie mniejsze w przypadku energii biomasy. W zasadzie cały obszar Polski posiada warunki do produkcji biomasy, a zatem każde gospodarstwo posiadające dostateczny areal może zapewnić sobie niezbędną ilość energii w postaci energii chemicznej zgromadzonej w biomasie. Pierwszym etapem przetworzenia energii chemicznej jest, analogicznie jak w przypadku nieodnawialnych paliw chemicznych, proces spalania przekształcający ją w wysokotemperaturową energię termiczną. Może ona być bezpośrednio wykorzystywana tylko w tej postaci, ale dzięki wysokiej energii może zostać również z zadawalającą sprawnością przekształcona w energię elektryczną umożliwiając kogeneracyjne wytwarzanie energii elektrycznej i termicznej. Takie rozwiązanie jest możliwe, ponieważ biomasa jak zdecydowana większość nośników energii chemicznej, posiada bardzo dobre właściwości magazynowania co gwarantuje wysoką dyspozycyjność układów energetycznych opartych na biomasie.

Technologie kogeneracyjnego wykorzystywania energii biomasy, takie jak: fermentacja beztlenowa i spalanie biogazu w silniku spalania wewnętrznego, rozkład termiczny i wykorzystanie gazu syntezowego do napędu silnika wewnętrznego lub zewnętrznego spalania, bezpośrednie spalanie biomasy i wykorzystanie uzyskanej energii termicznej do napędu silnika zewnętrznego spalania na szczególną uwagę zasługuje ostatnie rozwiązanie. Charakteryzuje się ono bowiem bardzo dobrą skalowalnością szczególnie w stronę instalacji małych, prostotą rozwiązania układu transformacji energii chemicznej na termiczną, możliwością prawie całkowitej automatyzacji procesu oraz wysokim rezerwowem wszystkich elementów układu.

Rozwój konstrukcji silników Stirlinga, które w wersji bezkorbowej z prądnicami liniowymi charakteryzują się sprawnością przewyższającą 20 % i okresami bezobsługowej pracy wynoszącej 20 i więcej lat, pozwala na prognozowanie sukcesu tej technologii w układach kogeneracyjnych zasilanych biomasą, szczególnie w obszarze małych mocy. Szeroki przegląd rozwiązań układów energetycznych wykorzystujących silniki Stirlinga, również w układach bimasowych, badanych i przygotowywanych do komercyjnej sprzedaży lub będących już w komercyjnej sprzedaży, przedstawiono np. w publikacji [3].

Analizę powyższą można uznać za trywialną, ale nie jest na pewno nieprawdziwa, podczas gdy w przypadku wielu wypowiedzi, w tym również w prasie fachowej pomija się często fakt, iż każdy z rodzajów energii odnawialnej posiada specyficzne właściwości ograniczające jej użyteczność. Natomiast pomijanie optymalizacji działań w kontekście kosztu ekonomicznego z uwzględnianiem czy bez uwzględniania kosztów środowiskowych oraz w kontekście kosztu materiałowego, dopuszczalne w zakresie badań technologii, nie powinno mieć miejsca w zakresie analizy ich zastosowań.

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

3. TECHNOLOGIA PRODUKCJI ROŚLIN ENERGETYCZNYCH

Racjonalne wykorzystanie biomasy o zdrewniałych pędach, np. wierzba, rozpoczyna się w momencie zakładania plantacji. Sadząc rośliny należy mieć na uwadze problem ich zbioru i ostatecznego wykorzystania tak, by cały proces eksploatacji plantacji był opłacalny. Opracowana w Politechnice Rzeszowskiej technologia zakładania plantacji roślin energetycznych, pozyskania plonu i jego obróbki z wykorzystaniem komunalnych osadów ściekowych, bazuje na specjalistycznych maszynach zaprojektowanych i zastrzeżonych patentami oraz wzorami użytkowymi. Charakterystyczną cechą wspólną zaproponowanych rozwiązań jest dostosowanie ich dla potrzeb agrotechnicznych niewielkich gospodarstw południowej Polski. Proponowane środki techniczne są również atrakcyjne cenowo. Postęp w rozwoju technologii jest opisywany sukcesywnie w publikacjach [4-8]; dotychczasowe kluczowe osiągnięcia w budowaniu technologii, przedstawiono w tabeli 1.

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

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

Rodzaj operacji	Miejsce i sposób wykonania czynności	Uwarunkowania prawne
Obróbka osadu: -stabilizacja -zagęszczanie -higienizacja	Oczyszczalnia ścieków	Realizowana w oczyszczalni technologia oczyszczania ścieków
Transport osadów na użytki rolnicze	Drogi: - publiczne - prywatne	Prawo o Ruchu Drogowym, Kodeks Drogowy
Dawkowanie nawozów pod zakładaną plantację	Przygotowanie i nawożenie użytków rolnych: - powierzchniowe - iniekcyjne [9, 10]	Ustawy, rozporządzenia, Dobra praktyka rolnicza
Badanie oddziaływania na ludzi i środowisko przyrodnicze	Elementy ekosystemu badane w otoczeniu założonej plantacji: - gleby - wody [11]	Ustawy, rozporządzenia, decyzje
Produkcja i przechowywanie zrzeczów	Teren gospodarstwa [12]	Warunki BHP oraz wymogi przechowywania sadzonek
Sadzenie, sianie	Areale uprawne	Dobra praktyka rolnicza i wymogi żywieniowe roślin
Pielęgnacja i ochrona plantacji	Areale uprawne, praca: - ręczna - mechaniczna	Program ochrony i pielęgnacji zgodny z dobrą praktyką rolniczą
Zbiór wyprodukowanej biomasy	Na plantacji: - ręczny - mechaniczny [13]	Zgodnie z celem zagospodarowania
Wstępna obróbka zebranej biomasy	Na plantacji lub w jej pobliżu: - ręczna - mechaniczna [14]	Zgodnie z celem zagospodarowania

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

Tanie źródła energii do praktycznego i samodzielnego wykorzystania są poszukiwane w całym świecie. Przykładem w tym zakresie może być działalność gospodarcza związana z agroturystyką, którą interesują się niewielkie gospodarstwa rolne, celem poprawienia swojej kondycji finansowej. Posiadanie własnych areałów upraw przy wzrastających problemach związanych ze sprzedażą plonów oraz możliwościami uzyskania dopłat do produkcji roślin energetycznych, zainteresowanie energetycznym wykorzystaniem drewna wyprodukowanego we własnym gospodarstwie, wzmacniają. Ekonomicznie uzasadniona produkcja oraz wykorzystanie we własnym gospodarstwie roślin energetycznych, obwarowane jest wieloma aspektami. Istotne czynniki to:

1. wielkość oraz charakterystyka posiadanych areałów,
2. zdolność gospodarstwa do finansowania nowych rozwiązań technicznych,
3. wielkość zapotrzebowania na energię cieplną w gospodarstwie, szczególnie w okresach konieczności ogrzewania pomieszczeń.

Ad.1. Wydajność produkcji roślin energetycznych uwarunkowana jest zastosowaną agrotechniką, a zatem jakością i kolejnością wykonywanych zabiegów przy uprawie roli i pielęgnacji roślin w celu uzyskania obfitych plonów wysokiej jakości. Właściwości fizyko-chemiczne gleb, ich skład mechaniczny, hipsografia terenu, warunki klimatyczne i budowa hydrogeologiczna, to podstawowa wiedza o przydatności areału do produkcji rolniczej. Charakterystyka komunalnych osadów oraz zgodne z rozporządzeniem [15] i ustaw [16, 17, 18] ich wykorzystanie, to warunki stosowania tego niebezpiecznego odpadu w uprawach roślin energetycznych.

Ad. 2. Zdolność finansowa gospodarstwa to warunek niezbędny aktywności gospodarczej. Ułatwieniem mogą być: dotacje, ulgi i inne formy finansowego wsparcia, uzależnione od aktualnej polityki prowadzonej w UE.

Ad. 3. Pod uwagę należy brać dostępne w okolicy różnorodne źródła energii. Wybór pozornie duży, w praktyce znacznie ograniczony i sprowadzający się do wykorzystania energii słońca w ograniczonych przyrodniczo terminach, energii wiatru, przepływającej wody i biomasy najczęściej drewna lub słomy.

4. IMPLEMENTACJA PROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA

Implementacja proponowanego sposobu wykorzystania biomasy w celu zaspokojenia potrzeb energetycznych samowystarczalnego energetycznie gospodarstwa agroturystycznego, wymaga przeprowadzenia specjalistycznych badań Środków technicznych zastosowanych w urządzeniach do produkcji i przerobu biomasy drzewnej oraz biomasowym układzie kogeneracyjnym z silnikiem Stirlinga. Drewno pozyskiwane z plantacji charakteryzuje się wysoką zawartością wilgoci i wymaga podsuszania w zadaszonym magazynie, do którego to procesu można wykorzystać energię promieniowania słonecznego.

Prezentowany zakres badań realizowany będzie w Międzyuczelnianym Wielofunkcyjnym Lotniczym Laboratorium Naukowo-Badawczym Politechniki Rzeszowskiej w Akademickim Ośrodku Szybowcowym Politechniki Rzeszowskiej w Bezmiechowej Górnej. Działania w tym zakresie realizowane będą we współpracy z Lwowskim Państwo-

wym Uniwersytetem Rolniczym w ramach „Programu Współpracy Transgranicznej Polska – Białoruś – Ukraina 2007 – 2013” w projekcie „Bio-Energetyka”.

Uzupełnienie referatu stanowią materiały graficzne.

5. LITERATURA

- [1] Baza Danych Odnawialnych Źródeł Energii Województwa Podkarpackiego; <http://www.baza-oze.pl/>.
- [2] Sokołowski J.; Ocena zasobów energii geotermalnej pod miastem Rzeszów i propozycja prawidłowego ich wykorzystania; Polgeotermia sp. z o. o., Kraków-Rzeszów, 2002.
- [3] Stirling Engine Assessment – final report; Electric Power Research Institute, Inc., Palo Alto, 2002.
- [4] Niemiec W., Zamorska J.; Zarys technologii zagospodarowania niebezpiecznych odpadów organicznych; Ekologia i Technika Vol. XIV, nr 6, 224-228, (2006).
- [5] Niemiec W.; Nowe maszyny do utylizacji osadów ściekowych i innych odpadów organicznych w uprawach roślin energetycznych; Ekologia i Technika Vol. XV, nr 5, 168-172, (2007).
- [6] Niemiec W., Zamorska J.; Poprawianie własności osadów ściekowych i środki do ich wykorzystania w uprawie roślin energetycznych; Vol. XVI, nr 2, 64-68, (2008).
- [7] Niemiec W., Sobolewska P.; Technologia produkcji roślin energetycznych z wykorzystaniem komunalnych osadów ściekowych; II Konferencja Solina 2008 Energia odnawialna. Innowacyjne Rozwiązania Materiały i Technologie dla Budownictwa, Zeszyty Naukowe PRz, nr 252, (281-286), Rzeszów, 2008.
- [8] Niemiec W.; Wybrane problemy upraw roślin energetycznych na małych plantacjach; Nowa Energia, (71-74), nr 1, 2008.
- [9] Niemiec W., Puchała J.; Urządzenie do wprowadzania cieczy pod powierzchnię gleb i łąk; Wzór użytkowy Nr 58336.
- [10] Niemiec W.; Urządzenie do iniekcyjnego dawkowania do gleby sypkich nawozów organicznych i mineralnych; Zgłoszenie patentowe Nr 382062.(2007 r.).
- [11] Niemiec W.; Urządzenie do zbierania i pomiaru infiltrującej wody w warunkach polowych; Wzór użytkowy, zgłoszenie W 116896, (2007 r.).
- [12] Niemiec W. i inni; Urządzenie do produkcji zrzesów; P 384427 (2008).
- [13] Niemiec W. i inni; Kosiarka do drzewiastych roślin; P- 386842 33%.
- [14] Niemiec W. i inni; Sieczkarnia do drewna; Wzór użytkowy Nr W 116926. (2007 r.)
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 1.08.2002, w sprawie komunalnych osadów ściekowych; Dz.U. Nr 134, poz. 1140.
- [16] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dn. 27.04.2001. Dz.U. Nr62.poz 627. z późniejszymi zmianami
- [17] Ustawa o odpadach z dn. 27.04.2001r. Dz.U. Nr 62, poz. 62.
- [18] Ustawa prawo wodne z dn. 18.07.2001 Dz.U. Nr 115, poz. 1229.

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF THE COMPLEX RES UTILIZATION IN THE AGRICULTURAL TOURISM FARM

SUMMARY

Properties of different kinds of the renewable energy as sources of energy for the completely self-sufficient agricultural tourism farm cause that in a such case cogeneration biomass technologies seem to be the most suitable. Especially interesting for undertakings in such scale are CHP based on the direct combustion furnace with the Stirling engine supplied with pellets or wooden chips. The production of the wood-biomass on own needs in the small farm requires agricultural devices adapted to that scale of the production. Technical solutions of such devices were worked out and patented in Rzeszów University of Technology, and they are to be wide-tested together with the biomass CHP system with the Stirling engine in cooperation with Lvov State Agricultural University within the framework of „The Program of the Transborder Cooperation Poland - Byelorussia - Ukraine 2007-2013” in the project entitled „Bioenergetics”.

Tadeusz NOCH, doc.

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

PROBLEMATYKA WSPÓŁPRACY POMP CIEPŁA Z SIECIĄ CIEPŁOWNICZĄ

STRESZCZENIE

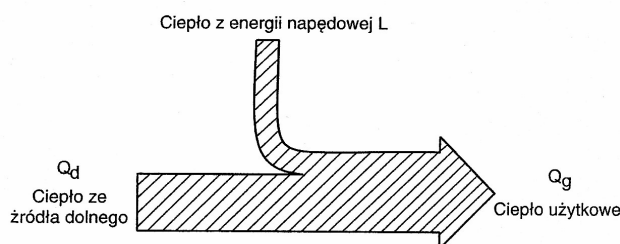
W pracy przedstawiono problematykę współpracy pomp ciepła z siecią ciepłowniczą. Uwzględniono przeprowadzone badania w tym zakresie dla obiektu zlokalizowanego w pierwszej strefie klimatycznej. Scharakteryzowano przyjęte warianty obliczeniowe wskaźników eksploatacyjnych z dokonanych badań. Przeprowadzono analizę wariantów obliczeniowych wskaźników eksploatacyjnych. Analizowane zagadnienie pokazano w ujęciu tabelarycznym i graficznym. Wskazano na możliwość zastosowania optymalnego wariantu obliczeniowego do współpracy pomp ciepła z siecią ciepłowniczą.

1. WPROWADZENIE

Pompy ciepła stosowane są powszechnie na całym świecie. W Europie największą popularność zyskały w krajach skandynawskich, głównie w Szwecji, oraz w Niemczech [1, 2]. Na świecie zainstalowanych jest około 60 mln pomp ciepła (dane szacunkowe). Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) realizuje program rozwoju nowoczesnych, wysoko sprawnych pomp ciepła. Głównym jej celem jest doprowadzenie do sytuacji, gdzie pompy ciepła będą podstawowymi urządzeniami grzewczymi, stosowanymi w systemach ogrzewania, chłodzenia i klimatyzacji. Jest to zadanie do realizacji w ciągu najbliższych trzydziestu lat.

Pompa ciepła jest urządzeniem umożliwiającym wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł energii. Rolą jej jest pobieranie ciepła ze źródła (dolnego) o niższej temperaturze i przekazywanie go do źródła (górnego) o temperaturze wyższej. Do realizacji tego procesu, niezbędne jest doprowadzenie energii z zewnątrz. Ciepło oddane odbiorcy z pompy ciepła jest sumą ciepła niskotemperaturowego i ciepła uzyskanego z energii

napędowej silnika napędzającego sprężarkę. Bilans energetyczny pomp ciepła jest zilustrowany wykresem pasmowym na rysunku 1.



Rys. 1. Bilans ciepła pompy ciepła [7]

Fig. 1. The heat balance for the heating pumps [7]

Pompa ciepła ma taką samą zasadę działania co urządzenie ziębnicze. Urządzenia te różnią się swoją funkcją i zakresem parametrów pracy. W pompie ciepła wykorzystuje się ciepło oddane przy wysokiej temperaturze, a w urządzeniu ziębniczym do wykorzystania jest ciepło pobrane przy niskiej temperaturze. Pompę ciepła stosuje się również przy jednoczesnym odbieraniu ciepła ze źródła dolnego i oddawanie go do źródła górnego. Warunki do zastosowania pomp ciepła są odpowiednie, gdy [7]:

- istnieje źródło ciepła o temperaturze wyższej od otoczenia, ale za niskiej do bezpośredniego wykorzystania,
- poprzez zastosowanie pompy ciepła możliwe jest zawrócenie i ponowne wykorzystanie strumienia energii przepływającego przez urządzenie, np. w klimatyzatorach,
- istnieje zapotrzebowanie na ciepło oraz na zimno,
- energia cieplna przekazywana jest na znaczną odległość i zastosowanie pompy ciepła w miejscu poboru energii zmniejsza koszty inwestycyjne, np. na rozbudowę sieci ciepłowniczych.

2. WSPÓŁPRACA POMP CIEPŁA Z SIECIĄ CIEPŁOWNICZĄ

Pompy ciepła przepompowują ciepło w kierunku przeciwnym do naturalnego biegu [1]. Można określić, że pompy nie są źródłem energii, tylko przemieszczają ją w miejsce, gdzie jest efektywnie wykorzystana [3]. Pompy ciepła duże zastosowanie mają jako urządzenia domów jednorodzinnych i niewielkich pomieszczeń. W sezonie grzewczym pełnią rolę pompy ciepła. Natomiast w sezonie letnim są klimatyzatorami pracującymi w cyklu odwrotnym.

Badaniem objęto współpracę pomp ciepła z lokalną siecią ciepłowniczą. W badaniach uwzględniono:

- zmienność zewnętrznej temperatury otoczenia w granicach T_z od -16°C do $+17^{\circ}\text{C}$ (I strefa klimatyczna) [5],
- czas trwania temperatury zadanej i od niej większej tt od 24 h/a do 8760 h/a,
- zmieniającą się moc całego odbioru $N_{(tt)}$ od 330 kW do 35,7 kW,
- czas trwania zadanej temperatury roboczej tt_{T_o} od 24 h/a wzwyż.

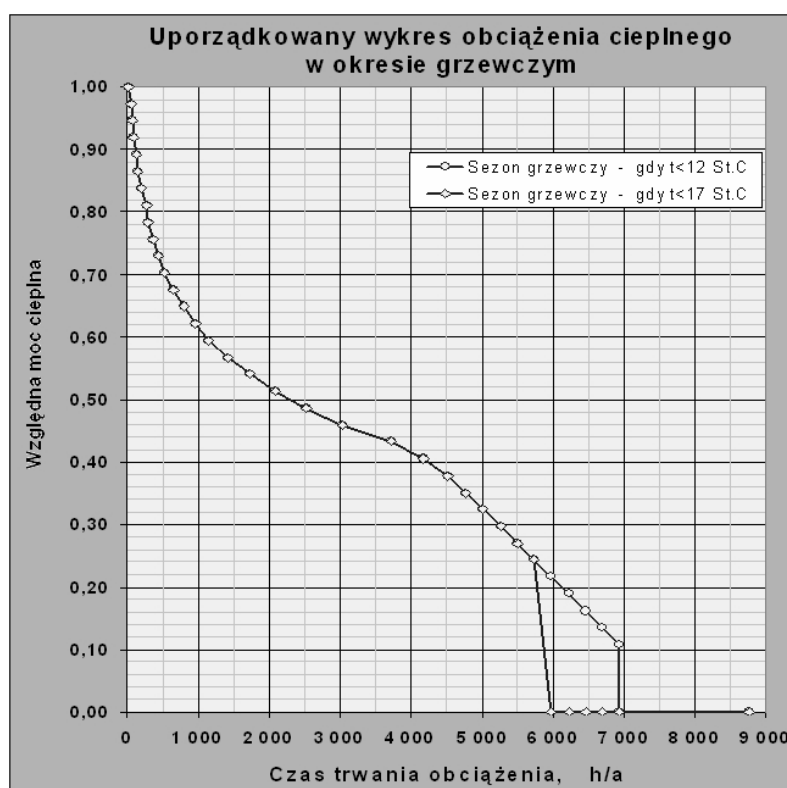
W okresie współpracy z pompami ciepła zmienna moc kotłów $N_{kot(tt)}$ wynosi maksymalnie 262,5 kW, a pompy ciepła pracują mocą $N_{pc(tt)}$ równą 67,5 kW i mniejszą. Zestawienie tabelaryczne wykresów obciążenia cieplnego w GWSA zawarto w tabeli 1. W ujęciu graficznym wykres w funkcji czasu trwania obciążenia ilustruje rysunek 2.

Tabela 1. Zestawienie tabelaryczne wykresów obciążenia cieplnego w GWSA
Table 1. The tabular list of thermal load charts in GWSA

Lp.	Temp. zewn. T_z [°C]	Czas trwania tt [h/a]	Moc całego odbioru $N_{(tt)}$ [kW]	Czas trwania zadanej temp. otoczenia tt_{To} [h/a]	Moc kotła $N_{k(tt)}$ [kW]	Moc pompy ciepła $N_{pc(tt)}$ [kW]
1	2	3	4	5	6	7
1	-16	24	330,0	24	262,5	67,5
2	-15	48	321,1	24	253,6	67,5
3	-14	72	312,2	24	244,7	67,5
4	-13	96	303,2	24	235,7	67,5
5	-12	120	294,3	24	226,8	67,5
6	-11	144	285,4	26	217,9	67,5
7	-10	192	276,5	35	209,0	67,5
8	-9	264	267,6	41	200,1	67,5
9	-8	288	258,6	50	191,1	67,5
10	-7	360	249,7	60	182,2	67,5
11	-6	432	240,8	72	173,3	67,5
12	-5	528	231,9	96	164,4	67,5
13	-4	648	223,0	120	155,5	67,5
14	-3	792	214,1	144	146,6	67,5
15	-2	960	205,1	168	137,6	67,5
16	-1	1152	196,2	202	128,7	67,5
17	0	1416	187,3	255	119,8	67,5
18	1	1728	178,4	312	110,9	67,5
19	2	2088	169,5	360	102,0	67,5
20	3	2520	160,5	432	93,0	67,5
21	4	3024	151,6	504	84,1	67,5
22	5	3720	142,7	696	75,2	67,5
23	6	4176	133,8	456	66,3	67,5
24	7	4512	124,9	336	57,4	67,5
25	8	4776	115,9	264	48,4	67,5
26	9	5016	107,0	240	39,5	67,5
27	10	5256	98,1	240	30,6	67,5
28	11	5496	89,2	240	25,0	64,2
29	12	5736	80,3	240	25,0	55,3
30	13	5976	71,4	240	25,0	46,4
31	14	6216	62,4	240	25,0	37,4

1	2	3	4	5	6	7
32	15	6456	53,5	240	25,0	28,5
33	16	6696	44,6	240	25,0	19,6
34	17	6936	35,7	240	25,0	10,7
35	> 17	8760	0	1824	0	0

Sporządzono uporządkowany wykres obciążenia cieplnego w okresie grzewczym. Zmienność mocy cieplnej w jednostkach względnych obiektu dla Trójmiasta obrazuje rysunek 2 [4, 6]. Przyjęto założenie, że w GWSA wykres ten jest obowiązujący.



Rys. 2. Moc cieplna w jednostkach względnych obiektu dla środowisk Trójmiasta
Fig. 2. Thermal power in relative units of building for the environment of Tricity

3. WARIANTY OBLICZENIOWE WSKAŹNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH

Proces badawczy obejmuje 30 wariantów obliczeniowych. Moc pompy ciepła $Q_{inst.pc}$ oraz moc hybrydowa Q_{hybr} uzależniona jest od 5 założeń. W obliczeniach przyjęto wielkość mocy szczytowej $Q_s = 330$ kW jako wartość stałą w różnych wariantach

obliczeniowych. Zastosowano w założeniach pojedynczą moc pomp ciepła $Q_{inst.pc} = 13,5$ kW (moc jednej pompy ciepła). Dane do obliczeń wyszczególnione zostały w specyfikacji.

Specyfikacja danych do obliczeń

Obliczenia wskaźników eksploatacyjnych dokonano z wykorzystaniem danych zawartych w specyfikacji. Dane do obliczeń podane zostały dla pięciu założeń. Pozycje specyfikacji danych do obliczeń przyjęte w badaniach są dla poszczególnych wariantów obliczeniowych.

1. Obciążenia stałe.
2. Moc szczytowa odbioru (GWSA) – $Q_s = 330$ kW.
3. Minimalna obliczeniowa zewnętrzna temperatura otoczenia – $t_{min.obl.} = -16^{\circ}\text{C}$.
4. Moc pompy ciepła – $Q_{inst.pc} = 67,5$ kW (5 x 13,5 kW) – założenie 1.
5. Moc pompy ciepła – $Q_{inst.pc} = 54,0$ kW (4 x 13,5 kW) – założenie 2.
6. Moc pompy ciepła – $Q_{inst.pc} = 40,5$ kW (3 x 13,5 kW) – założenie 3.
7. Moc pompy ciepła – $Q_{inst.pc} = 27,0$ kW (2 x 13,5 kW) – założenie 4.
8. Moc pompy ciepła – $Q_{inst.pc} = 13,5$ kW (1 x 13,5 kW) – założenie 5.
9. Hybrydowa szczytowa moc kotłów – $Q_{hybr.} = 262,5$ kW – przy PC założenie 1.
10. Hybrydowa szczytowa moc kotłów – $Q_{hybr.} = 276,0$ kW – przy PC założenie 2.
11. Hybrydowa szczytowa moc kotłów – $Q_{hybr.} = 289,5$ kW – przy PC założenie 3.
12. Hybrydowa szczytowa moc kotłów – $Q_{hybr.} = 303,0$ kW – przy PC założenie 4.
13. Hybrydowa szczytowa moc kotłów – $Q_{hybr.} = 316,5$ kW – przy PC założenie 5.
14. Minimum techniczne kotła – $Q_{min.sc} = 10$ kW.
15. Moc s.c. konw. – $Q_{sc.konw.} = 350$ kW.
16. Moc minimalna konw. – $Q_{min.konw.} = 10$ kW.
17. Maksymalna temperatura czynnika grzewczego w szczycie obciążenia cieplnego na zasilaniu – $t_{zas.} = 70^{\circ}\text{C}$, $t_{zas.} = 60^{\circ}\text{C}$.
18. Maksymalna temperatura czynnika grzewczego w szczycie obciążenia cieplnego na powrocie – $t_{pow.} = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{pow.} = 40^{\circ}\text{C}$.
19. Temperatura ciepłej wody użytkowej – $t_{cwu} = 55^{\circ}\text{C}$.
20. Temperatura źródła górnego pompy ciepła – $t_g = 55^{\circ}\text{C}$.
21. Temperatura źródła dolnego pompy ciepła – $t_d = 3^{\circ}\text{C}$.
22. Temperatura minimalna pompy ciepła – $t_{pc.min.} = 20^{\circ}\text{C}$.
23. Temperatura maksymalna pompy ciepła – $t_{pc.max} = 60^{\circ}\text{C}$.
24. Temperatura sezonowa – $t_{sez.} = 21^{\circ}\text{C}$.
25. Temperatura minimalna zewnętrzna – $t_{zw.} = 10^{\circ}\text{C}$.
26. Maksymalna moc elektryczna pompy ciepła – $P_{pc} = 21,76$ kW – założenie 1.
27. Maksymalna moc elektryczna pompy ciepła – $P_{pc} = 17,40$ kW – założenie 2.
28. Maksymalna moc elektryczna pompy ciepła – $P_{pc} = 13,05$ kW – założenie 3.
29. Maksymalna moc elektryczna pompy ciepła – $P_{pc} = 8,70$ kW – założenie 4.
30. Maksymalna moc elektryczna pompy ciepła – $P_{pc} = 4,35$ kW – założenie 5.
31. Temperatura kończąca sezon grzewczy – $t_{grzew} = 12^{\circ}\text{C}$, $t_{grzew} = 15^{\circ}\text{C}$, $t_{grzew} = 17^{\circ}\text{C}$.

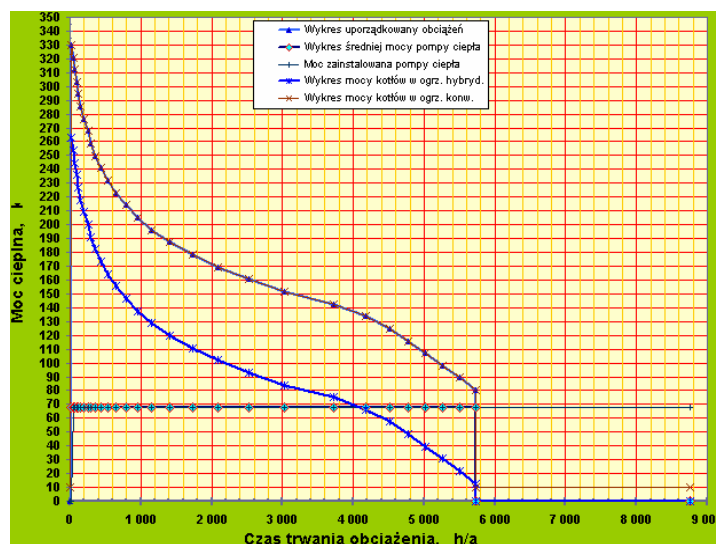
Zestawienie poszczególnych wariantów obliczeniowych

Obliczenia przeprowadzono dla 30 wariantów. Wyniki obliczeniowe dla każdego z wariantów oraz ich wielkości w ujęciu graficznym stanowią podstawę do wyboru

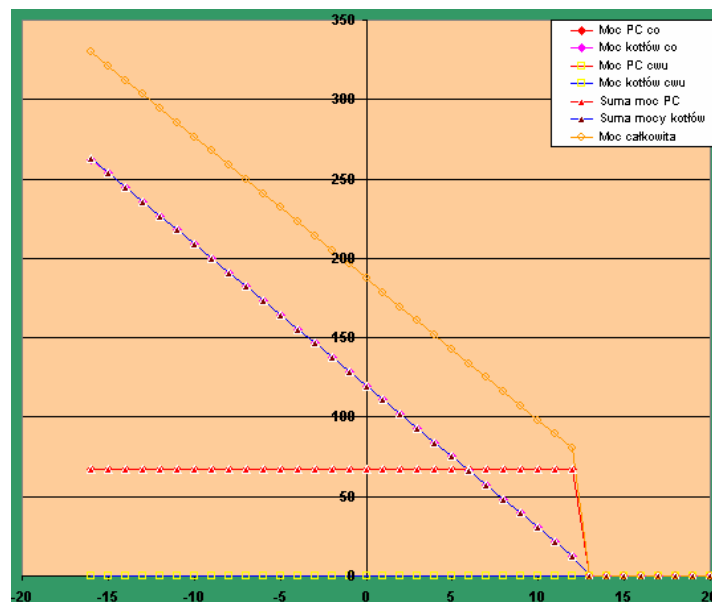
optymalnego wariantu obliczeniowego. W pracy pokazano wybrany wariant obliczeniowy wskaźników eksploatacyjnych. Wykresy wyników obliczeniowych dla wybranego wariantu zilustrowano na rysunku 3, 4, 5 i 6.

Wybrany wariant obliczeniowy

1. Obciążenia stałe.
2. Moc szczytowa odbioru (GWSA) – $Q_s = 330$ kW.
3. Minimalna obliczeniowa zewnętrzna temperatura otoczenia – $t_{min.obl.} = -16^{\circ}\text{C}$.
4. Moc pompy ciepła – $Q_{inst.pc} = 67,5$ kW ($5 \times 13,5$ kW).
5. Hybrydowa szczytowa moc kotłów – $Q_{hybr.} = 262,5$ kW.
6. Maksymalna temperatura czynnika grzewczego w szczycie obciążenia cieplnego na zasilaniu – $t_{zas.} = 70^{\circ}\text{C}$.
7. Maksymalna temperatura czynnika grzewczego w szczycie obciążenia cieplnego na powrocie – $t_{pow.} = 50^{\circ}\text{C}$.
8. Temperatura źródła górnego pompy ciepła – $t_g = 55^{\circ}\text{C}$.
9. Temperatura źródła dolnego pompy ciepła – $t_d = 3^{\circ}\text{C}$.
10. Temperatura kończąca sezon grzewczy – $t_{grzew.} = 12^{\circ}\text{C}$.
11. Roczne zużycie energii elektrycznej – $E_{eel.} = 100301$ kWh/a.
12. Czas użytkowania mocy zainstalowanej kotłowni współpracującej z pompą ciepła – $T_{isc.} = 1973$ h/a.
13. Czas użytkowania mocy zainstalowanej pompy ciepła – $T_{ipc.} = 5736$ h/a.
14. Czas użytkowania mocy szczytowego odbioru ciepła – $T_s = 2849$ h/a.
15. Czas użytkowania mocy zainstalowanej kotłowni konwencjonalnej – $T_{ikkon.} = 2659$ h/a.
16. Maksymalna moc elektryczna pompy ciepła – $P_{pc} = 21,76$ kW.

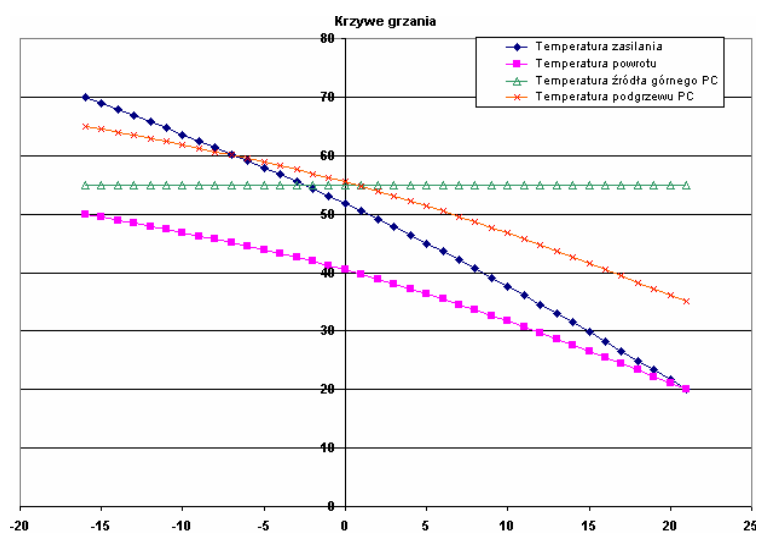


Rys. 3. Wykres uporządkowany obciążeń źródeł ciepła w funkcji czasu trwania obciążenia
Fig. 3. The ordered diagram of heating loads in function of time duration for the load



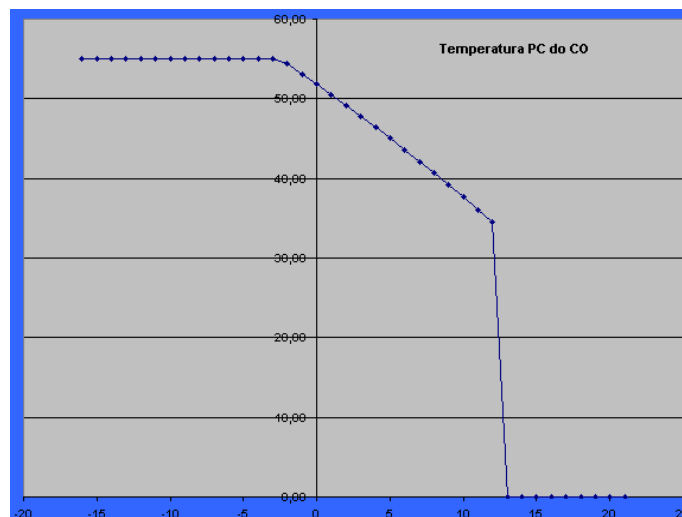
Rys. 4. Wykres uporządkowany obciążeń źródeł ciepła w funkcji zewnętrznej temperatury otoczenia

Fig. 4. The ordered diagram of heating loads in function of the outside temperature for environment



Rys. 5. Krzywe grzania

Fig. 5. The heating curves



Rys. 6. Wykres temperatury pompy ciepła do centralnego ogrzewania
Fig. 6. The temperature diagram of heating pumps for central heating

4. ANALIZA WARIANÓW OBLICZENIOWYCH WSKAŹNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH

Do analizy wyników obliczeniowych poszczególnych wariantów sporządzono zestawienie tabelaryczne. Zestawienie wyników obliczeniowych zawarto w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników obliczeniowych

Table 2. The list of computational research findings

Lp.	Wyszczególnienie wariant - założenie	Jm.	$t_{zas}=70^{\circ}\text{C} / t_{pow}=50^{\circ}\text{C}$			$t_{zas}=60^{\circ}\text{C} / t_{pow}=40^{\circ}\text{C}$			%		
			$t_{grzew.}$			$t_{grzew.}$			7:4	8:5	9:6
			12°C	15°C	17°C	12°C	15°C	17°C			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Moc szczytowa $Q_s = 330$ kW, moc hybrydowa $Q_{hybr} = 262,5$ kW Moc pompy ciepła $Q_{instPC} = 67,5$ kW, moc elektryczna pompy ciepła $P_{PC} = 21,76$ kW										
1.1	T_{isc}	h/a	1973	2000	2018	1973	2000	2018			
1.2	T_{IPC}	h/a	5736	6295	6510	5736	6295	6510			

1.3	T_s	h/a	2849	2985	3030	2849	2985	3030			
1.4	T_{ikkon}	h/a	2659	2796	2857	2659	2796	2857			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.5	Roczne zużycie energii elektr. E_{eel}	kWh/a	100 301	107 343	109 856	89 223	95 981	98 431	88,9	89,4	89,6
2	Moc szczytowa $Q_s = 330$ kW, moc hybrydowa $Q_{hybr} = 276,0$ kW Moc pompy ciepła $Q_{instPC} = 54,0$ kW, moc elektryczna pompy ciepła $P_{PC} = 17,40$ kW										
2.1	T_{isc}	h/a	2157	2189	2207	2157	2189	2207			
2.2	T_{iPC}	h/a	5736	6402	6670	5736	6402	6670			
2.3	T_s	h/a	2849	2985	3030	2849	2985	3030			
2.4	T_{ikkon}	h/a	2659	2796	2857	2659	2796	2857			
2.5	Roczne zużycie energii elektr. E_{eel}	kWh/a	80 241	86 946	89 458	71 379	77 815	80 265	88,9	89,5	89,7
3	Moc szczytowa $Q_s = 330$ kW, moc hybrydowa $Q_{hybr} = 289,5$ kW Moc pompy ciepła $Q_{instPC} = 40,5$ kW, moc elektryczna pompy ciepła $P_{PC} = 13,05$ kW										
3.1	T_{isc}	h/a	2324	2378	2395	2324	2378	2395			
3.2	T_{iPC}	h/a	5736	6456	6813	5736	6456	6813			
3.3	T_s	h/a	2849	2985	3030	2849	2985	3030			
3.4	T_{ikkon}	h/a	2659	2796	2857	2659	2796	2857			
3.5	Roczne zużycie energii elektr. E_{eel}	kWh/a	60 180	65 603	68 115	53 534	58 741	61 191	88,9	89,5	89,8

4	Moc szczytowa $Q_s = 330$ kW, moc hybrydowa $Q_{hybr} = 303,0$ kW Moc pompy ciepła $Q_{instPC} = 27,0$ kW, moc elektryczna pompy ciepła $P_{PC} = 8,70$ kW										
4.1	T_{isc}	h/a	2476	2560	2582	2476	2560	2582			
4.2	T_{iPC}	h/a	5736	6456	6924	5736	6456	6924			
4.3	T_s	h/a	2849	2985	3030	2849	2985	3030			
4.4	T_{ikkon}	h/a	2659	2796	2857	2659	2796	2857			
4.5	Roczne zużycie energii elektr. E_{eel}	kWh/a	40 120	43 735	45 927	35 689	39 161	41 299	88,9	89,5	89,9
5	Moc szczytowa $Q_s = 330$ kW, moc hybrydowa $Q_{hybr} = 316,5$ kW Moc pompy ciepła $Q_{instPC} = 13,5$ kW, moc elektryczna pompy ciepła $P_{PC} = 4,35$ kW										
5.1	T_{isc}	h/a	2615	2726	2767	2615	2726	2767			
5.2	T_{iPC}	h/a	5736	6456	6936	5736	6456	6936			
5.3	T_s	h/a	2849	2985	3030	2849	2985	3030			
5.4	T_{ikkon}	h/a	2659	2796	2857	2659	2796	2857			
5.5	Roczne zużycie energii elektr. E_{eel}	kWh/a	20 060	21 868	22 991	17 845	19 580	20 676	88,9	89,5	89,9

Oznaczenia:

T_{isc} – czas użytkowania mocy zainstalowanej kotłowni współpracującej z pompą ciepła,

T_{ipc} – czas użytkowania mocy zainstalowanej pompy ciepła,

T_s – czas użytkowania mocy szczytowego odbioru ciepła,

T_{ikkon} – czas użytkowania mocy zainstalowanej kotłowni konwencjonalnej.

Analizując dane zawarte w tabeli 2, dotyczącej zestawienia wyników obliczeniowych stwierdzono, że we wszystkich przyjętych 5 założeniach mocy PC, przy temperaturze kończącej sezon grzewczy $t_{grzew} = 12^\circ\text{C}$ dla wariantów, gdzie, temperatura zasilania / powrotu wynosi $60^\circ\text{C} / 40^\circ\text{C}$, roczne zużycie energii elektrycznej E_{eel} jest niższe

o 11,1% od wariantów, gdzie temperatura zasilania / powrotu wynosi 70°C / 50°C. Analogiczne porównanie rocznego zużycia energii elektrycznej kształtuje się następująco: przy $t_{grzew} = 15^{\circ}\text{C}$ jest niższe o 10,5%, a przy $t_{grzew} = 17^{\circ}\text{C}$ niższe o 10,2%.

Badania wykazały, że najkrótszy czas użytkowania mocy zainstalowanej kotłowni współpracującej z pompą ciepła wynosi $T_{isc} = 1973$ h/a, przy uwzględnieniu mocy pomp ciepła $Q_{instpc} = 67,5$ kW (5 x 13,5 kW). Natomiast moc hybrydowa w tym przypadku wynosi $Q_{hybr.} = 262,5$ kW (moc szczytowa $Q_s = 330$ kW). Wykazany najkrótszy czas użytkowania mocy zainstalowanej T_{isc} występuje w dwóch wariantach:

- a) temperatura zasilania / powrotu wynosi 70°C / 50°C,
- b) temperatura zasilania / powrotu wynosi 60°C / 40°C.

Dla obu wariantów zakończenie okresu grzewczego występuje przy $T_{grzew.} = 12^{\circ}\text{C}$.

W wyniku przeprowadzonych badań wskazano na możliwość wyboru wariantu obliczeniowego wskaźników eksploatacyjnych. Z analizowanych wariantów jako optymalny wybrano wariant przedstawiony w artykule, gdzie temperatura zasilania / powrotu wynosi 70°C / 50°C, przy uwzględnieniu mocy pomp ciepła $Q_{instpc} = 67,5$ kW (5 x 13,5 kW).

5. PODSUMOWANIE

Problematyka współpracy pomp ciepła z siecią ciepłowniczą została w pracy przedstawiona na podstawie dokonanych badań w tym zakresie. Obiektem procesu badawczego są urządzenia energetyki ciepłej eksploatowane przez GWSA. Urządzenia te znajdują się w pierwszej strefie klimatycznej. Proces badawczy obejmuje 30 wariantów obliczeniowych wskaźników eksploatacyjnych. W niniejszej pracy pokazano wybrany wariant obliczeniowy. Analiza wyników obliczeniowych poszczególnych wariantów pokazuje jaki jest optymalny wariant do współpracy pomp ciepła z siecią ciepłowniczą. Z przeprowadzonych badań wynika, że najkrótszy czas użytkowania mocy zainstalowanej kotłowni współpracującej z pompą ciepła wynosi $T_{isc} = 1973$ h/a, przy uwzględnieniu mocy pomp ciepła $Q_{instpc} = 67,5$ kW (5 x 13,5 kW). Ponieważ ten najkrótszy czas użytkowania mocy zainstalowanej T_{isc} występuje w dwóch wariantach. Z tych dwóch wariantów jako optymalny wybrano wariant przedstawiony w artykule, gdzie temperatura zasilania / powrotu wynosi 70°C / 50°C.

Przedstawiona w niniejszej pracy problematyka współpracy pomp ciepła z siecią ciepłowniczą uwzględniając uwarunkowania z zakresu ochrony środowiska, ma szczególne znaczenie na osiągnięcie efektów ekologicznych i ekonomicznych. Zauważa się, że dla rozwoju nowych technologii wdrażanych w energetyce ciepłej brane są pod uwagę również źródła energii odnawialnej. Współpraca pomp ciepła z siecią ciepłowniczą odgrywa kluczową rolę w energetyce ciepłej.

6. LITERATURA

- [1] Brodowicz K., Dyakowski T.: Pompy ciepła, Wyd. PWN, Warszawa 1990.
- [2] Chwieduk D.: Odnawialne źródła energii źródłem ciepła dla pomp ciepła, Materiały Ogólnopolskiego Forum „Mała energetyka”, Chańcza, maj 1996.
- [3] Klugman E., Klugman-Radzimska E.: Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii, Wyd. Ekonomia i środowisko, Białystok 2005.

- [4] Kusto Z.: Współpraca pomp ciepła ze źródłem konwencjonalnym. Algorytmy obliczania bilansu energetycznego i efektywności ekonomicznej, Wyd. GWSA, Gdańsk 2009.
- [5] PN-82/B-02403. Ogrzewnictwo. Temperatury zewnętrzne obliczeniowe.
- [6] Skrzyszewski M.: Kluczowe zmiany w metodyce obliczania zapotrzebowania na ciepło zawarte w PN-EN 12831, Wyd. Instalator, Nr 10/2006.
- [7] Zalewski W.: Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne, Wyd. IPPU „MASTA”, Gdańsk 2001.

THE ISSUE OF HEATING PUMPS COOPERATION WITH THE HEATING NETWORK

SUMMARY

In the following research work it has been presented the issue of heating pumps cooperation with the heating network. The research which has been carried out is taken into consideration within this scope for the building located in the first climatic zone. The established computational versions of exploitation indicators have been characterized. The computational versions analysis of exploitation indicators has been conducted. The issue being analysed is presented in tabular and graphic layout. It has also been indicated the possibility of employing the optimal computational version for the cooperation of heating pumps with the heating network.

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

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
pawel_obstawski@sggw.pl

ANALIZA JAKOŚCI REGULACJI PRACĄ SEGMENTU SŁONECZNEGO Z WYKORZYSTANIEM REGULATORA PID

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono analizę jakości regulacji pracą segmentu kolektorów płaskich realizowaną za pomocą regulatora PID, przy doborze jego nastaw za pomocą różnych kryteriów.

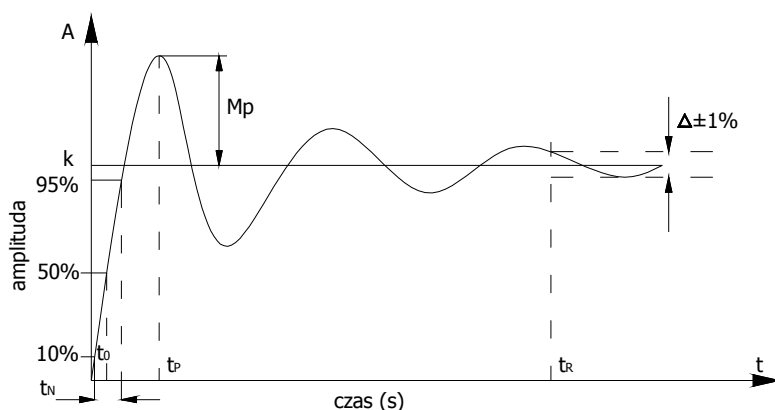
1. WSTĘP

Jednym z najczęściej pojawiającym się w instalacjach słonecznych problemem eksploatacyjnym są przegrzewy, które mogą doprowadzić do zbyt wysokich temperatur konstrukcji kolektora słonecznego oraz do rozszechelnienia instalacji hydraulicznej. Przegrzewy najczęściej są wynikiem przewymiarowania segmentu słonecznego co w powiązaniu z dobrymi warunkami słonecznymi i niskim rozbiorem energii cieplnej z systemu skutkuje wysokimi temperaturami. Wysokie wartości temperatur w instalacji słonecznej można częściowo ograniczyć poprzez zwiększenie strat, co można uzyskać poprzez zmianę prędkości przepływu czynnika przez instalację słoneczną, która powinna zależeć od panujących warunków eksploatacyjnych [3]. Im większa dawka napromienienia oraz mniejszy rozbiór ciepłej wody użytkowej, przepływ czynnika w systemie słonecznym powinien się zwiększać, co powodowałoby większy przepływ strumienia masy w jednostce czasu a w rezultacie zwiększyłoby straty energii cieplnej. Im mniejsze dawki napromienienia i bardziej intensywny energii cieplnej z systemu wydatek pompy cyrkulacyjnej powinien być mniejszy co skutkowałoby mniejszym przepływem strumienia masy w jednostce czasu i ograniczało pojemność cieplną co w rezultacie skutkowałoby większymi przyrostami temperatury czynnika. Zatem w instalacji słonecznej należałoby zastąpić standardową pompę cyrkulacyjną pompą o płynnie regulowanym wydatku, a stosowany standardowo regulator różnicowy liniowym regulatorem PID realizującym regulację ciągłą.

2. REGULATOR PID

Liniowy regulator PID jest równoległym połączeniem trzech odrębnych członów: proporcjonalnego P, którego parametrem jest współczynnik wzmocnienia k_p , całkowitego I

z nastawą w postaci czasu całkowania T_i oraz różniczkującego D z nastawą w postaci czasu wyprzedzenia T_d [7]. Każdy z członów posiada odmienne właściwości. Zatem od wartości nastaw poszczególnych członów uzależniona jest jakość regulacji określona poprzez kryteria: statyczne i dynamiczne. Jako kryterium statyczne rozumiana jest eliminacja uchybu statycznego. Jako kryteria dynamiczne rozumiany jest: czas opóźnienia t_o , czas narastania t_n , czas regulacji t_r , przeregulowanie χ i błąd dynamiczny M_p (rys. 1).



Rys. 1. Graficzna reprezentacja kryteriów jakości regulacji
Fig. 1. Graphic representation of criteria of quality control

Istotnym pojawiającym się problemem jest zapewnienie odpowiedniej jakości regulacji określonej przez kryteria statyczne i dynamiczne, a w rezultacie dobór struktury i nastaw regulatora. Zazwyczaj strukturę regulatora i jego nastawy dobiera się na podstawie dynamiki obiektu określonej za pomocą charakterystyki skokowej. W celu sporządzenia charakterystyki skokowej należy przeprowadzić identyfikację obiektu.

3. IDENTYFIKACJA OBIEKTU

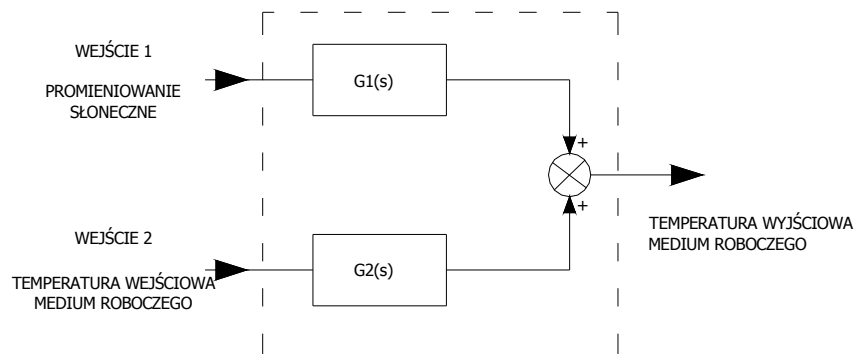
Identyfikacja obiektu polega na wyznaczeniu tzw. charakterystyki skokowej obiektu regulacji, na podstawie której określa się jego charakter oraz parametry charakterystyczne takie jak: czas opóźnienia, zastępcza stała czasowa oraz współczynnik wzmocnienia [7]. Charakterystykę skokową sporządza się eksperymentalnie. Na wejście obiektu, który znajduje się w stanie ustalonym (parametry opisujące punkt pracy są stałe w czasie) wprowadza się wymuszenie skokowe czyli gwałtownie zmienia się wartość sygnału wejściowego i obserwuje się zmianę sygnału na wyjściu obiektu. Przebieg sygnału wyjściowego określa charakter obiektu oraz umożliwia wyznaczenie parametrów charakterystycznych.

W przypadku segmentu słonecznego eksperymentalne wyznaczenie charakterystyki skokowej w warunkach eksploatacyjnych jest praktycznie niemożliwe, gdyż zmienne są chwilowe wartości parametrów określających punkt pracy, chociażby dawki promieniowania słonecznego. Zatem trudno jest uzyskać w warunkach eksploatacyjnych nawet stan quasi ustalony segmentu słonecznego.

Dysponując jednakże danymi pomiarowymi z monitoringu pracy segmentu słonecznego można określić jego charakterystykę skokową za pomocą identyfikacji parametrycznej metodą czarnej skrzynki [4].

4. IDENTYFIKACJA PARAMETRYCZNA SEGMENTU SŁONECZNEGO

Identyfikację parametryczną segmentu słonecznego przeprowadzono na podstawie danych pomiarowych pochodzących z monitoringu pracy hybrydowego systemu zasilającego w energię ciepłą budynek hotelowy w Regionalnym centrum Edukacji Ekologicznej w Budach Grabskich [1]. W procesie identyfikacji segment słoneczny potraktowano jako obiekt dwuwejściowy i jednowyjściowy [2, 5]. Jako sygnały wejściowe przyjęto dobowy przebieg promieniowania słonecznego i temperatury wejściowej medium roboczego a jako sygnał wyjściowy dobowy rozkład temperatury wyjściowej medium roboczego. Modelowany segment kolektorów słonecznych można zatem przedstawić za pomocą schematu blokowego (rys. 2).



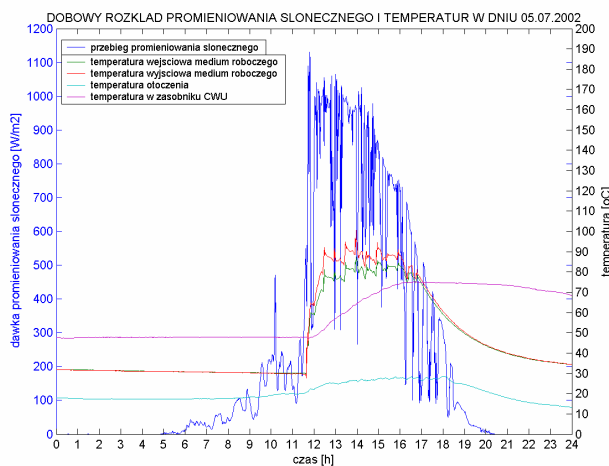
Rys. 2. Schemat segmentu słonecznego

Fig. 2. Schema of solar segment

gdzie: $G1(s)$ – transmitancja operatorowa opisująca dynamikę zmian temperatury wyjściowej medium roboczego na skutek zmian promieniowania słonecznego, $G2(s)$ – transmitancja operatorowa opisująca zmianę temperatury wyjściowej medium roboczego na skutek zmian temperatury wejściowej medium roboczego.

Analiza uzyskanych wyników zostanie omówiona na przykładzie danych zarejestrowanych w dniu 05.07.2002.

W dniu 05.07.2002 panowały zmienne warunki słoneczne, mimo tego na płaszczyznę absorbera baterii kolektorów padło 623,3 MJ energii słonecznej, a do zasobnika ciepłej wody użytkowej zostało przekazane 143,38 MJ energii. Sprawność przemian w segmencie kolektorów wyniosła 22%. Maksymalna temperatura medium roboczego na wlocie baterii osiągnęła poziom 87°C, a temperatura wyjściowa ukształtowała się na poziomie 100°C. Na skutek małego, jak dla tej instalacji, rozbioru ciepłej wody użytkowej – tylko 356 dm³, maksymalna temperatura w zasobniku CWU osiągnęła wartość 77°C.



Rys. 3. Parametry pracy segmentu słonecznego w dniu 05.07.2002

Fig. 3. Parameters of work solar segment in day 05.07.2002

5. OKREŚLENIE DYNAMIKI SEGMENTU SŁONECZNEGO JAKO OBIEKTU AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA

Uzyskany w wyniku identyfikacji parametrycznej matematyczny opis segmentu słonecznego został przekształcony do postaci transmitancji operatorowej(1,2).

$$G_1(s) = \frac{8,921 \cdot 10^{-6} s^2 + 7,992 \cdot 10^{-7} s + 5,368 \cdot 10^{-9}}{s^3 + 1,768 \cdot 10^{-2} s^2 + 1,14 \cdot 10^{-4} s + 2,791 \cdot 10^{-7}} \quad (1)$$

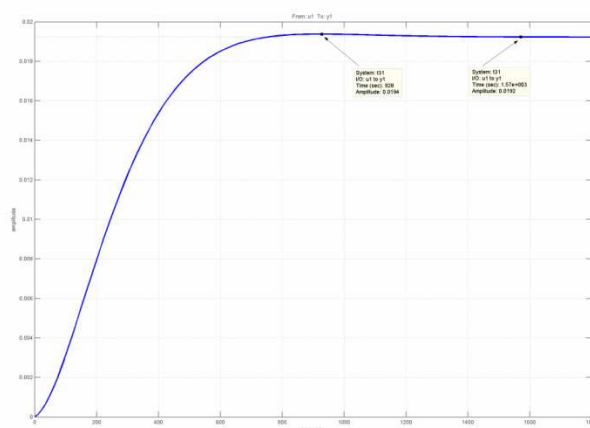
$$G_2(s) = \frac{-2,181 \cdot 10^{-3} s^2 + 1,741 \cdot 10^{-5} s + 2,215 \cdot 10^{-7}}{s^3 + 1,768 \cdot 10^{-2} s^2 + 1,14 \cdot 10^{-4} s + 2,791 \cdot 10^{-7}} \quad (2)$$

Równanie charakterystyczne obu transmitancji składowych $G_1(s)$ i $G_2(s)$ są identyczne gdyż obiekt posiada jeden sygnał wyjściowy, natomiast wielomiany pojawiające się w licznikach mają odmienne współczynniki gdyż związane są one z poszczególnymi sygnałami wejściowymi. Zatem zastępcza stała czasowa poszczególnych składowych obiektu będzie zbliżona natomiast odmienne będą wartości współczynników wzmocnienia oraz czasów opóźnienia. Dysponując transmitancją operatorową segmentu słonecznego wyznaczono charakterystyki skokowe poszczególnych transmitancji składowych. Człon pierwszy posiada charakter inercyjny - typowy dla obiektów cieplnych. (rys. 4) Współczynnik wzmocnienia odczytany z charakterystyki skokowej wynosi 0,0193, stała czasowa 255 [s] a czas opóźnienia 42 [s].

Człon drugi charakteryzuje się własnościami nieminimalnofazowymi (rys. 5). Podając na wejście członu wymuszenie skoku jednostkowego, jego odpowiedź jest najpierw tłumiona, a następnie w sposób aperiodyczny dąży do wartości ustalonej. Stosunek słumionej amplitudy sygnału do amplitudy osiągniętej wynosi 6,1. Odczytany współczynnik wzmocnienia wynosi 0,795, stała czasowa 255,2 a czas opóźnienia 106,3 [s].

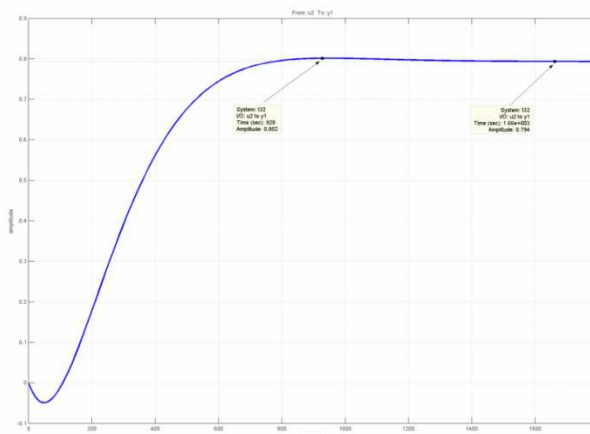
Należy zatem odpowiedzieć na pytanie: które parametry – składowej $G1(s)$ czy $G2(s)$ należy traktować jako bazowe do wyznaczenie nastaw regulatora PID?

Ponieważ parametrem regulowanym jest wydatek medium roboczego, zatem logicznym jest, że jako bazowe należy traktować parametry wyznaczone z charakterystyki skokowej składowej $G2(s)$ opisującej zmiany temperatury wyjściowej medium roboczego na skutek zmian temperatury wejściowej medium roboczego. Zmiany napromienienia należy potraktować jako zakłócenie.



Rys. 4. Odpowiedź skokowa członu pierwszego

Fig. 4 Step response first part of model



Rys. 5. Odpowiedź skokowa członu drugiego

Fig. 5 Step response second part of model

6. DOBÓR NASTAW REGULATORA PI ORAZ PID

Dla wyznaczonych z transmitancji $G2(s)$ parametrów obiektu dokonano doboru nastaw dla regulatora PI oraz PID z wykorzystaniem najczęściej stosowanych kryteriów: Zieglera Nicholasa, Cohena Coona, 2z5% przeregulowania, 20% przeregulowania, minimum całki

uchybu regulacji, ITAE [6]. Wyznaczone nastawy dla regulatora PI zostały przedstawione w tabeli 1, a dla regulatora PID w tabeli 2.

Tabela 1. Nastawy regulatora PI

Table 1. Set selection PI controller

kryterium -regulator PI	kp	Ti
Zieglera -Nicholsa	2.6394	359.6400
Cohena Coona	2.7458	190.9180
2z5% przeregulowania	1.7596	210.4000
20% przeregulowania	2.0529	182.4000
minimum całki uchyby regulacji	2.9327	182.4000
ITAE	2.4715	209.0705

Tabela 2. Nastawy regulatora PID

Table 2. Set selection PID controller

Kryterium - regulator PID	kp	Ti	Td
Zieglera -Nicholsa	3.5192	216.0000	54.0000
Cohena Coona	4.2295	226.7789	36.3913
2z5% przeregulowania	2.7861	259.2000	43.2000
20% przeregulowania	3.5192	216.0000	43.2000
minimum całki uchyby regulacji	4.1058	140.4000	54.0000
ITAE	3.8081	160.2755	41.3194

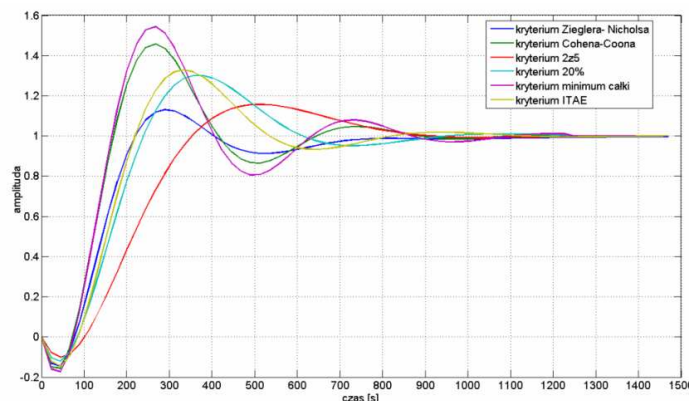
Z tabeli 1 oraz tabeli 2 wynika, że obliczone za pomocą analizowanych kryteriów nastawy zarówno dla regulatora PI oraz PID są odmienne. W przypadku regulatora PI (tabela 1) obliczona wartość współczynnika wzmocnienia waha się w granicach od 1.75 dla kryterium 2z5% przeregulowania do 2,74 dla kryterium Cohena Coona. Podobnie jest z czasem całkowania Ti. Najmniejszą wartość czasu całkowania wynosi obliczony z kryterium 20% przeregulowania i minimum całki uchyby regulacji równą 182,4 [s] a największą 359,64 [s] obliczoną z kryterium Zieglera Nicholsa. Podobnie jest w przypadku nastaw wyznaczonych dla regulatora PID (tabela 2). Wyznaczone nastawy mają rozbieżne wartości. Zatem należy się spodziewać, że stany przejściowe temperatury medium roboczego uzyskane przy doborze zarówno nastaw regulatora PI jak i PID będą różne. Zatem w celu określenia, którego regulatora czy PI czy PID należy stosować do sterowania pracą segmentu słonecznego, i z którego kryterium doboru nastaw należy korzystać, niezbędne jest przeprowadzenie badań symulacyjnych stanów przejściowych temperatury wyjściowej medium roboczego przy nastawach regulatora wyznaczonych za pomocą analizowanych kryteriów.

7. BADANIA SYMULACYJNE

Badania symulacyjne przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu *simulink*. Na rysunku 6 przedstawiono symulowane przebiegi przejściowe temperatury wyjściowej medium roboczego przy sterowaniu jego wydatkiem za pomocą regulatora PI. Wszystkie uzyskane przebiegi charakteryzują się błędem dynamicznym i przeregulowaniem. Najmniejszy błąd dynamiczny rzędu 11,3% posiada przebieg przejściowy przy oborze nastaw za pomocą kryterium Zieglera – Nicholsa, natomiast największy rzędu 54% przy doborze nastaw z wykorzystaniem kryterium minimum całki uchyby regulacji. We wszystkich analizo-

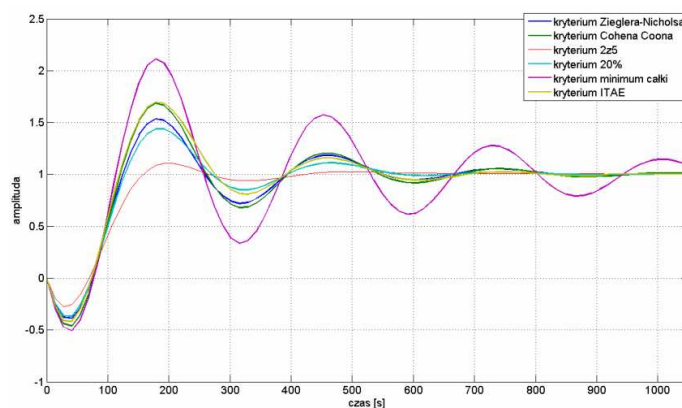
wanych przypadkach uzyskano zbliżony czas regulacji rzędu 700[s] z wyjątkiem kryterium Zieglera-Nicholsa, dla którego czas regulacji wynosi około 650 sekund.

W przypadku regulatora PID, którego nastawy zostały określone z analizowanych kryteriów symulowane przebiegi temperatury wyjściowej charakteryzują się oscylacjami (rys.7).



Rys. 6. Symulowany przebieg temperatury wyjściowej przy zastosowaniu regulatora PI
Fig. 6. Simulated process of output temperature witch help PI controller

Wyjątkiem jest symulowany przebieg, którego nastawy zostały określone z kryterium 2z5% przeregulowania. Przebieg charakteryzuje się w porównaniu z pozostałymi nieco dłuższym czasem narastania rzędu 120 sekund oraz niewielkim błędem dynamicznym rzędu 10%. Przebieg ten charakteryzuje się również w porównaniu z pozostałymi najkrótszym czasem regulacji wynoszącym 380 sekund. Czas regulacji w pozostałych przypadkach wynosi około 700 sekund z wyjątkiem minimum całki, dla którego czas regulacji jest najdłuższy i wynosi około 1500 sekund.



Rys. 7. Symulowany przebieg temperatury wyjściowej przy zastosowaniu regulatora PID
Fig. 7. Simulated process of output temperature witch help PID controller

8. PODSUMOWANIE

Wszystkie analizowane kryteria w badaniach symulacyjnych kryteria zapewniają stabilność regulowanego procesu konwersji energii promieniowania słonecznego na energię ciepłą sterowanego z wykorzystaniem zarówno regulatora PI jak i PID. Żadne z analizowanych kryteriów nie zapewnia aperiodycznego dojścia regulowanej temperatury do stanu ustalonego w krótkim czasie. Oczywiście wyniki uzyskane w symulacji należy potwierdzić badaniami eksploatacyjnymi.

Zastosowanie regulatora PI, którego nastawy obliczane są na podstawie analizowanych kryteriów w porównaniu z regulatorem PID spowoduje wydłużenie czasu narastania jednakże przebieg przejściowy charakteryzuje się stosunkowo mniejszym błędem dynamicznym przy porównywalnym czasie regulacji wynoszącym około 700 sekund. W przypadku regulatora PI najbardziej korzystnym jest stosowanie do doboru nastaw kryterium Zieglera – Nicholasa. W przypadku regulatora PID najlepiej posłużyć się kryterium 2z5% przeregulowania, które to w porównaniu ze wszystkimi analizowanymi przypadkami charakteryzuje się najkrótszym czasem regulacji wynoszącym około 380 sekund. Jednakże należy zaznaczyć, że ze względu na zmienne parametry pracy zmienny jest punkt pracy. Zatem przy zmiennym punkcie pracy zmieniają się parametry dynamiczne segmentu zatem aby uzyskać odpowiednią jakość regulacji koniecznym jest wyznaczanie do każdej zmiany punktu pracy nowych nastaw regulatora. Z tego też względu jak i ze względu na fakt, że żadne analizowane kryterium nie zapewnia aperiodycznego dojścia regulowanej temperatury do stanu ustalonego koniecznym jest opracowanie specyficznego algorytmu doboru nastaw regulatora PI oraz PID sterującego pracą segmentu słonecznego.

9. LITERATURA

1. Chochowski A. Czekalski D. Obstawski P.: Monitorowanie funkcjonowania hybrydowego systemu odnawialnych źródeł energii. Przegląd Elektrotechniczny Nr 8, 2009, str. 92-95
2. Chochowski A. Obstawski P.: Model parametryczny baterii kolektorów słonecznych. Inżynieria Rolnicza Nr. 14/2005 str. 55
3. Czekalski D., Mirski T.: Wpływ wydajności pompy obiegowej na efektywność instalacji słonecznej Polska Energetyka słoneczna nr 1, 2003
4. Janiszowski K., Identyfikacja modeli parametrycznych w przykładach. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 2002
5. Obstawski P.: Modelowanie dynamiki pracy płaskiego kolektora słonecznego. Rozprawa doktorska, SGGW 2007
6. Tunia H., Kaźmierkowski M.: Automatyka napędu przekształtnikowego. PWN, Warszawa 1987
7. Żelazny M.: Podstawy automatyki. PWN, 1979

ANALYSIS OF QUALITY OF CONTROL WORK SOLAR SEGMENT OF THE USE PID CONTROLLER SUMMARY

In work was represented analysis of quality of control work flat collectors segment which was realized with the help of PID controller, near his set selection realized with the help of different criterions.

Jan M. OLCHOWIK, prof. dr hab. inż.

Politechnika Lubelska
Instytut Fizyki
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: j.olchowik@pollub.pl
PSW im. Papieża Jana Pawła II, Biała Podlaska
ul. Sidorska 95/97, 21-500

CZY ENERGIA SŁONECZNA MOŻE ZABEZPIECZYĆ W ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ LUBELSZCZYZNĘ?

STRESZCZENIE

Przedmiotem niniejszych rozważań jest kwestia wykorzystania naturalnych zasobów energii odnawialnej w kontekście zabezpieczenia Regionu Lubelszczyzny w energię elektryczną. Rozważania dotyczą w szczególności możliwości zagospodarowania zasobów energii słonecznej do produkcji prądu elektrycznego na sposób konwersji PV.

1. WPROWADZENIE

Lubelszczyzna, to obszar Polski Południowo-wschodniej, położony od wschodu przez granicy białorusko-ukraińskiej. Od północy graniczy z województwem podlaskim i mazowieckim, od zachodu świętokrzyskim, a od południa z podkarpackim (rys. 1). Ludność zamieszkująca Lubelszczyznę liczy 2161832 mieszkańców [2] a jej powierzchnia sięga 25122 km² (2512250 ha). Jest to zatem jeden z większych obszarów administracyjnych naszego kraju, jednakże o dość słabo rozwiniętej infrastrukturze przemysłowej, zaliczany do tzw. ściany wschodniej.

Na wstępie, należy zastanowić się, jakim potencjałem, a szczególnie potencjałem energetycznym dysponuje Region. Z pewnością, ważnym energetycznie surowcem jest tu węgiel kamienny, złoża, którego obejmują obszar powiatu Łęczyńskiego. I to właśnie węgiel (zresztą jak w całej Polsce), stanowi główny składnik energetyczny Lubelszczyzny. Warto dodać, że w Polsce aż 93% energii elektrycznej produkowanej jest z węgla a udział pozostałych nośników jest niewielki [3]. Najważniejszym pozyskiwanym nośnikiem energii w ogóle jest węgiel kamienny, którego udział wynosi aż 68%. Drugim pod względem wielkości wydobycia nośnikiem jest węgiel brunatny z udziałem osiagającym

18%. Udział gazu ziemnego przekracza 5% pozyskania, a pozostałych, w znacznej mierze odnawialnych nośników energii przekracza 8% [4].

Szacuje się, że zainstalowane moce siłowni energetycznych Lubelszczyzny (opartych głównie na węglu) wynoszą ok 400 MW, Największą elektrownią Regionu jest elektrociepłownia Wrotków w Lublinie (o mocy szczytowej ok. 220 MW), elektrociepłownia przy Zakładach Azotowych w Puławach (o mocy ok. 70 MW) i Lubelska siłownia MEGATEM, o mocy ok. 15 MW [5]. Istnieje jeszcze szereg mniejszych przyzakładowych elektrociepłowni i siłowni, ale ich moce nie mają większego wpływu na stan energetyki Regionu. W najlepszych szacunkach, moc podaźowa wynosi wspomniane ok. 400 MW, które przyjmiemy za punkt wyjściowy rozważań.



Rys. 1. Mapka woj. Lubelskiego [1].

Fig. 1. Map of a Lublin region [1].

Lubelszczyzna, jako region rolniczy dysponuje także sporym zasobem biomasy (rys. 2). Na obecnym etapie trudno ocenić, ile energii elektrycznej można by wygenerować przy zagospodarowaniu wszystkich zbiorów roślin niespożywczych. Energię tę można wydobyć na wiele sposobów, ale zawsze wymaga to spalania. Należy podkreślić również, że energia biomasy tylko umownie może być zaliczana do źródeł odnawialnych.

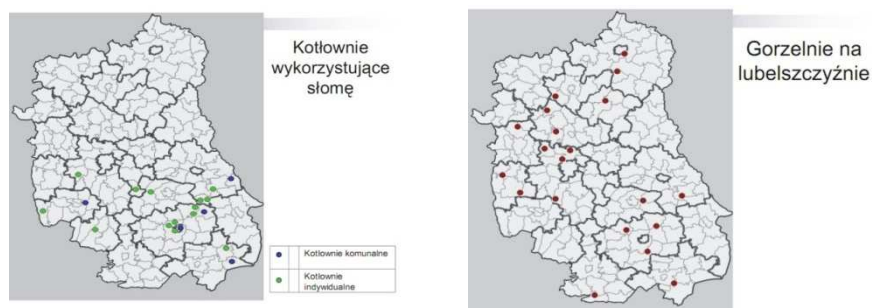


Rys.2. Zasoby biomasy Lubelszczyzny [6].

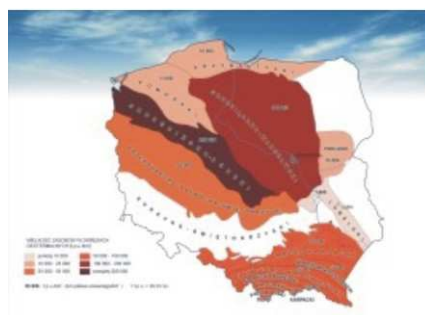
Fig.2. Biomass resources of a Lublin region [6].

Z całą pewnością nie jest to technologia „zero-emisyjna”, gdyż w procesie spalania biomasy wydziela się tyle samo CO₂, ile roślina zakumuluje w całym procesie vegetacji. Mimo potencjalnie dużych możliwości pozyskania tego surowca na Lubelszczyźnie, jego wykorzystanie nosi lokalny charakter. Dotychczas wybudowano niewielką ilość małych ciepłowni i siłowni (rys. 3), są one dość rozproszone, a dostarczanie surowca do spalarni też wymaga sporych nakładów energii, a zważywszy na niższą kaloryczność biomasy, niż surowców kopalnianych, częstokroć koszty transportu przekraczają koszty wytworzonej z tej biomasy energii. Należy ponadto podkreślić, że przy takiej metodzie (spalanie), co roku trzeba taki materiał hodować i pozyskiwać ponownie.

Alternatywnym rozwiązaniem może być pozyskiwanie energii z ciepłych wód geotermalnych. Problem jednak leży w tym, że na Lubelszczyźnie (w porównaniu z Polską – rys. 4) ich zasoby nie są rewelacyjnie duże, a ponadto złoża położone są na znacznych głębokościach (rys. 5)



Rys. 3. Lokalizacje wykorzystania biomasy na Lubelszczyźnie [7]
Fig. 3. Locations of biomass use in Lublin region [7].

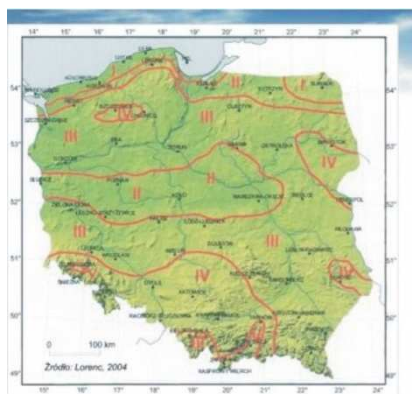


Rys. 4. Zasoby geotermalne Polski [8].
Fig. 4. Geothermal resources of Poland [8].



Rys. 5. Zasoby geotermalne Lubelszczyzny [8].
Fig. 5. Geothermal resources of Lublin region [8].

Kolejnym potencjalnym źródłem energii elektrycznej mógłby być wiatr. Mógłby być, gdyby jego intensywność była przynajmniej taka jak na wybrzeżu. Na rys. 6 przedstawiono warunki wiatrowe w skali kraju, a na rys. 7 w regionie lubelskim.



Rys. 6. Krajowe warunki wiatrowe [9].

Fig. 6. Wind conditions in Poland [9].

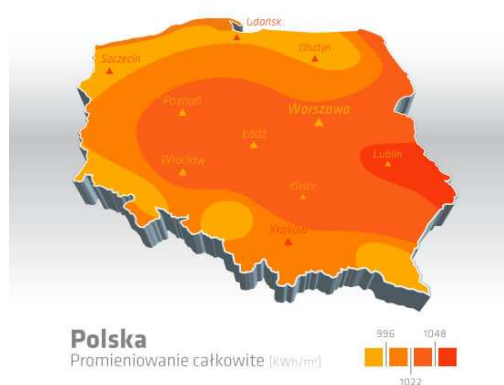


Rys. 7. Warunki wiatrowe Lubelszczyzny [8].

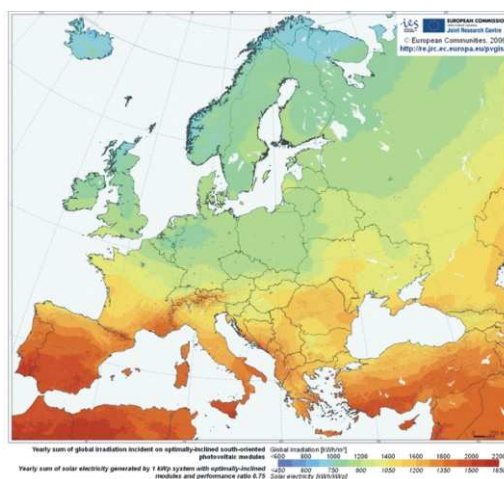
Fig. 7. Wind conditions in Lublin region [8].

Jak wynika z przedstawionych map, inwestycje w energetykę wiatrową na Lubelszczyźnie są ryzykowne i nie należy oczekiwać, że będzie ona stanowiła poważną alternatywę dla klasycznych rozwiązań energetycznych. Ponadto, energetyka wiatrowa – zupełnie niesłusznie - spotyka się zwykle z protestem ekologów.

Wypada nadmienić, że z kolei niekwestionowanym dobrem energetycznym Regionu jest najlepsze w kraju nasłonecznienie. Średniorocznie daje ono około 1700 godz. słonecznych, co jest lepszym wynikiem od światowego lidera w wykorzystaniu tej formy energetyki – Niemiec [10] (rys. 8 i 9).



Rys. 8. Mapa nasłonecznienia Polski [10].
Fig. 8. Map of insolation of Poland [10].



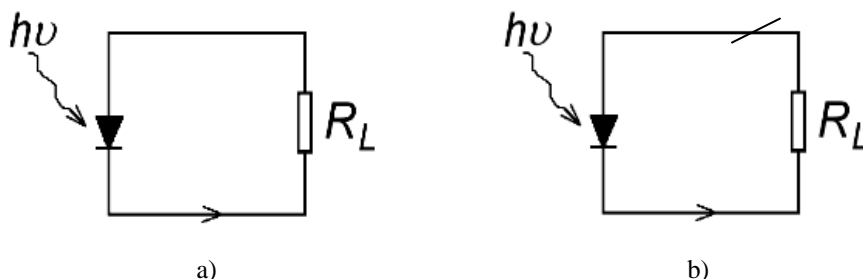
Rys. 9. Mapa nasłonecznienia Europy [11].
Fig. 9. Map of insolation of Europe [11].

Taka sytuacja daje możliwość wnikliwej analizy wykorzystania energii Słońca, jako potencjalnego zamiennika energetyki opartej na węglu. Zresztą, do takich działań zmusza nas dyrektywa UE [12] oraz konkluzje z podpisanego protokołu z Kyoto [13].

2. KONWERSJA FOTOWOLTAICZNA

Najbardziej uniwersalną formą energii w dobie naszej cywilizacji jest energia elektryczna. To właśnie z niej można w łatwy sposób uzyskać dowolną inną formę – ciepło, światło czy energię mechaniczną. Współcześnie realizowana konwersja fotowoltaiczna (PV) oparta jest na fotoefekcie zachodzącym zazwyczaj w materiałach półprzewodnikowych, polegającym na wygenerowaniu siły elektromotorycznej w wyniku oświetlenia umieszczonego w nim złącza p - n , bądź bariery Schotki'ego.

Proces ten nosi nazwę zjawiska fotowoltaicznego i stanowi podstawę działania ogniwa słonecznego [14]. Na rys. 10 przedstawiono schemat obwodu z fotoogniwem.



Rys. 10. Schemat fotoogniwa obciążonego rezystancją R_L : a) obwód zamknięty, b) obwód otwarty [14].

Fig. 10. Scheme of loaded photovoltaic cell with R_L resistance: a) short circuit, b) open circuit [14].

W tym miejscu należy rozważyć dwa przypadki - gdy elektrody ogniwa są zwarte (rys. 10a) i gdy obwód ogniwa jest otwarty (rys. 10b). W pierwszym przypadku prądy iniekcji równoważą prądy generowane termicznie i w obwodzie przepływają jedynie prądy generowane fotonami: elektronowy - z obszaru p do n i dziurowy - przeciwnie. Całkowita gęstość fotoprądu w przypadku ogniwa zwartego jest maksymalna i określana jest jako gęstość prądu zwarcia I_{sc} . Jest ona istotnym parametrem określającym jakość fotoogniwa. Dla ogniwa idealnego, czyli takiego, w którym wszystkie fotony o energiach $h\nu > E_g$ (gdzie E_g - przerwa energetyczna w półprzewodniku) są zaabsorbowane przez półprzewodnik i generują pary nośników ładunku tworzącego fotoprąd, wartość gęstości fotoprądu zależy tylko od przerwy energetycznej półprzewodnika i od natężenia promieniowania.

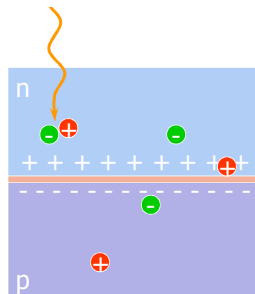
W przypadku, gdy elektrody ogniwa oświetlonego nie są zwarte - przez złącze płyną prądy związane z separacją ładunku wygenerowanych światłem par "elektron - dziura". W części n gromadzi się ładunek ujemny, w części p ładunek dodatni (rys. 11). Pojawia się fotonapięcie U_{ph} spolaryzowane w kierunku przewodzenia i przeciwne do wewnętrznego pola w złączu, pole elektryczne, które powoduje obniżenie bariery potencjalnej, czego wynikiem z kolei jest wzrost gęstości prądów iniekcji. Następuje zatem stan równowagi,

w którym gęstości prądów generowanych i wstrzykiwania są równe, przy czym $J_{ph} = J_{sc}$ (gęstość fotoprądu jest równa gęstości prądu zwarcia). Sumaryczna gęstość prądu płynącego w kierunku przewodzenia (prądu ciemnego) określa wyrażenie [14]:

$$J_d = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{k_B T}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

stąd napięcie obwodu otwartego:

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_0} + 1\right) \approx \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_0}\right). \quad (2)$$



Rys. 11. Schemat generacji par ładunków „elektron-dziura” przez fotony.

Fig. 11. Scheme of charge „electron-hole” pairs generation by photon.

Dla ogniwa doskonałego napięcie obwodu otwartego jest równe potencjałowi dyfuzyjnemu

$$V_D = E_g - (E_c - E_F) - (E_F - E_v) = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right), \quad (3)$$

gdzie: E_F – poziom Fermi’ego, N_A , N_D – gęstość stanów akceptorowych i donorowych, odpowiednio, n_i – koncentracja nośników samoistnych.

Maksymalna wartość fotonapięcia w tym stanie jest określana napięciem obwodu otwartego i jest kolejnym istotnym parametrem fotoogniwa.

Charakterystycznym parametrem wpływającym na efektywność fotokonwersji jest szerokość przerwy energetycznej półprzewodnika (E_g), w którym umieszczone jest złącze p - n . Gdy na fotoelement pada światło, to tylko fotony o energiach wyższych od E_g dają wkład do mocy wyjściowej. Pozostała energia optyczna powoduje jedynie chwilowe wzbudzenie fononów.

Założmy, że złącze ma idealną charakterystykę I - V . Aby mógł popłynąć prąd elektryczny, niech fotoelement będzie obciążony rezystancją R_L . Jeżeli fotoogniwo zostanie zwarte przez rezystancję obciążenia R_L (rys. 10a), wówczas gęstość fotoprądu (J_{ph}) jak i fotonapięcie będą mniejsze od wartości maksymalnych i zależne od wartości R_L . Wzrost rezystancji obciążenia powoduje zwiększenie fotonapięcia spolaryzowanego w kierunku

przewodzenia, co pociąga za sobą zmniejszenie bariery energetycznej złącza. Zwiększa się przy tym gęstość prądu ciemnego (J_d) i maleje gęstość prądu w kierunku zaporowym w obwodzie zewnętrznym. Jego wartość określa wyrażenie opisujące charakterystykę prądowo-napięciową:

$$J_L = J_{ph} - J_d = J_{ph} - J_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{k_B T}\right) - 1 \right]. \quad (4)$$

Zatem charakterystyka I-V może być przedstawiona jako:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qU}{k_B T}\right) - 1 \right] - I_L, \quad (5)$$

gdzie: I_s jest natężeniem prądu nasycenia, A – stanowi pole powierzchni złącza. Gęstość prądu nasycenia wynosi:

$$J_s = \frac{I_s}{A} = qN_c N_v \left[\frac{1}{N_A} \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} + \frac{1}{N_p} \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} \right] \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right), \quad (6)$$

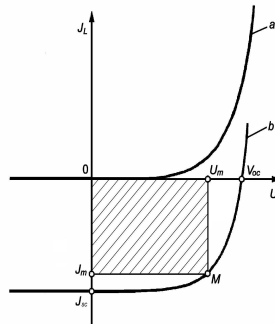
gdzie: τ_n , τ_p – średnie czasy życia elektronów i dziur, D_n , D_p – współczynniki dyfuzji elektronów i dziur.

Na rys. 12. przedstawiono wykres I - V takiego fotoogniwa. Na rysunku tym przedstawiono charakterystykę prądowo - napięciową, na podstawie której można określić moc fotoogniwa idealnego. Maksymalnie możliwa moc wydzielona w obwodzie jest zatem równa:

$$P_{id} = J_{sc} V_{oc}. \quad (7)$$

Dla napięcia obwodu otwartego V_{oc} lub gęstości prądu zwarcia J_{sc} moc w obwodzie zewnętrznym fotogniwa jest równa zero, gdyż w obwodzie otwartym prąd nie płynie, a dla obwodu zwartego napięcie wynosi zero. Maksymalną moc ogniwa osiągnąć można dobierając odpowiednią rezystancję obciążenia R_L , wówczas:

$$P_{max} = J_m V_m. \quad (8)$$



Rys. 12. Charakterystyka prądowo - napięciowa ogniwa słonecznego, a) ogniwo nieoświetlone, b) ogniwo oświetlone [14].

Fig. 12. I-V characteristic of photovoltaic cell, a) cell non exposed to light b) cell exposed to light [14].

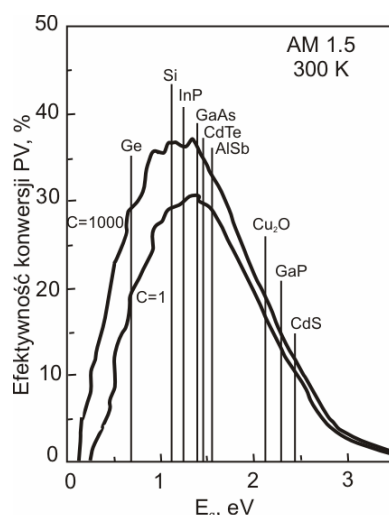
Charakterystyka prądowo-napięciowa przebiega przez czwartą ćwiartkę, co oznacza, że przyrząd jest właśnie źródłem energii. Idealna efektywność fotokonwersji może być określona wyrażeniem (9):

$$\eta = \frac{\text{pole } E_{\max} \cdot n_f}{\text{pole pod krzywą } I}, \quad (9)$$

gdzie: $I = 5.210^{17} \text{ eV/cm}^2 \text{ s}$.

Efektywność maksymalna sięga teoretycznie 31% dla przerwy energetycznej $E_g = 1.35 \text{ eV}$. Oznacza to, że optymalnej konwersji fotowoltaicznej można spodziewać się między innymi dla półprzewodników szerokopasmowych, chociażby złożonych z atomów grupy $A^{III}B^V$.

Rysunek 13 przedstawia idealną efektywność fotoogniwa zbudowanego z konkretnego materiału. Najbardziej rozpowszechnionym półprzewodnikiem dla zastosowań PV jest jednak krzem.



Rys. 13. Idealna efektywność fotoogniwa zbudowanego z konkretnego materiału [15].

Fig. 13. Ideal effectivity of photocells based on a various materials [15].

Prace technologiczne związane z wykorzystaniem krzemowych fotoogniw prowadzone są w kierunku obniżenia ich ceny równocześnie z zachowaniem wydajności kwantowej na poziomie nie niższym niż 10%. Obecne rozwiązania technologiczne pozwalają uzyskiwać przemysłowo struktury PV z krzemu monokrystalicznego do 20% sprawności, multikrystalicznego na poziomie 17-18% [16], a cienkowarstwowe struktury o sprawnościach do 10% [17]. W chwili obecnej, także na skalę przemysłową stosowane są i inne materiały, scharakteryzowane energetycznie w tabeli 1 [14].

*Tabela 1. Wartości przerw energetycznych wybranych półprzewodników.
Table 1. Values of energetic gaps of selected semiconductors.*

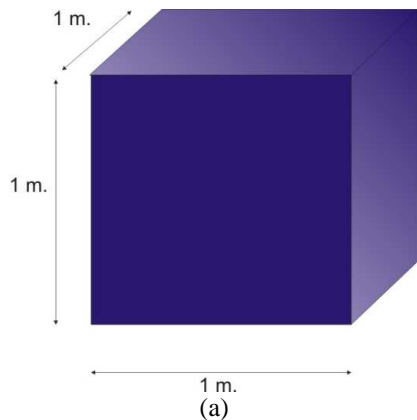
Półprzewodniki z prostą przerwą energetyczną	$E_g(\text{eV})$	Półprzewodniki ze skośną przerwą energetyczną	$E_g(\text{eV})$
CdS	2.42	AlAs	2.15
CdSe	1.74	GaP	2.25
GaAs	1.43	SnO ₂	3.50
InP	1.34	Ge	0.66
GaSb	0.72	Si (kryst.)	1.11
ZnSe	2.67		

Wartość przerwy energetycznej wpływa zasadniczo na wewnętrzną wydajność kwantową. Wydajność kwantowa wewnętrzna jest jednym z wielu czynników składających się na wydajność baterii słonecznej, lecz decydującym, gdyż ponad 50% energii padającego promieniowania nie jest transformowana na fotoprąd.

W dalszej części przeanalizujemy konwersję PV opartą na multikrystalicznych strukturach krzemowych.

3. ANALIZA POWIERZCHNI FARM FOTOWOLTAICZNYCH I KOSZTÓW MATERIAŁÓW KONWERTERÓW PV.

Założmy, że mamy do dyspozycji podstawowy surowiec fotowoltaiczny w postaci wlewki z multikrystalicznego krzemu (mc-Si), o wymiarach $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ (rys. 14).

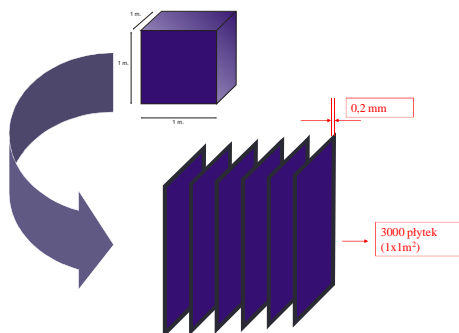


Rys. 14. Model wlewki mc-Si (a) i widok realnych bloków (b) [18].

Fig. 14. Ingot model of mc-Si (a) and view of a real blocks (b) [18].

Współczesne technologie pozwalają pociąć krysztaly za pomocą diamentowych pił drutowych na płytki o grubościach 0.2-0.3 mm (a nawet i cieńsze) (rys. 15). Nietrudno policzyć, że z jednego mm grubości bloku można uzyskać przynajmniej 3 płytki. W na-

szych rozważaniach są to płytki o powierzchni $1 \times 1 \text{ m}^2$. Wobec tego z bloku o kubaturze 1 m^3 (i wadze 2.33t) można uzyskać przynajmniej 3 tys. takich płytek.



Rys.15. Model pozyskiwania cienkich płytek ms-Si.

Fig.15. Model of obtaining thin ms-Si tiles.

Jeżeli nasłonecznienie Lubelszczyzny pozwala na uzyskanie gęstości mocy promieniowania słonecznego nawet na poziomie ok. 1000 W/m^2 , to przy sprawnościach konwersji PV multikrystalicznego krzemu rzędu 15-17%, z takiego bloku można uzyskać konwertery PV o sumarycznej mocy szczytowej ok. 0.5 MWp. Zatem dla uzyskania mocy 400MW (a taka moc jest obecnie zainstalowana na Lubelszczyźnie) potrzeba zatem powierzchni farm fotowoltaicznych (rys. 16) z modułów PV równej 230 ha. Stanowi to zaledwie 0.009% terytorium Lubelszczyzny. Z przeprowadzonych wcześniej analiz wynika, że jest to znacznie mniejsza powierzchnia, niż sumaryczna powierzchnia terenów marginalnych (nieużytki, wyeksploatowane wysypiska śmieci, hałdy powydobywcze, tereny piaszczyste itp.).



Rys.16. Widok współczesnej farmy fotowoltaicznej [19].

Fig.16. Photo of a modern solar PV farm [19].

Również koszty surowcowe mieszczą się w realnych ramach. Dla uzyskania za pomocą konwersji PV obecnie wytwarzanej w Regionie mocy energii elektrycznej potrzeba zatem ok. 800 m^3 mc-Si (ok. 2000 ton Si). Obecnie 1 kg mc-Si można kupić za ok. 60

EURO (a koszt jego wytworzenia jest wielokrotnie niższy). Wobec tego 2 tys. ton surowca mc-Si, który jest w stanie zabezpieczyć moc szczytową na poziomie 400MW kosztuje około 120 mln EURO. Nie jest to zatem porażająca kwota, tym bardziej, że jest to jednorazowy koszt, a krzemowe konwertery fotowoltaiczne mogą wytwarzać energię elektryczną bez wyraźnej utraty sprawności nawet przez kilkadziesiąt lat.

4. PODSUMOWANIE

Zainstalowana obecnie na Lubelszczyźnie moc siłowni elektroenergetycznych wynosi ok. 400MW. Energia ta jest głównie wynikiem spalania węgla. Podobną moc można uzyskać wykorzystując konwersję fotowoltaiczną energii Słońca. Przy wykorzystaniu konwerterów z krzemu multikrystalicznego wymaga to znikomych w skali Regionu powierzchni dla budowy farm fotowoltaicznych (ok. 230 ha). Na ten cel z powodzeniem można przeznaczyć tereny marginalne, których powierzchnie znacznie przekraczają ilość, potrzebną do budowy farm PV. Energia pozyskiwana z takich farm jest w stanie zastąpić energię wytwarzaną w konwencjonalnych siłowniach Lubelszczyzny.

Niniejsza praca powstała w ramach realizacji projektu IEE – „PVs in BLOOM”, 2008: Contract N^o: IEE-07-762/SI2.499457

5. LITERATURA

- [1] Dane Biura Planowania Przestrzennego, Lublin.
- [2] Dane GUS, 2009.
- [3] “Energy Balances of OECD Countries”- 2009 Edition.
- [4] G. Berent – Kowalska, J. Kacprowska, G. Kacperczyk, A. Jurgaś, Wydawca: Główny Urząd Statystyczny, Departament Przemysłu, Ministerstwo Gospodarki, Departament Energetyki, 2009.
- [5] Dane LUBZEL, Lublin 2010.
- [6] Materiały konferencji "Odnawialne źródła energii szansą na rozwój Lubelszczyzny", 5- 6 listopada 2009, Nałęczów.
- [7] B. Kościuk, Uprawa roślin energetycznych i wykorzystanie biomasy do produkcji energii, Materiały konferencji "Odnawialne źródła energii szansą na rozwój Lubelszczyzny", 5- 6 listopada 2009, Nałęczów.
- [8] Ewa Banak, Materiały konferencji_ "Odnawialne źródła energii szansą na rozwój Lubelszczyzny", 5- 6 listopada 2009, Nałęczów.
- [9] Dane IMiGW.
- [10] <http://www.watt.pl/content/view/150/210/lang.polish/>
- [11] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [12] Dyrektywa 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie wspierania na rynku wewnętrznym produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.
- [13] Protokół z Z Kioto (Dz. U. z dnia 17 października 2005 r.).
- [14] J.M. Olchowik, Cienkie warstwy w strukturach baterii słonecznych, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej 2006, 233 str.
- [15] Principal Conclusions of the American Physical Society Study Group on Solar Photovoltaic Energy Conversion, American Physical Society, N.Y., 1979.

- [16] Proc. of 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 21-25 September 2008, Hamburg (Germany).
- [17] <http://www.appliedmaterials.com>
- [18] <http://www.global-powerenergy.en.alibaba.com>
- [19] J.M. Olchowik et al, Strategic Vision Document, Project "PVs in Bloom", 2010.

CAN PHOTOVOLTAIC ENERGY SUPPLY LUBLIN REGION IN ELECTRICITY?

SUMMARY

Main subject of this work is to resolve problem of supplying Lublin region in electricity using natural resources of renewable energy. Possibility of using solar energy to produce electricity by PV conversion is taking into account in this considerations.

Paweł ORŁOWSKI, mgr inż. arch.

Politechnika Wrocławska
Wydział Architektury
ul. B. Prusa 53/55, 50-317 Wrocław
e-mail: pawel.orlowski@pwr.wroc.pl

ARCHITEKTURA WIEŻ WIDOKOWYCH NA TERENIE SUDETÓW

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono sposób kształtowania architektury wież widokowych na terenie Sudetów. Określono typologię budowli o wspólnych cechach oraz przyczyny gospodarcze i kulturowe powstawania takich inwestycji. Powyższe informacje zobrazowano ilustracjami przedstawiającymi charakterystyczne przykłady.

1. WPROWADZENIE

Śledząc historię Sudetów zauważamy, że od stuleci stanowią one ważny element w rozwoju całego dolnośląskiego regionu – nie tylko pod względem turystycznym czy krajoznawczym. Początkowo religijnym w formie pielgrzymek do miejsc kultu, a przede wszystkim naukowym i gospodarczym czy kształtowania ducha kultury narodu.

Architektura odpowiadająca każdemu z tych celów wpasowywała się w cały historyczny ciąg przyczynowo skutkowy, forma i funkcja jednych obiektów wpływała na inne. Pierwsze przeprawy przez najwyższe pasmo Sudetów Zachodnich dają początek dla budownictwa w postaci bud strażniczych, przekształcanych często w budy pasterskie. Te z kolei stawać się mogły w późniejszych okresach schronami dla przybywających turystów. Takim ruchom sprzyjał rozwijający się przemysł – górnictwo oraz hutnictwo, powodując wyrąb lasów, a to z kolei powstawanie łąk dając szansę pasterstwu czy rolnictwu. Naukowe ekspedycje z jeleniogórskiej szkoły już w XVI wieku udeptywały ścieżki na najwyższy szczyt Karkonoszy Śnieżkę oraz do źródeł Łaby, które stają się wkrótce celem pielgrzymek uduchowionego narodu. Napływ ludności to również wynik odkrycia mineralnych bogactw, rozkwitu uzdrowisk oraz stacji klimatycznych. Władze tychże kurortów dbają natomiast o rozwój architektury – nie tylko sanatoryjnej, ale także towarzyszącej, turystycznej. W wieku XIX obserwujemy powstanie linii kolejowej z Ber-

lina i masowy napływ turystów. Powstaje więc zapotrzebowanie na obiekty, które mogłyby ich obsłużyć. Oprócz schronisk są to również wieże widokowe, powstające jako samodzielne budowle lub element multifunkcyjnych zespołów wieńczących liczne szczyty Sudetów, a nierzadko tereny o niskiej randze turystycznej nieposiadających naturalnych wzniesień umożliwiających obserwację panoram górskich.

2. TYPOLOGIA

Biorąc pod uwagę formę architektoniczną oraz rzutującą na nią konstrukcję, można określić następującą klasyfikację budowli wieżowych o wspólnych cechach:

2.1 Wieża widokowa jako samodzielny, wolnostojący obiekt

- drewniana
- stalowa
- murowana
- o konstrukcji mieszanej, współczesna, powstała po 1945 roku

2.2 Wieża widokowa wraz z funkcją towarzyszącą

- (restauracją lub schroniskiem), o przeznaczeniu typowo turystycznym
- zespół samodzielnych, wolnostojących obiektów
 - zespół o zwartej zabudowie, w formie jednego rozbudowanego obiektu

2.3 Wieża widokowa w złożonym multifunkcyjnym zespole

- (wieża wraz ze schroniskiem/restauracją, kaplicą, przekątnikiem TV, urządzeniem sportowym, etc.), o przeznaczeniu nie tylko turystycznym
- zespół samodzielnych, wolnostojących obiektów
 - zespół o zwartej zabudowie, w formie jednego rozbudowanego obiektu

3. SPOSÓB KSZTAŁTOWANIA ARCHITEKTURY

Architektura obiektów turystyczno widokowych zależała od wielu czynników. Okresu, w jakim powstawały, lokalizacji, bogactwa surowcowego danego obszaru, budżetu fundatora, tradycji kulturowych, kondycji gospodarczej i duchowej narodu, przeznaczenia czy też kontekstu historycznego. Głównym motorem budowy tego typu obiektów były potrzeby natury turystycznej. Celem było uatrakcyjnienie uzdrowiska, umożliwienie obserwacji krajobrazu ponad koronami drzew porastającymi ciekawe wzniesienie górskie lub dostosowanie do tych celów już istniejących obiektów o pierwotnie odmiennej funkcji. To zarząd uzdrowiska w Łądku Zdroju był inicjatorem budowy drewnianej wieży na Borówkowej – najwyższego szczytu północnej części Gór Złotych, mając nadzieję na rozreklamowanie swojego kurortu. Konstrukcje drewniane przestają istnieć przeważnie po kilkunastu latach, dlatego wież tego typu na tym szczycie było trzy. Pierwsza budowla powstała w 1870 roku, ostatnia, najwyższa i najdłużej użytkowana, w 1908 roku. Miała 21 metrów wysokości i 3 kondygnacje z najwyższym tarasem na poziomie 15 metrów, na który prowadziło 97 stopni. Po 2 latach dobudowano do niej schron dla turystów. W takim stanie trwała do 1923r.

Gdy towarzystwo dysponowało większymi funduszami, bądź zaoszczędziło na pozyskaniu gruntu zdecydować się mogło na droższą, ale dużo trwalszą widokową wieżę

stalową. Niemieckie Towarzystwo Gór Ještědu i Gór Izerskich po zdobyciu dodatkowych środków na specjalnie zorganizowanym w tym celu festynie, zakupiło na wystawie wiedeńskiej wieżę, która stała na Slovance, w czeskiej części Gór Izerskich. Zmontowana została w 1887 roku na kamiennej podmurówce. Mierzy 11 metrów wysokości i posiada spiralną klatkę schodową. Po wojnie wieża popadła w ruinę, jednak pomimo starań właściciela pobliskiego schroniska o rozbiórkę, wieża została odremontowana i wpisana na listę zabytków.



Rys. 1 a), b). Trzecia wieża widokowa na szczycie Borówkowej. Źródło: [7],
Stalowa wieża na Slovance. Autor: Pavel Gejdoš,

Fig. 1 a), b). The third viewing tower on the top of Borůvkova. Source: [7],
Steel viewing tower on the top of Slovanka. Author: Pavel Gejdoš,

Historia średniowiecznych zamków pokazuje, że największe szanse na przetrwanie mają budowle murowane. Wieża widokowa o takiej konstrukcji na Wzgórzu Krzywoustego u stóp Jeleniej Góry, została wybudowana w 1911 roku - w 800-tą rocznicę wzniesienia w tym miejscu zamku przez Bolesława III Krzywoustego. Stoi do dziś, w przeciwieństwie do restauracji, z którą tworzyła zespół turystyczno-widokowy, stanowiąc największą atrakcję miasta. Budowla na planie elipsy o średnicy 8 metrów przy podstawie, mierzy 35 metrów wysokości, zaś taras widokowy, na który prowadzą pnące się po wewnętrznych ścianach kamienne schody, znajduje się 26 metrów nad ziemią. Częściowo odremontowana nadal pełni swoją funkcję.

Innym przykładem łączenia funkcji jest monumentalna, nieistniejąca już budowla na Pradziadzie, w paśmie Jesioniki. Otwarta w 1912 roku, wysoka na 32 metry wyglądała jak wieża romantycznego zamku. Mieściła restaurację, punkt widokowy oraz przewidywano miejsca noclegowe, które jednak nie zostały zrealizowane ze względu na brak funduszy. W wyniku aktów wandalizmu oraz zastosowania złego miejscowego budulca łatwo nasiąkającego wodą, wieża nie doczekała się obiecanego wzmocnienia konstrukcji i zawaliła się w 1959 roku. Na jej miejscu stoi od 1970 roku nowa budowla o konstrukcji stalowo-betonowej o wysokości 162 metry. Pomimo swojej funkcji przekaźnika telewizyjnego, spełnia także wymagania współczesnej turystyki. Posiada restaurację oraz taras na wysokości 70 metrów, na który dostać się można windą.



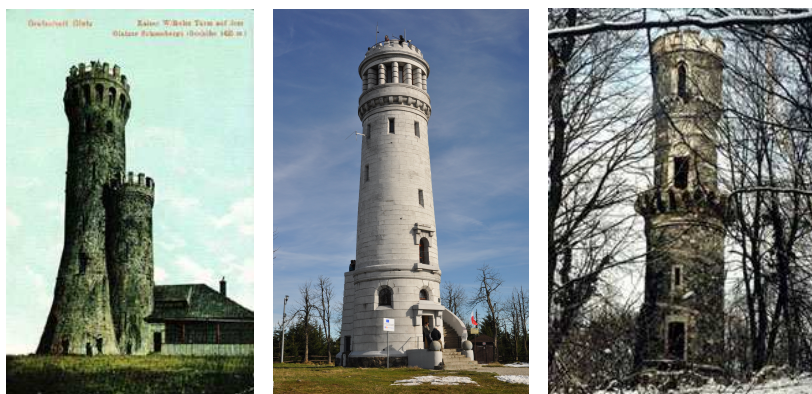
Rys. 2 a), b), c). Murowana wieża widokowa na Wzgórzu Krzywoustego. Zdjęcie autora,
 Nieistniejąca wieża na Pradziadzie. Źródło: [8],
 Obecna wielofunkcyjna wieża na Pradziadzie. Źródło: [9],
 Fig. 2 a), b), c). Made of brick viewing tower on the top of Krzywousty Hill .Owner photo,
 Nonexistent viewing tower on the top of Praděd. Source: [8],
 Present viewing tower on the top of Praděd. Source: [9],

Jednak często to nie czysta idea turystyki, a czynniki natury politycznej miały nie miały wpływ na kształt budowli. Nieistniejąca już wieża widokowa na Śnieżniku w Sudetach Wschodnich, powstała w 1899 roku i pomimo lokalizacji na najwyższym w okolicy, niezalesionym szczycie, była w owym czasie najwyższą wieżą w Sudetach mierząc 33,5 metra wysokości. Przypominała średniowieczną basztę zamkową i posiadała 2 tarasy widokowe, w tym jeden na sprawiającej wrażenie dobudowanej, niższej wieży na wysokości 17,4 metra. Symbolizować miały one braterstwo Niemiec i Austro-Węgier graniczących wówczas na Śnieżniku, gdzie wyższa odzwierciedlać miała potęgę niemiecką. Całość stanowiła pomnik cesarza niemieckiego Wilhelma I, nosiła jego imię oraz mieściła w parterze dużą salę z jego nadnaturalnej wielkości popiersiem i krytą szklaną kopułą. Nieremontowany po wojnie obiekt popadł w ruinę i został wyburzony w 1973 roku.

Podobnym manifestem władzy, swoistym hołdem, lecz na dużo szerszą skalę, okazały się budowle wieżowe ku czci kanclerza Rzeszy, Otto von Bismarcka. W wyniku ogłoszonego konkursu powstał projekt Wilhelma Kreisa „Zmierzch Bogów”. Wieży o antycznych tradycjach z kwadratowym cokołem, mocno zarysowanymi kolumnami w narożach, wspierających misę ogniową. Płomień miał być zapalany w charakterystyczne dni związane z życiem kanclerza, jak np. rocznice dat urodzin i śmierci, czy ważnych działań militarnych. Budowli według tego projektu wybudowano 47, jednak wszystkich wież poświęconych Bismarckowi, częściowo wzorowanych na oryginale powstało aż 240. Wieża Bismarcka na Wielkiej Sowie w Górach Sowich zbudowana w 1906 roku, na odbiegającym od pierwowzoru planie koła o średnicy przy podstawie 8 metrów, mierzy 25 metrów wysokości. Pierwotnie znajdowała się na parterze izba pamięci poświęcona kanclerzowi, mieszcząca jego popiersie oraz kolorowe witraże w oknach przedstawiające sceny z jego życia. Kręte schody zewnętrzne wokół cokołu prowadzą do wewnętrznej

spiralnej klatki schodowej na taras, gdzie umieszczony był stanowiący „Ogień wieży” reflektor acetylenowy.

Po zakończeniu II wojny światowej, podjęto próbę pozbycia się historycznych skojarzeń, oficjalnie zmieniając nazwę budowli, na wieżę imienia generała Władysława Sikorskiego (w 1945r.), następnie na wieżę dr Mieczysława Orłowicza, aktywnego działacza PTTK (w 1980 r.). Obie nazwy nie przyjęły się.



Rys. 3 a), b) i c). Nieistniejąca wieża na Śnieżniku. Źródło: [8],
 Murowana wieża Bismarcka na Wielkiej Sowie. Zdjęcie autora,
 Wieża Bismarcka na Jańskiej Górze k. Jordanowa Śląskiego. Źródło: [8],
 Fig. 3 a), b) i c). Nonexistent viewing tower on the top of Śnieżnik. Source: [8],
 Made of brick Bismarck tower on the top of Wielka Sowa. Owner photo,
 Bismarck tower on the top of Janska Mountain. Source: [8],

Wzmógł się ruch turystyczny pod koniec XIX wieku, pokazał inny rodzaj polityki budowania wież widokowych. Powstały wówczas liczne towarzystwa górskie, które zdawały się rywalizować o liczbę obiektów, starając się zagospodarować najwyższy szczyt na swoim obszarze. Powodowało to niekiedy konflikty na poziomie administracyjnym i budżetowym, kiedy dana lokalizacja zainteresowane było już inne towarzystwo bądź sekcja lub budżet zakładał finansowanie bardziej potrzebujących inwestycji niż wieże widokowe na szczytach niewymagających dodatkowych wyniesień. Dodatkowe utrudnienia zapewniaли właściciele gruntów, którzy często negocjowali niekorzystne dla towarzystw warunki zmuszające je do dużych ustępstw.

4. PODSUMOWANIE

Obecnie do największych problemów zalicza się już nie tylko kwestia budowania kolejnych wież, a utrzymania istniejących. W ruinie jest wieża Bismarcka w Jańskiej Górze na Przedgórzu Sudeckim, stalowa wieża na Ostrej Górze w Górach Bardzkich i wiele innych zarastających gęstym lasem. Często jako wynik działań ekologów walczących o utrzymanie ekosystemu zabraniając koniecznej wycince. Dla części obiektów wybawieniem staje się prywatyzacja, dla części może być ona wyrokiem – nawet, jeśli oznacza to

tylko zmianę jego funkcji jak np. instalacja przekazników telewizyjnych na wieży nad Śnieżnymi Kotłami pozbawiając ją ruchu turystycznego.

Niezależnie od pierwotnych powódek budowy tego typu obiektów, stały się one na przestrzeni dziejów magnesem przyciągającym turystów. Wędrówka do miejsc wyposażonych w dodatkową atrakcję umożliwiającą łatwiejsze obserwowanie okolicy jest naturalnie bardziej interesujące. Wieże widokowe, którym towarzyszą usługi gastronomiczne (np. schronisko, restauracja) lub urządzenie sportowe (np. skocznia narciarska, tor saneczkowy), zachęcają także do wydłużenia pobytu na punkcie widokowym, odpoczywając czy aktywnie spędzając czas.

Pomimo głosów przeciwników takiej komercjalizacji i nasilania ruchu turystycznego w miejscach często będących fragmentem obszaru ochrony przyrody, główną być powinna idea promocji regionów górskich, przyrody oraz charakterystycznej architektury, z jednoczesnym poszanowaniem tych wartości.

5. LITERATURA

- [1] Bracia Albert Architekci w Jeleniej Górze, Akta miasta Jeleniej Góry, Akta gminy Szklarska Poręba, Zbiory Archiwum Państwowego, Oddział w Jeleniej Górze,
- [2] Roczniki: jeleniogórski oraz wałbrzyski, Ossolineum, Wrocław, do roku 1988,
- [3] Sudety, miesięcznik, Oficyna Wydawnicza Atut, Wrocław, od roku 2002,
- [4] Skarbiec ducha gór, miesięcznik, Muzeum Okręgowe w Jeleniej Górze, od roku 1998,
- [5] Karkonosze, miesięcznik, Wojewódzki Dom Kultury w Jeleniej Górze, do roku 1995,
- [6] Turysta Dolnośląski, miesięcznik, Wydawnictwo Extemplo, od roku 2002,
- [7] Andrzej Wziętek; Gminy Masywu Śnieżnika na dawnej pocztówce, Wydawnictwo Kolekcjoner, Opole, 2000,
- [8] <http://www.naszესudety.pl/>,
- [9] <http://pira.cz/>,
- [10] <http://www.bismarcktuerme.de/>,

ARCHITECTURE OF VIEWING TOWERS IN SUDETY MOUNTAINS

SUMMARY

The article presents a method of shaping the architecture of viewing towers in Sudety mountains. A typology of buildings with common characteristics and economic and cultural causes of formation such investments was identified. All information is illustrated with pictures of typical examples.

Arkadiusz OSTOJSKI, dr inż.

Ewa ZABOROWSKA, dr inż.

Politechnika Gdańska

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW TECHNICZNYCH NA CHARAKTERYSTYKĘ ENERGETYCZNĄ BUDYNKU

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono analizę parametrów, które mogą wpływać na charakterystykę energetyczną budynków mieszkalnych wielorodzinnych. Analizą objęto stan ochrony cieplnej budynku, rodzaj źródła ciepła oraz strumienie powietrza wentylacyjnego wynikające z wyposażenia lokali mieszkalnych. Wskazane zostały uwarunkowania uzyskania wartości wskaźnika EP [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$] budynku poniżej wartości granicznych, określonych w przepisach techniczno-budowlanych.

1. WSTĘP

Wprowadzenie obowiązku sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r., zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1] oraz według metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej [2], postawiło przed projektantami, audytorami, inwestorami nowe wyzwania i nowe problemy. Dotrzymanie aktualnych, rygorystycznych wymagań w zakresie niskiego zapotrzebowania na energię pierwotną dostarczaną do budynku, wymaga przewartościowania dotychczasowych, powszechnie stosowanych rozwiązań technicznych oraz metod projektowych. W obecnie obowiązującej metodologii promowane są odnawialne źródła energii, których wykorzystanie pozwala znacząco obniżyć zapotrzebowanie na energię pierwotną. Uzasadnione stają się więc analizy możliwości zastosowania energii słonecznej, geotermalnej lub biomasy, które mogą prowadzić jednak do konkluzji o braku racjonalnych przesłanek ekonomicznych uzasadniających ponoszenie wysokich

nakładów inwestycyjnych lub o braku dostępności odpowiednich zasobów. W tej sytuacji warto przyrzeć się bliżej parametrom, które mogą wpływać na zapotrzebowanie na energię pierwotną i decydować o spełnieniu warunków technicznych (WT 2008) postawionych w aktualnych przepisach budowlanych.

Uzyskanie wartości wskaźnika EP [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$], określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia, na poziomie niższym od wartości granicznych odpowiadających wymaganiom postawionym w rozporządzeniu [1] okazuje się niełatwym zadaniem. Poniższa analiza ma na celu określenie, jaki wpływ na wskaźnik EP , wyznaczany zgodnie z obowiązującą metodyką [2], mają poszczególne parametry budynku mieszkalnego wielorodzinnego. Wśród nich wytypowano:

- elementy ochrony cieplnej (izolacyjność termiczna przegród budowlanych, mostki cieplne),
- rodzaj i sprawność źródła ciepła,
- wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego wynikający ze standardu wyposażenia budynku.

2. CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANEGO BUDYNKU

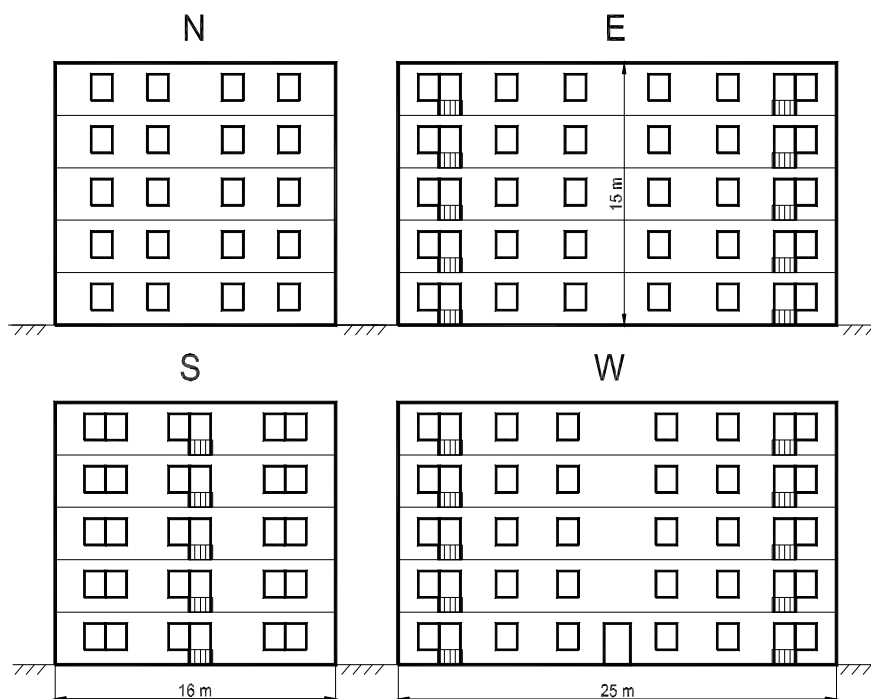
Obliczenia przeprowadzono na przykładzie wolnostojącego, podpiwniczego (piwnice nieogrzewane) budynku wielorodzinnego, którego szkic elewacji zamieszczono na rys. nr 1. Podstawową charakterystykę obiektu podano w tab. 1.

Zgodnie z wymaganiami rozporządzenia [1] wartość referencyjna wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną $EP_{H+W,ref}$ do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej zależy od wskaźnika kubaturowego A/V_e . Dla budynków mieszkalnych i zakresu $0,20 \leq (A/V_e) \leq 1,05$ wartość tę określa się następująco:

$$EP_{H+W,ref} = 55 + 90 \cdot (A/V_e) + \Delta EP \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{rok})] \quad (1)$$

W równaniu (1) dodatek ΔEP na jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej w ciągu roku wyznaczany jest jak niżej:

$$\Delta EP = EP_{W,ref} = 7800/(300 + 0,1 \cdot A_p) \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{rok})] \quad (2)$$



Rys. 1. Szkic elewacji budynku mieszkalnego
Fig. 1. The outline of the residential building facade

Tabela 1. Ogólna charakterystyka budynku
Table 1. General description of the building

Wyszczególnienie	Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Liczba kondygnacji	-	-	5
Liczba lokali mieszkalnych	-	-	30
Liczba mieszkańców	-	-	75
Powierzchnia użytkowa ogrzewana	A_f	m ²	2.000
Temperatura obliczeniowa/eksploatacyjna	θ_i	°C	20
Kubatura ogrzewana mierzona po obrysie zewnętrznym	V_e	m ³	6.000
Powierzchnia przegród oddzielających przestrzeń ogrzewaną od przestrzeni zewnętrznej i nieogrzewanej	A	m ²	2.030
Współczynnik kształtu budynku	A/V_e	m ³ /m ²	0,338
Lokalizacja budynku	Gdynia		
Stacja meteorologiczna – zgodnie z danymi meteorologicznymi zamieszczonymi na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury [3]	Gdańsk – Port Północny		

Dla analizowanego budynku wartość referencyjna $EP_{H+W,ref}$ wynosi 101,1 kWh/(m²rok). Gdyby ten sam budynek nie był budynkiem nowobudowanym, a jedynie przebudowywanym, wartość graniczna mogłaby być wyższa o 15% i wyniosłaby 116,2 kWh/(m²rok). Wartości składowe wskaźnika globalnego, wyodrębnione dla ogrzewania oraz dla przygotowania ciepłej wody użytkowej, podano w tab. 2.

Tabela 2. Składowe wartości referencyjne wskaźnika $EP_{H+W,ref}$ [kWh/(m²rok)]
Table 2. The components of the primary energy needs reference indicator $EP_{H+W,ref}$ [kWh/(m²rok)]

Składowa wartości referencyjne	Oznaczenie	Budynek nowy	Budynek przebudowywany
Ogrzewanie i wentylacja	$EP_{H,ref}$	85,5	98,3
Ciepła woda użytkowa	$EP_{W,ref}$	15,6	17,9
Razem ogrzewanie, wentylacja i ciepła woda	$EP_{H+W,ref}$	101,1	116,2

3. WARIANTY OBLICZEŃ W ZAKRESIE OCHRONY CIEPLNEJ

Konstrukcja budynku jest tradycyjna, ze ścianami z cegły pełnej i żelbetowymi stropami oraz izolacją z wełny mineralnej. Wybrane do obliczeń warianty ochrony cieplnej budynku wyszczególniono w tab. 3. różniły się przyjętymi wartościami współczynnika przenikania ciepła dla przegród budowlanych.

Tabela 3. Warianty ochrony cieplnej budynku
Table 3. The versions of the building thermal protection

Wariant	Opis wariantu
WT2008	przegrody budowlane spełniają wymagania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 6.11.2008 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2008 r. nr 201, poz. 1238) [1]
WT2008 plus	budynek energooszczędny, przegrody budowlane przewyższają wymagania wariantu WT2008 w zakresie ochrony cieplnej, brak mostków termicznych
WT2002	przegrody spełniają wymagania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. nr 75 poz. 690) [4],
PN1991	przegrody odpowiadają wymaganiom normy PN-B-02020:1991 [5]

Przedstawione warianty uwzględniają zatem różne okresy wznoszenia budynków. Współczynniki przenikania ciepła przegród nieprzezroczystych obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946: 2008 [6], a liniowe współczynniki przenikania ciepła mostków termicznych - według PN-EN ISO 14683: 2007 [7]. Współczynniki przenikania ciepła dla okien przyjęto według aprobat technicznych producenta. Zestawienie przegród budowlanych i odpowiadających im współczynników przenikania ciepła podano w tab. 4.

Tabela 4. Zestawienie przegród budowlanych
Table 4. The setting-up of the building envelope components

Przegroda	Obliczeniowy współczynnik przenikania ciepła U [W/(m ² K)]			
	Warianty ochrony cieplnej budynku			
	WT2008plus	WT2008	WT2002	PN1991
Ściana zewnętrzna	0,20	0,30	0,31	0,54
Stropodach	0,15	0,25	0,27	0,27
Strop nad piwnicą nieogrzewaną	0,29	0,45	0,59	0,59
Okna	1,00	1,50	2,00	2,60

Instalacja wentylacyjna w budynku jest grawitacyjna. Strumienie powietrza wentylacyjnego, zgodnie z wymaganiami higieniczno-sanitarnymi, określono według PN-B-03430:1983/Az3:2000 [8]. Założono, że budynek nie był poddany próbie szczelności. Dla potrzeb oceny wpływu ochrony cieplnej budynku przyjęto wyposażenie lokali mieszkalnych w kuchni z kuchenkami elektrycznymi oraz łazienki.

Wskaźniki EU_H rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji budynku pokazano w tab. 5.

Tabela 5. Zestawienie wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania
Table 5. The setting-up of the indicators of useful energy needs for heating

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU_H [kWh/(m ² rok)]			
WT2008plus	WT2008	WT2002	PN1991
45,6	58,8	67,2	83,4

Jednostkowe zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej określono zgodnie z rozporządzeniem [2], jak dla lokali wyposażonych w wodomierze, tj. przy jednostkowym zużyciu c.w.u. o temperaturze 55°C wynoszącym 38,4 m³/(j.o.d). Zapotrzebowanie to wynosi 24,8 kWh/(m²rok).

4. WARIANTY OBLICZEŃ W ZAKRESIE ŹRÓDEŁ CIEPŁA

Wybrane, wariantowe rodzaje źródeł ciepła zainstalowanych w budynku zestawiono w tab. 6. Sprawności cząstkowe źródeł i instalacji, określające sprawność wytwarzania ciepła, dystrybucji, akumulacji i regulacji, przyjęto zgodnie z metodologią sporządzania świadectw [2]. W budynku przyjęto centralną instalację c.o. z grzejnikami wyposażonymi w zawory z głowicami termostatycznymi, regulowaną pogodowo, z zaizolowanymi przewodami, poziomami instalacyjnymi prowadzonymi w piwnicy nieogrzewanej, pionami prowadzonymi w brudach ściennych, a gałkami w systemie podposadzkowym. Zasobnik ciepła przyjęto tylko dla układu zasilanego przez pompy ciepła. Przygotowanie ciepłej wody użytkowej jest centralne, przewody są zaizolowane, a obieg cyrkulacyjny sterowany termostatycznie. Dla wszystkich układów, z wyjątkiem węzła cieplnego, założono wyposażenie w zasobniki c.w.u. (wymenniki pojemnościowe).

Tabela 6. Zestawienie źródeł ciepła
Table 6. The setting-up of the heat sources

Rodzaj źródła ciepła	Sprawność całkowita		Współczynnik nakładu
	Ogrzewanie i wentylacja	Ciepła woda użytkowa	
	$\eta_{H,tot}$	$\eta_{W,tot}$	
Kotłownia węglowa	0,72	0,49	1,1
Tradycyjna kotłownia gazowa/olejowa	0,83	0,54	1,1
Kotłownia gazowa kondensacyjna	0,89	0,55	1,1
Sprężarkowa pompa ciepła (glikol/woda)	3,06	1,79	3,0
Kolektory słoneczne (dla układu c.w.u.)	-	0,60	0,0
Węzeł cieplny zasilany z elektrociepłowni	0,90	0,68	0,8
Kotłownia na drewno (pelety)	0,63	0,43	0,2
Kotłownia na biogaz	0,83	0,54	0,2

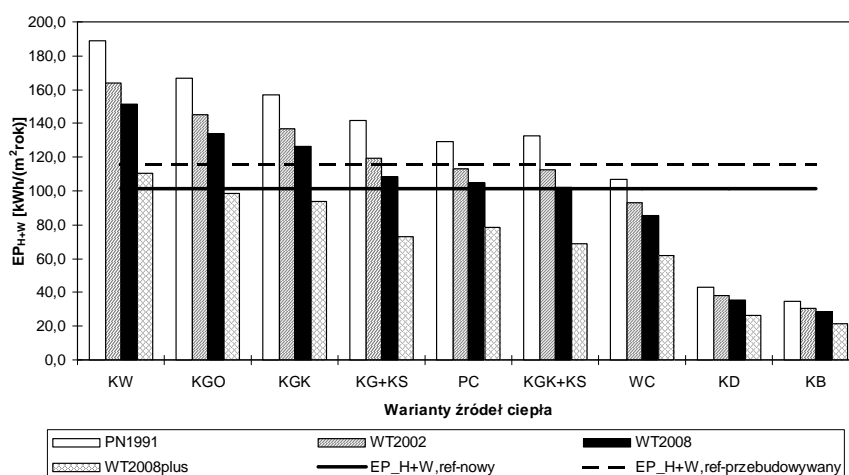
Współczynniki w_i nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla poszczególnych nośników przyjęto zgodnie z rozporządzeniem [2]. Dla rozstrzygnięcia wątpliwości związanych ze współczynnikiem nakładu dla węzła cieplnego wysokoparametrowego, zasilanego z elektrociepłowni miejskiej, posłużono się wartością podaną przez wytwórcę ciepła – Zespół Elektrociepłowni Wybrzeże, dla gdyńskiego systemu ciepłowniczego [9]. Wyszczególnione źródła ciepła są wspólne dla instalacji grzewczej i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Wyjątek stanowią kolektory słoneczne wspomagające przygotowanie c.w.u. (układ biwalenty), dla których przyjęto pokrycie 50% rocznego zapotrzebowania na energię użytkową. Warianty źródeł ciepła wymieniono w tab. 7.

Tabela 7. Warianty źródeł ciepła
Table 7. The versions of the heat sources

Wariant	Opis wariantu
KW	kotłownia węglowa
KGO	tradycyjna kotłownia gazowa lub olejowa
KGK	kotłownia gazowa kondensacyjna
PC	sprężarkowa pompa ciepła
KG+KS	tradycyjna kotłownia gazowa oraz kolektory słoneczne wspomagające układ c.w.u.
KGK+KS	kotłownia gazowa kondensacyjna oraz kolektory słoneczne wspomagające układ c.w.u.
WC	węzeł cieplny wysokoparametrowy
KD	kotłownia na drewno (pelety)
KB	kotłownia na biogaz

5. DYSKUSJA WYNIKÓW

Wskaźniki zapotrzebowania na energię pierwotną wyznaczono dla wybranych wariantów ochrony cieplnej budynku i zasilania z różnych źródeł ciepła oraz porównano z wartościami referencyjnymi, określonymi równaniami (1) i (2). Wyniki w formie graficznej przedstawiono na rys. 2. Aktualne wymagania w zakresie oszczędzania energii w budynku mieszkalnym poprzez utrzymanie jej zużycia „na racjonalnie niskim poziomie”, tj. poniżej wartości granicznej $EP_{H+W,ref}$ dla budynku nowego, spełniły kotłownie zasilane paliwami odnawialnymi i węzeł ciepłny. Przy wyposażeniu budynku w kotłownię zasilane paliwami kopalnymi (węgiel, gaz ziemny, olej opałowy), źródła biwalentne lub pompę ciepła przekroczono dopuszczalne wartości maksymalne zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Budynek energooszczędny (WT2008plus) nie dotrzymał standardów tylko przy kotłowni węglowej. W pozostałych przypadkach, dla budynków wzniesionych przed wejściem w życie rozporządzenia [1], możliwe jest uzyskanie niskiego wskaźnika EP_{H+W} tylko przy zastosowaniu odnawialnych źródeł ciepła lub ciepła pochodzącego z kogeneracji. Z przykładów tych wynika, że negatywne skutki niskiego standardu ochrony cieplnej budynku mogą być niwelowane przez dobór źródła ciepła o niskim współczynniku nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej lub, co oczywiste poprzez termomodernizację w zakresie przegród lub/i instalacji.

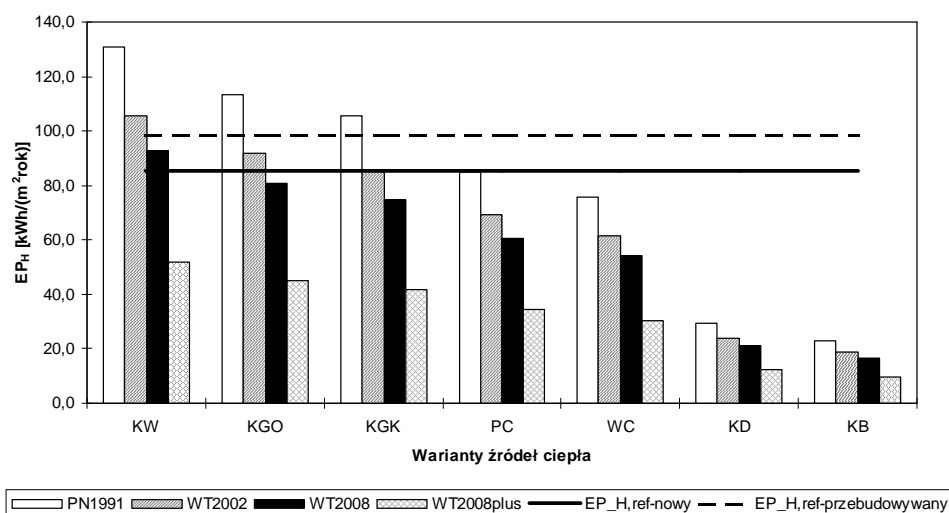


Rys. 2. Obliczeniowe i referencyjne wskaźniki EP_{H+W} dla wybranych wariantów ochrony cieplnej budynku oraz różnych źródeł ciepła

Fig. 2. The calculated and the reference EP_{H+W} indicators for the chosen versions of the building thermal protection and different heat sources

Prowadząc dalszą analizę odrębnych wskaźników składowych globalnego zapotrzebowania na energię pierwotną budynku: EP_H dla ogrzewania i wentylacji oraz EP_W dla przygotowania ciepłej wody użytkowej, można wskazać, które z zapotrzebowań ma większy wpływ na osiągnięty wynik. Na rys. 3 przedstawiono wyniki porównania wskaźników zapotrzebowania na energię ogrzewania i wentylacji. Budynek energooszczędny

(WT2008plus) osiąga wartości wskaźnika EP_H dużo niższe niż budynek referencyjny. Nie ma też problemu z osiągnięciem $EP_H \leq EP_{H,ref}$ dla budynku według wariantu WT2008, za wyjątkiem przypadku zastosowania kotłowni węglowej. Pozostałe warianty, o niższym standardzie ochrony cieplnej, wykazują przekroczenie wartości granicznych, zarówno dla obiektów nowych, jak i przebudowywanych, w przypadku zastosowania kotłowni tradycyjnych na paliwa konwencjonalne.

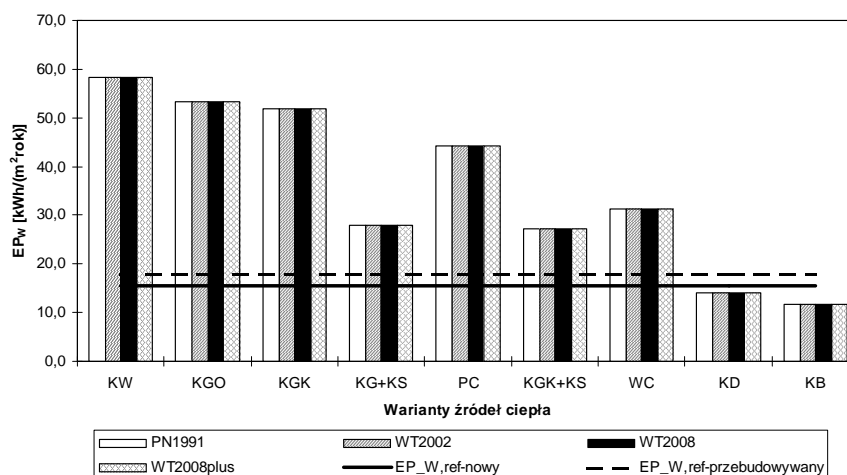


Rys. 3. Obliczeniowe i referencyjne wskaźniki EP_H dla wybranych wariantów ochrony cieplnej budynku oraz różnych źródeł ciepła

Fig. 3. The calculated and the reference EP_H indicators for the chosen versions of the building thermal protection and different heat sources

Wskaźniki zapotrzebowania na energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej EP_W są jednakowe dla wszystkich wariantów ochrony cieplnej budynku, a zależą tylko od źródła zasilania w energię cieplną. Jak wynika z rys. 4, spełnienie warunku $EP_W \leq EP_{W,ref}$ można uzyskać wyłącznie przy zastosowaniu odnawialnych źródeł ciepła, takich jak biomasa i biogaz. Dla rozpatrywanych tu źródeł biwalentnych udział kolektorów słonecznych w pokryciu rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody musiałby wynosić ok. 80%. Wszystkie inne przypadki przekraczają graniczne wartości zapotrzebowania na energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody. Wysokie wartości wskaźnika EP_W wynikać mogą z niskich sprawności całkowitych źródeł ciepła, związanych m.in. z dystrybucją i akumulacją ciepłej wody użytkowej. Jednak, jak pokazują symulacje, podwyższenie sprawności źródła i instalacji może nie być wystarczające do osiągnięcia wyniku referencyjnego.

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że osiągnięcie całkowitego wskaźnika EP_{H+W} poniżej wartości dopuszczalnej może być w znacznej mierze uwarunkowane sposobem zaopatrzenia budynku w ciepłą wodę użytkową. Dla ograniczenia negatywnego



Rys. 4. Obliczeniowe i referencyjne wskaźniki EP_w dla różnych źródeł ciepła
 Fig. 4. The calculated and the reference EP_H indicators for different heat sources

wpływu wskaźnika EP_w alternatywą jest np. ponadstandardowa izolacyjność cieplna przegród budowlanych (przezroczystych i nieprzezroczystych). Zastosowanie współczynników przenikania ciepła zgodnie z aktualnymi przepisami techniczno-budowlanymi nie gwarantuje uzyskania wartości zapotrzebowania na energię pierwotną EP_{H+W} poniżej wartości granicznych, określonych w tych przepisach. Przyczyną tego stanu jest bardzo niska wartość referencyjna wskaźnika EP_w , którą ustawodawca uzależnił od powierzchni użytkowej budynku (równanie (2)), a nie od zużycia wody i liczby mieszkańców. W budynku referencyjnym składowa dla ogrzewania stanowi 84,6%, a składowa dla ciepłej wody użytkowej tylko 15,4% wartości całkowitej $EP_{H+W,ref}$. W przykładowym budynku „rzeczywistym” udział ciepłej wody użytkowej w kształtowaniu wartości EP_{H+W} waha się od ok. 26% do 42%.

6. WARIANTY OBLICZEŃ W ZAKRESIE WENTYLACJI

Zmiana wyposażenia funkcjonalnego lokali mieszkalnych wiąże się ze zmianą obliczeniowych strumieni powietrza wentylacyjnego V_o [m³/h], wymaganych ze względów higieniczno-sanitarnych w tym lokalu i całym budynku. Wybrane warianty wyposażenia lokali mieszkalnych wyszczególniono w tab. 8.

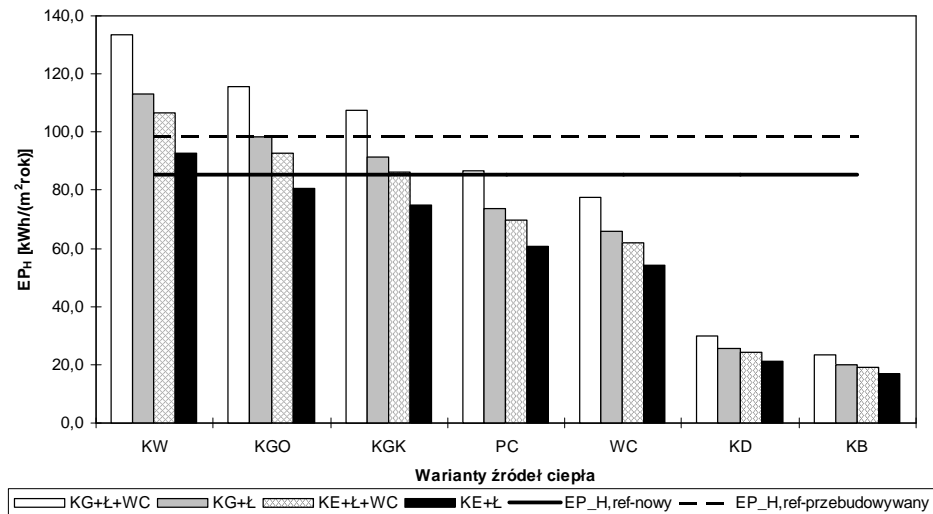
Tabela 8. Warianty wyposażenia lokali mieszkalnych
 Table 8. The versions of the flats facilities

Wariant	Opis wariantu	ΣV_o [m³/h]
KE+Ł	kuchnia z kuchenką elektryczną i łazienka	80
KE+Ł+WC	kuchnia z kuchenką elektryczną, łazienka i osobne WC	110
KG+Ł	kuchnia z kuchenką gazową i łazienka	120
KG+Ł+WC	kuchnia z kuchenką gazową, łazienka i osobne WC	150

We wszystkich wariantach przyjęto, że instalacja wentylacyjna w budynku jest grawitacyjna. Minimalne strumienie powietrza wentylacyjnego określono według PN-B-03430:1983/Az3:2000 [8]. W obliczeniach uwzględniono strumienie powietrza infiltrującego do budynku. Założono przy tym, że budynek nie był poddany próbie szczelności. W zakresie ochrony cieplnej wszystkie przypadki odpowiadają standardom określonym dla WT2008. Udział strat ciepła przez wentylację w całkowitych rocznych stratach ciepła budynku zmienia się w poszczególnych konfiguracjach od ok. 47% do 61%. Wpływ strumienia wentylacyjnego może zatem okazać się równie istotny, jak parametry przegród budowlanych wpływające na straty i zyski ciepła.

7. DYSKUSJA WYNIKÓW

Rys. 5 przedstawia wpływ zmiany wyposażenia lokali mieszkalnych (wzrostu ilości powietrza wentylacyjnego) na wskaźnik zapotrzebowania budynku na energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji EP_H . Budynek mieszkalny z lokalami wyposażonymi w kuchnie z kuchenkami elektrycznymi i łazienki może spełnić warunek $EP_H \leq EP_{H,ref}$ dla wszystkich rozpatrywanych wariantów źródeł ciepła, za wyjątkiem kotłowni węglowej. Jeżeli lokale w budynku będą posiadały dodatkowo osobne WC, wówczas przekroczenie pożądanego wartości osiągnięte zostanie dla wszystkich paliw kopalnych. Analogiczna sytuacja wystąpi przy wyposażeniu mieszkań w kucharki gazowe. Największe trudności pojawiają się dla mieszkań, w których przewidziano kuchnie z kuchenkami gazowymi, łazienki i osobne WC. Ten wariant wymaga zainstalowania węża ciepłego zasilanego z elektrociepłowni lub kotłowni na biomasę.



Rys. 5. Wartości wskaźnika EP_H dla różnych strumieni objętości powietrza wentylacyjnego

Fig. 5. The EP_H indicators for different ventilation air volume flow

W konsekwencji wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP_{H+W} wykazuje również wrażliwość na standard wyposażenia lokali mieszkalnych

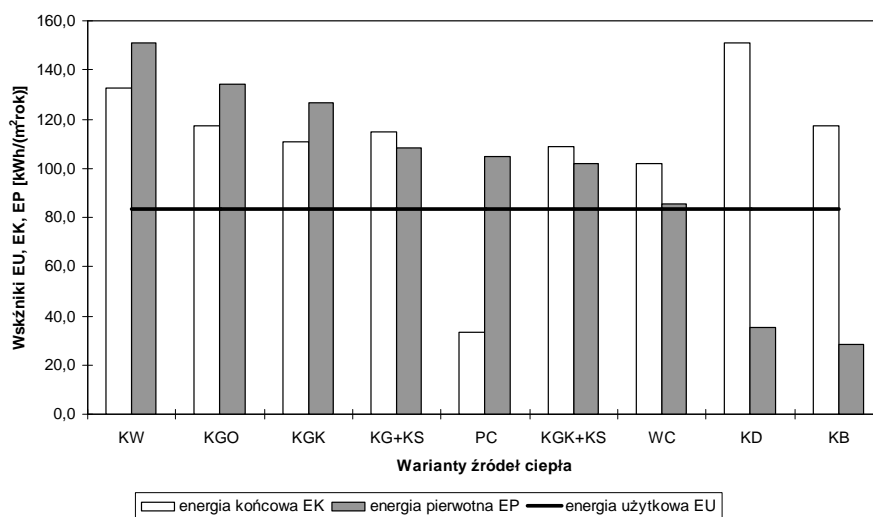
w budynku. Strumień objętości powietrza wentylacyjnego może decydować o zachowaniu granicznej wartości wskaźnika EP_{H+W} dla zastosowanego źródła ciepła.

8. WSKAŹNIK EK A WSKAŹNIK EP

Na koniec rozważań warto zwrócić uwagę na wskaźnik EK rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Jego wartość zależy od sprawności całkowitej źródeł ciepła i instalacji odbiorczych. Jest to wielkość o szczególnym znaczeniu dla użytkownika, ponieważ określa energię, która powinna być dostarczona do budynku w postaci czynnika grzejącego, paliwa czy energii elektrycznej, przy założonych warunkach brzegowych i przyjętym sposobie użytkowania. Pozwala to na oszacowanie kosztów i porównanie z innymi, alternatywnymi sposobami zaopatrzenia budynku/lokalu w energię do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną ma znaczenie przede wszystkim z uwagi na przepisy prawne i politykę energetyczną Polski oraz Unii Europejskiej, zmierzającą do ograniczenia zużycia paliw kopalnych, promowania działań energooszczędnych i szerszego zastosowania odnawialnych źródeł energii. W odniesieniu do energii użytkowej EU wartość wskaźnika EP zależy od stosunku współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i do sprawności całkowitej η_{tot} , przy uwzględnieniu energii pomocniczej danego układu. Wraz ze obniżaniem tego stosunku dla poszczególnych nośników energii, zmniejsza się wskaźnik EP .

Różnice w kształtowaniu się wskaźników EK i $EP=EP_{H+W}$ względem wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową EU , w zależności od rodzaju źródła i nośnika energii, widoczne są na rys. 6 dla przykładowego budynku o standardzie WT2008. Niskie



Rys. 6. Wartości wskaźników EU , EK i EP dla różnych źródeł ciepła

Fig. 6. The EU , EK and EP indicators for different heat sources

współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej niwelują stosunkowo wysokie zapotrzebowanie na energię końcową. Typowym przykładem są tu kotłownie na biomasę. Szczególną uwagę zwraca w tym kontekście sprężarkowa pompa ciepła, dla której najmniejsze spośród wybranych źródeł zapotrzebowanie na energię końcową budynku „konsumowane” jest przez wysoki współczynnik nakładu, odpowiadający nośnikowi w postaci energii elektrycznej.

9. WNIOSKI

1. Zapewnienie zgodnej z przepisami techniczno-budowlanymi [1] izolacyjności cieplnej przegród budowlanych nie gwarantuje uzyskania wymaganej tymi przepisami wartości wskaźnika *EP* zapotrzebowania na energię pierwotną dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego, wyposażonego w lokalne źródło ciepła zasilane paliwami konwencjonalnymi.
2. Wartość wskaźnika *EP* ocenianego budynku uwarunkowana jest zapotrzebowaniem na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Wartość referencyjna jednostkowego zapotrzebowania na energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody jest możliwa do osiągnięcia przy wyłącznym lub znaczącym udziale odnawialnych źródeł energii.
3. Standard wyposażenia lokali mieszkalnych, determinujący wymagany strumień powietrza wentylacyjnego, może decydować o spełnieniu wymagań w zakresie granicznej wartości wskaźnika *EP* budynku.
4. Budynki o niskim standardzie ochrony cieplnej i wysokim zapotrzebowaniu na energię końcową mogą uzyskać niskie wartości wskaźnika *EP* przy zastosowaniu źródeł odnawialnych, charakteryzujących się niskimi współczynnikami nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej. Wysoka sprawność źródła ciepła i instalacji, gwarantująca niskie zapotrzebowanie na energię końcową, może zostać zniwelowana przez wysoki współczynnik nakładu.

Sporządzanie świadectw charakterystyki energetycznej ograniczone jest w praktyce do budynków nowych, oddawanych do użytkowania. Obowiązek dysponowania takim dokumentem przy sprzedaży lub wynajmie nieruchomości nie jest egzekwowany z powodu braku represji prawnych. Kontrowersje wzbudza sama metodyka sporządzania świadectw oraz sposób określania wartości referencyjnych. Nierealne do osiągnięcia bez zastosowania źródeł odnawialnych wskaźniki *EP* budynków mieszkalnych mogą stanowić zachętę do manipulacji wynikami w ramach obowiązującej procedury. W efekcie świadectwa charakterystyki energetycznej mogą być niewiarygodne i nie służyć idei racjonalizacji zużycia energii w budynkach mieszkalnych.

10. LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2008 r. Nr 201, poz. 1238).

- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 2008 r. Nr 201, poz. 1240).
- [3] www.mi.gov.pl
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75 poz. 690).
- [5] PN-B-02020:1991. Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
- [6] PN-EN ISO 6946: 2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [7] PN-EN ISO 14683: 2007. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [8] PN-B-03430:1983/Az3:2000. Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
- [9] www.ecwybrzeze.pl

INFLUENCE OF CHOSEN TECHNICAL PARAMETERS ON THE ENERGETIC PROFILE OF THE BUILDING

SUMMARY

The paper presents the analysis of the parameters that may influence the energy performance of multiflat residential buildings. The analysis encloses thermal protection of the building, heat sources and ventilation air flow. In the conclusions there are indicated the conditions of obtaining the primary energy needs of the building below the reference values specified in the obligatory regulations.