

Janusz PEŁCZYŃSKI, dr inż.

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

JAKOŚCIOWA ANALIZA WPŁYWU AKUMULACJI CIEPŁA NA PRZEBIEG WYMIANY TERMICZNEJ MIĘDZY PRZEGRODĄ A POMIESZCZENIEM

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono jakościową analizę wpływu pojemności cieplnej i struktury przegrody budynku na przebieg wymiany termicznej między przegrodą a pomieszczeniem na podstawie formuł całkowych dla przepływu ciepła przez powierzchnie ścian między dwoma stanami ustalonego przewodzenia ciepła.

1. WPROWADZENIE

Ścisłe określenie w sensie ilościowym wpływu dynamicznych procesów wymiany ciepła na gospodarkę cieplną pomieszczenia możliwe jest poprzez wykorzystanie techniki symulacji cieplnej [5].

Jakościową analizę wpływu pojemności cieplnej i struktury przegrody na przebieg dynamicznych procesów wymiany ciepła można przeprowadzić wykorzystując formuły całkowite [2][4] dla przepływu ciepła przez powierzchnie ścian między dwoma stanami ustalonego przewodzenia ciepła. Formuły całkowite wynikają bezpośrednio z równania przewodnictwa cieplnego i prowadzą do wydzielenia składowej stacjonarnej i akumulacyjnej ilości ciepła płynącego przez przegrodę budowlaną.

Analiza tego rodzaju pozwala na scharakteryzowanie wpływu akumulacji ciepła na gospodarkę cieplną pomieszczenia, w zależności od kierunku zmian wymuszenia cieplnego.

Dla warunków brzegowych III-go rodzaju, ilość ciepła, która przepłynęła przez powierzchnie ścian płaskiej o grubości d , w kierunku od powierzchni wewnętrznej do zewnętrznej, w przedziale czasu $[t_1, t_2]$ wyrażona jest następująco [2]:

- dla powierzchni wewnętrznej:

$$Q_i(t_1, t_2) = \frac{1}{R_T} \int_{t_1}^{t_2} [T_i(t') - T_e(t')] dt' + \int_0^d \rho c_p \theta(x) [T(x, t_2) - T(x, t_1)] dx, \quad (1)$$

- dla powierzchni zewnętrznej

$$Q_e(t_1, t_2) = \frac{1}{R_T} \int_{t_1}^{t_2} [T_i(t') - T_e(t')] dt' - \int_0^d \rho c_p [1 - \theta(x)] [T(x, t_2) - T(x, t_1)] dx, \quad (2)$$

gdzie: T_i, T_e – funkcje temperatury mediów po wewnętrznej i zewnętrznej stronie przegrody,
 $T(x, t)$ – funkcja temperatury w przekroju przegrody,
 $\theta(x)$ – funkcja temperatury bezwymiarowej dla problemu ustalonego przepływu ciepła w przekroju przegrody z warunkami brzegowymi III-go rodzaju

Z równań (1) i (2) wynikają następujące wzory dla ilości ciepła, jakie przepłynęły przez powierzchnie przegrody w przedziale czasu $[t_1, t_2]$, w przypadku gdy początkowy i końcowy (osiągany asymptotycznie) rozkład temperatury w jej objętości odpowiada stanowi ustalonego przewodzenia ciepła:

$$Q_i = Q_{ie} + Q_{ci} = \frac{(\bar{T}_i - \bar{T}_e) \Delta t}{R_T} + \Delta T_i C \varphi_{ii} + \Delta T_e C \varphi_{ie}, \quad (3)$$

$$Q_e = Q_{ie} - Q_{ce} = \frac{(\bar{T}_i - \bar{T}_e) \Delta t}{R_T} - \Delta T_i C \varphi_{ie} - \Delta T_e C \varphi_{ee}, \quad (4)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Wielkość Q_{ie} wyraża część ciepła wymienianą w procesie ustalonym, zależną wyłącznie od różnicy średnich temperatur i oporu przenikania ciepła, wielkości Q_{ci} i Q_{ce} oznaczają składowe akumulacyjne.

Bezwymiarowe wielkości $\varphi_{ii}, \varphi_{ie}, \varphi_{ee}$, charakteryzujące rozkład pojemności i oporu w przekroju poprzecznym przegrody nazwane zostały współczynnikami strukturalnymi [2].

W ogólnym przypadku, dla obszaru V reprezentującego element ściany, o całkowitej pojemności cieplnej C i rozkładzie temperatury bezwymiarowej dla problemu ustalonego przepływu ciepła opisanym funkcją θ , współczynniki strukturalne wyrażone są wzorami:

$$\varphi_{ii} = \frac{1}{C} \int_V \rho c_p \theta^2 dv \quad (5)$$

$$\varphi_{ie} = \frac{1}{C} \int_V \rho c_p \theta(1 - \theta) dv \quad (6)$$

$$\varphi_{ee} = \frac{1}{C} \int_V \rho c_p (1 - \theta)^2 dv \quad (7)$$

Iloczyny poszczególnych współczynników strukturalnych i pojemności cieplnej ściany C noszą nazwę termicznych współczynników masowych [1][3]. Można sformułować następujące definicje współczynników masowych:

- współczynnik masowy $C\varphi_{ii}$ jest wielkością akumulacyjnej ilości ciepła, która przepłynęła przez wewnętrzną powierzchnię przegrody, przy przejściu pomiędzy dwoma ustalonymi stanami przewodzenia ciepła, przy zmianie temperatury po tej samej stronie przegrody o jeden stopień.
- współczynnik masowy $C\varphi_{ie}$ jest wielkością akumulacyjnej ilości ciepła, która przepłynęła przez powierzchnię przegrody, przy przejściu pomiędzy dwoma ustalonymi stanami przewodzenia ciepła, przy zmianie temperatury po przeciwnej stronie przegrody o jeden stopień,
- współczynnik masowy $C\varphi_{ee}$ jest wielkością akumulacyjnej ilości ciepła, która przepłynęła przez zewnętrzną powierzchnię przegrody, przy przejściu pomiędzy dwoma ustalonymi stanami przewodzenia ciepła, przy zmianie temperatury po tej samej stronie przegrody o jeden stopień.

Suma iloczynów współczynników masowych i odpowiadających im wielkości zmian temperatury, równa jest wielkości całkowitej zmiany ciepła zakumulowanego w przegrodzie.

Wielkość poszczególnych współczynników strukturalnych zależy od struktury cieplnej elementu ściany, przy czym:

$$0 < \varphi_{ii} < 1 \quad (8)$$

$$0 < \varphi_{ie} < 1/4; \text{ dla ścian dwuwarstwowych } 0 < \varphi_{ie} < 3/16 \quad (9)$$

$$0 < \varphi_{ee} < 1 \quad (10)$$

Spełniona jest tożsamość:

$$\varphi_{ii} + 2\varphi_{ie} + \varphi_{ee} \equiv 1 \quad (11)$$

Dla elementów symetrycznych względem płaszczyzny środkowej:

$$\varphi_{ii} = \varphi_{ee}, \quad \varphi_{ii} + \varphi_{ie} = 1/2 \quad (12)$$

Współczynniki jednorodnej ściany jednowarstwowej, bez uwzględnienia oporów powierzchniowych wynoszą: $\varphi_{ii} = 1/3$, $\varphi_{ie} = 1/6$, $\varphi_{ee} = 1/3$

Dla przegród wielowarstwowych współczynniki φ_{ii} i φ_{ee} osiągają górne wartości z przedziału (0 - 1), gdy w pobliżu odpowiadających im powierzchni znajduje się większość pojemności cieplnej przegrody (np. warstwa nośna przegrody dwuwarstwowej); dolne wartości przedziału są osiągane, jeżeli przy odpowiednich powierzchniach jest skupiona większość oporu przegrody (np. warstwa izolacji przegrody dwuwarstwowej).

2. ANALIZA JAKOŚCIOWA

Zmiana wymuszenia cieplnego może wynikać np.:

- ze zmiany temperatury zewnętrznej lub wewnętrznej,
- ze zmiany wielkości wymiany radiacyjnej na powierzchniach przegrody,
- ze zmiany warunków napływu lub odpływu ciepła (α_i, α_e).

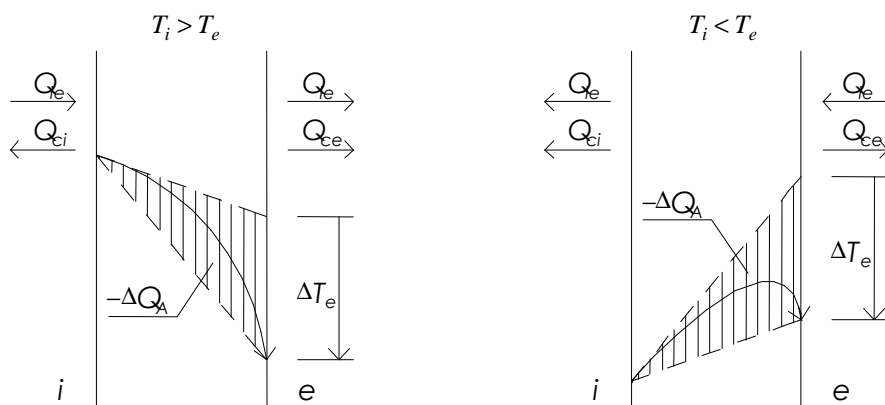
2.1. Zmiana temperatury zewnętrznej $\Delta T_i = 0$, $\Delta T_e \neq 0$

Ilości ciepła, które przepłynęły przez powierzchnie przegrody między stanami ustalonego przewodzenia ciepła przy zmianie temperatury zewnętrznej T_e wynoszą:

$$Q_i = Q_{ie} + \Delta T_e C \varphi_{ie}, \quad (13)$$

$$Q_e = Q_{ie} - \Delta T_e C \varphi_{ee}. \quad (14)$$

Zwroty składowych strumieni ciepła Q_i i Q_e przy $\Delta T_e < 0$, przedstawia rysunek 1.



Rys. 1 Zwroty składowych strumieni ciepła przy spadku temperatury zewnętrznej
Fig. 1. The senses of the component streams of warmth by the downgrade of the external temperature

Przy spadku temperatury zewnętrznej wielkość $-\Delta Q_A$ stanowi „nadmiar” ciepła zakumulowanego w przegrodzie w stosunku do ilości odpowiadającej rozkładowi temperatury wewnętrznej dla ustalonego przepływu po spadku T_e - w przegrodzie zachodzi proces uwalniania zakumulowanego ciepła.

Dla $T_i > T_e$ przy spadku temperatury zewnętrznej część $\Delta T_e C \varphi_{ie}$ ciepła zakumulowanego w przegrodzie pomniejsza ilość ciepła wypływającą z pomieszczenia.

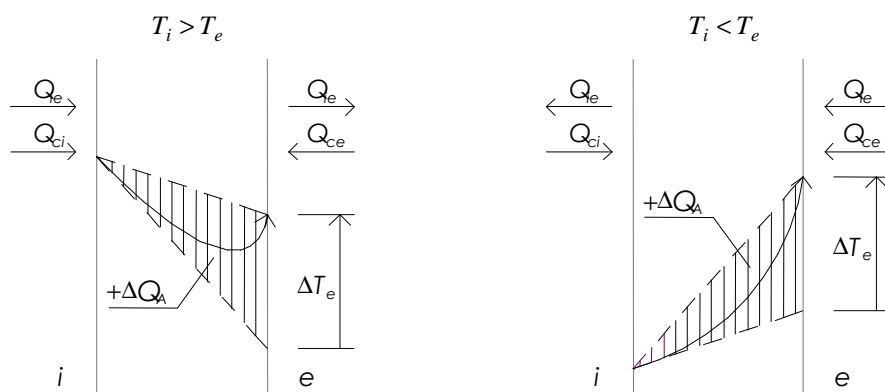
Dla $T_i < T_e$ przy spadku temperatury zewnętrznej część $\Delta T_e C \varphi_{ie}$ ciepła zakumulowanego w przegrodzie powiększa ilość ciepła wpływającą do pomieszczenia.

Dla wzrostu T_e zachodzi proces odwrotny, zwroty składowych strumieni ciepła ilustruje rysunek 2.

W przegrodzie zachodzi proces akumulacji brakującej dla nowego stanu ustalonego ilości ciepła ΔQ_A .

Dla $T_i > T_e$ po wzroście temperatury zewnętrznej akumulacyjna ilość ciepła $\Delta T_e C \varphi_{ie}$ powiększa strumień ciepła płynący z pomieszczenia.

Dla $T_i < T_e$ po wzroście temperatury zewnętrznej akumulacyjna ilość ciepła $\Delta T_e C \phi_{ie}$ pomniejsza strumień ciepła płynący do pomieszczenia.



Rys. 2 Zwroty składowych strumieni ciepła przy wzroście temperatury zewnętrznej
 Fig. 2. The senses of the component streams of warmth by the increment of the external temperature

Dla warunków zimowych, zarówno dla spadku jak i wzrostu T_e pojemność cieplna przegrody działa stabilizująco – pomniejsza rosnący i powiększa malejący strumień ciepła płynący przez wewnętrzną powierzchnię ściany.

Przy założeniu, że stały poziom temperatury wewnętrznej jest wymogiem użytkowym, obecność pojemności cieplnej jest korzystna - wspomaga utrzymanie wyrównanych warunków cieplnych w pomieszczeniu.

W typowym przebiegu wymuszenia dobowego minimum temperatury zewnętrznej przypada ok. 4 godziny rano, a maksimum w godzinach popołudniowych równocześnie z operacją słoneczną. W okresie dziennego spadku wymuszenia, gdy składowa Q_{ci} zwiększa ilość ciepła płynącą przez przegrodę, powstają warunki do większego wykorzystania zysków cieplnych pomieszczenia, a także do częściowej ich akumulacji w przegrodzie zewnętrznej. Następnie, w cyklu spadku T_e ciepło zakumulowane w przegrodzie obniża wydatek instalacji ogrzewczej, lub ogranicza wielkość spadku temperatury w pomieszczeniu wykorzystując przy tym częściowo zakumulowane zyski ciepła.

W okresach przejściowych, na początku i końcu sezonu ogrzewczego, opisany proces może częściowo ograniczać lub wręcz wyeliminować przegrzewanie pomieszczeń o znaczących zyskach słonecznych.

W czasie lata gdy występują duże amplitudy dobowych zmian wymuszenia, pojemność przegród zewnętrznych również działa stabilizująco - przeciwdziała przegrzewaniu pomieszczenia, oraz wspomaga nocne chłodzenie. Przy wzroście temperatury zewnętrznej i $T_i > T_e$ składowa Q_{ci} zwiększa strumień ciepła płynący z pomieszczenia

przyczyniając się do usuwania ciepła z wnętrza budynku. Gdy $T_i < T_e$ składowa akumulacyjna pomniejsza ilość ciepła przenikającego przez przegrodę do pomieszczenia. Zakumulowane w przegrodzie ciepło jest następnie uwalniane nocą podczas spadku wymuszenia. Pojawiający się wówczas dodatkowy strumień ciepła jest mniej uciążliwy i łatwiejszy do usunięcia poprzez wietrzenie chłodniejszym powietrzem zewnętrznym.

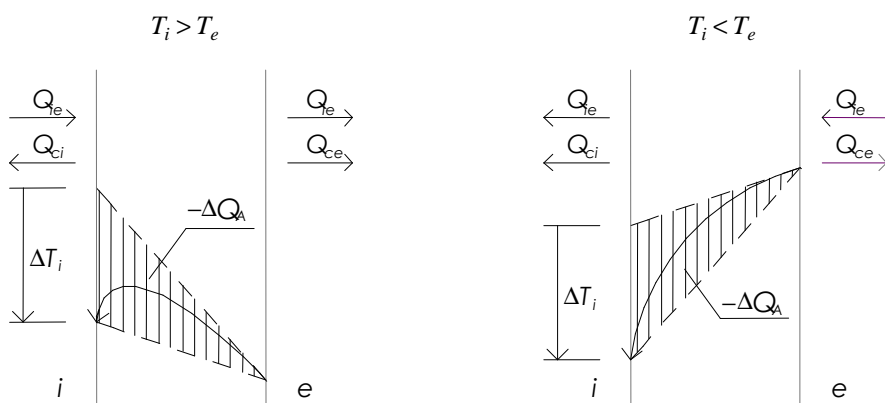
Przy zmianach T_e i stałej T_i o wielkości składowej akumulacyjnej dla powierzchni wewnętrznej decyduje współczynnik $C\varphi_{ie}$. Oznacza to, że maksymalnie $\frac{1}{4}$ pojemności cieplnej przegrody może brać udział w kształtowaniu strumienia ciepłego od strony pomieszczenia (9), oraz że dla przegrody o względnie dużej wartości współczynnika $C\varphi_{ee}$ (większość oporu cieplnego przy powierzchni wewnętrznej, φ_{ee} bliski 1) działanie pojemności cieplnej jest znacząco ograniczone, lub praktycznie wyłączone.

2.2. Zmiana temperatury wewnętrznej $\Delta T_i \neq 0$, $\Delta T_e = 0$

Ilości ciepła, które przepłynęły przez powierzchnie przegrody między stanami ustalonego przewodzenia ciepła przy zmianie temperatury wewnętrznej T_i wynoszą:

$$Q_i = Q_{ie} + \Delta T_i C\varphi_{ii}, \quad (15)$$

$$Q_e = Q_{ie} - \Delta T_i C\varphi_{ie}. \quad (16)$$

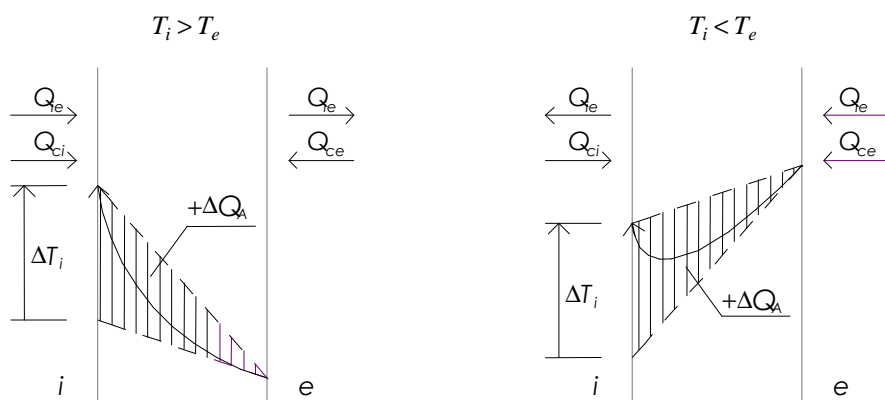


Rys. 3. Zwroty składowych strumieni ciepła przy spadku temperatury wewnętrznej
Fig. 3. The senses of the component streams of warmth by the downgrade of the internal temperature

Przy spadku wymuszenia wielkość $-\Delta Q_A$ stanowi „nadmiar” ciepła zakumulowanego w przegrodzie w stosunku do rozkładu temperatury odpowiadającego ustalonemu przepływowi po spadku T_i . W przegrodzie zachodzi proces deakumulacji; dla $T_i > T_e$ część ciepła w ilości $\Delta T_i C\varphi_{ii}$ pomniejsza ilość ciepła wypływającego z pomieszczenia przez

powierzchnię wewnętrzną, dla $T_i < T_e$ powiększa wielkość ciepła przenikającą ze środowiska zewnętrznego (rys. 3).

Dla wzrostu T_i zachodzi proces odwrotny (rys. 4):



Rys. 4 Zwroty składowych strumieni ciepła przy wzroście temperatury wewnętrznej
Fig. 4. The senses of the component streams of warmth by the increment of the internal temperature

Ilość ciepła ΔQ_A jest „niedoborem” ciepła zakumulowanego w stosunku do rozkładu temperatury w przekroju przegrody dla przepływu ustalonego po wzroście T_i ; w przegrodzie zachodzi proces akumulacji, obydwie składowe ciepła akumulacyjnego są skierowane w stronę przegrody.

Podobnie jak poprzednio, dla powierzchni wewnętrznej składowa akumulacyjna przeciwdziała zmianie temperatury T_i , czyli ma działanie stabilizujące. Ocena tego działania zależy od przyczyny zmiany wymuszenia.

Dla zamierzonych zmian warunków w strefie cieplnej (okresowe obniżenia temperatury użytkowej w zimie, chłodzenie w lecie) jest ono niekorzystne. Oznacza bowiem dopływ ciepła do pomieszczenia ze strony przegrody gdy temperatura wewnętrzna jest obniżana, czyli dla procesu chłodzenia jest to dodatkowe obciążenie wentylacji lub klimatyzacji, zaś dla warunków zimowych nieużyteczne utrzymywanie wyższej temperatury pomieszczenia niż założony poziom obniżenia, oraz zwiększony wydatek instalacji przy wzroście temperatury do wyższego poziomu użytkowego.

Jednak dla procesu eksploatacji związanego z utrzymywaniem ustabilizowanych warunków wewnętrznych, a także dla sytuacji awaryjnych (przerwy w dostawie energii), oraz dla pasywnych procesów słonecznych, jest korzystne; harmonizuje także przebieg warunków pracy instalacji ogrzewczych i klimatyzacyjnych.

Jeżeli spadkowi temperatury wewnętrznej towarzyszą zyski cieplne, to nie mogą one być akumulowane w przegrodach, natomiast zyski występujące podczas wzrostu temperatury stanowią część przyrostu ciepła zakumulowanego.

Przy zmianach T_i o przebiegu procesów akumulacyjnych dla powierzchni wewnętrznej decyduje współczynnik $C\varphi_{ii}$. Szeroki zakres wartości przyjmowanych przez współczynnik $C\varphi_{ii}$ dla różnych rozwiązań materiałowych i strukturalnych przegród wskazuje na potencjalnie duże znaczenie doboru przegród dla efektywności obniżenia temperatury i wykorzystania zysków ciepłych.

3. PODSUMOWANIE

Pojemność cieplna przegrody określa jej bezwładność cieplną, która zazwyczaj przeciwdziała skutkom zmiany bieżącego wymuszenia. Przy dążeniu do utrzymania temperatury użytkowej na stałym poziomie oraz dla wykorzystywania zysków ciepłych jest to bezsprzecznie korzystne w ciągu całego roku.

Dla funkcji zakładających zmienny poziom temperatury użytkowej, bezwładność cieplna przegród musi być pokonywana przez instalacje budynku, co zwiększa ich obciążenie; jest także czynnikiem zmniejszającym efektywność stosowania zmiennych poziomów temperatur użytkowych.

Jak wynika z powyższej uproszczonej analizy, ocena działania pojemności cieplnej przegród zależy od wymagań wynikających z funkcji i założonego sposobu użytkowania budynku oraz przyjętych metod ograniczania zużycia energii. Celowe stosowanie wybranych rozwiązań budowlanych przegród może wspomagać ograniczanie zużycia energii w budynku.

4. LITERATURA

- [1] Anderson B.R.: The measurement of U - values on site. ASHRAE-DEO-BTECC CONFERENCE on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings III, Clearwater Beach, Florida, December 2 to 5, 1985.
- [2] Kossecka E.: Bilans cieplny prostych systemów helio-grzewczych i przegród budowlanych w długich okresach czasu. Arch. Inż. Łą., 37(2), 249-264, 1991.
- [3] Kossecka E.: Problem of the measured R - value error estimation. Arch. Civ. Engn., 39 (4), 413 – 427, 1993.
- [4] Kossecka E.: Wybrane zagadnienia dynamiki cieplnej ścian budynków. Studia z zakresu inżynierii nr 45. PAN KILiW IPPT, Warszawa 1998.
- [5] Pełczyński J., Rybka A.: Symulacja procesów ciepłych w budynkach przy użyciu programu symulacyjnego Bsim2000. VII Vedecka Konferencja Stavebnej Fakulty, Koszyce 2002, 209-212.

THE QUALITATIVE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THERMAL ACCUMULATION ON THE COURSE OF THE THERMAL EXCHANGE BETWEEN PARTITION AND ROOM

SUMMARY

The qualitative analysis of the influence of thermal capacity and the structure of the partition of building on the course of the thermal exchange between partition and room was introduced in the article.

Bogusław PIECZYKOLAN,
Dorota A. CHWIEDUK²⁾, dr hab. inż., prof. PW

Politechnika Warszawska, MEiL
Instytut Techniki Ciepłej,
ul. Nowowiejska 21/25, 0065 Warszawa
²⁾ dchwied@itc.pw.edu.pl

ANALIZA ENERGOCHŁONNOŚCI WYBRANEGO BUDYNKU

STRESZCZENIE

Referat opisuje zagadnienia zużycia ciepła w budynkach domów jednorodzinnych. Pierwsza część referatu dotyczy obliczeń zużycia ciepła na potrzeby c.o. i c.w.u. dla przykładowego projektowanego domu jednorodzinnego. Druga część referatu opisuje sposoby zmniejszenia zużycia energii a także wpływ usytuowania budynku na zyski energii promieniowania słonecznego.

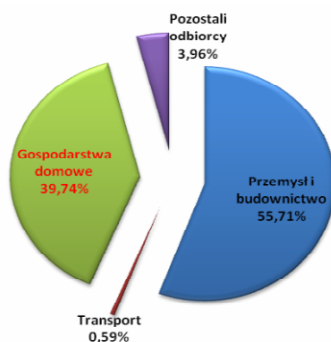
1. ZNACZENIE ZMNIEJSZENIA ZUŻYCIA ENERGII

W dobie wyczerpujących się paliw kopalnych i konieczności ochrony środowiska, znaczenie zmniejszenia zużycia energii pierwotnej potrzebnej do ogrzewania, jak i do przygotowania ciepłej wody użytkowej nabiera szczególnego znaczenia. Istnieją wymagania stawiane konwencjonalnym elektrowniom zawodowym w zakresie zwiększania efektywności wytwarzania energii czy zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Zmusza to do stosowania najnowszych technologii energetycznych zazwyczaj bardzo kosztownych.

Analizując raport Głównego Urzędu Statystycznego „Zużycie paliw i nośników energii w 2007 r.” można zauważyć, iż znaczącą pozycję w bilansie krajowego zużycia ciepła mają gospodarstwa domowe, które w roku 2007 zużyły 180000TJ ciepła, co stanowiło 39,74% całkowitego zużycia ciepła w kraju, ilustruje to rys.1.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę zużycie energii elektrycznej, to w 2007 roku gospodarstwa domowe odpowiadały za 19,3 % całkowitego zużycia krajowego.

Podstawowym, sposobem ograniczenia energochłonności budynków jest podjęcie działań kompleksowych polegających zarówno na zmniejszeniu zapotrzebowania na energię (przede wszystkim poprzez zwiększanie izolacyjności przegród), jak i stosowanie wentylacji z odzyskiem ciepła, oraz odpowiednie wykorzystanie zysków energii słonecznej.



Rys. 1. Procentowe zużycie ciepła dla poszczególnych sektorów w 2007 r. [3]

Fig. 1. Heat consumption for each sector in 2007 in percentage

Kolejnym rozwiązaniem jest wykorzystanie odnawialnych źródeł energii przy zaspokojeniu potrzeb ogrzewania, ciepłej wody użytkowej i energii elektrycznej. Jest to rozwiązanie chętnie stosowane w krajach zachodnich a w ostatnim czasie także i w Polsce.

2. OBLICZANIE ZUŻYCIA ENERGII W PRZYKŁADOWYM BUDYNKU

2.1. Opis ogólny budynku i jego parametrów

Rozpatrzono przykładowy projektowany budynek mieszkalny, jednorodzinny z garażem, częściowo podpiwniczony [1]. Metodykę obliczeń zużycia ciepła zaczerpnięto z „Rozporządzenia Ministra Infrastruktury” [2]. Podstawowe dane geometryczne budynku przedstawiono poniżej:

- Liczba kondygnacji 3 (piwnica, parter, poddasze)
- Powierzchnia użytkowa budynku 307 m²
- Powierzchnia o regulowanej temperaturze 220,0 m²
- Wskaźnik zwartości budynku 0,60

Temperatury eksploatacyjne dla pomieszczeń mieszkalnych wynoszą 20°C, dla wiatrołapu 16°C, dla łazienek 24°C i garażu 8°C.

Jako źródło ogrzewania został przewidziany kocioł na paliwo stałe o mocy 20kW współpracujący z zasobnikowym podgrzewaczem wody o pojemności 200 dm³. Transport ciepła odbywa się za pośrednictwem rozdzielaczy w trzech obiegach. Temperatura zasilania z kotła wynosi 70°C, temperatura powrotu 55°C.

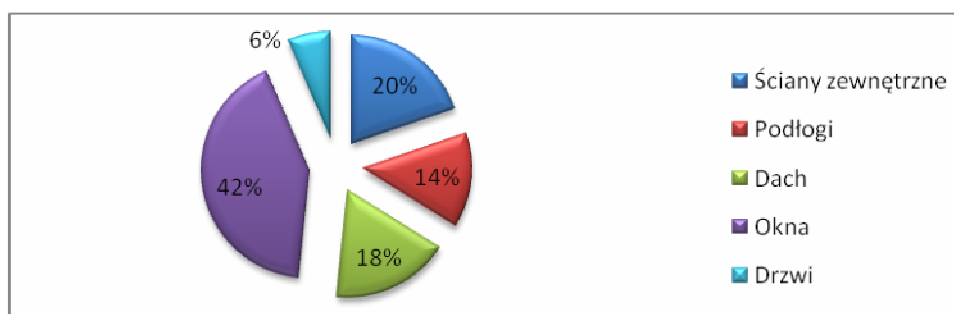
W budynku jest tradycyjny system wentylacji grawitacyjnej nawiewno-wywiewnej zgodnie z normą PN-(83/B-03430). Otwory wentylacyjne znajdują się w łazienkach i kuchni.

2.2. Straty ciepła przez przegrody budowlane

Wielkość strat ciepła przez poszczególne przegrody budowlane przedstawia Tabela 1. Natomiast procentowy udział strat ciepła przez przenikanie dla poszczególnych przegród przedstawia rys. 2.

Tabela 1 Współczynnik strat ciepła dla poszczególnych przegród budowlanych
Table 1. Heat loss coefficient for each construction partitions

Rodzaj przegrody	Materiały	Grubość [m]	Współczynnik przenikania U [W/(m ² K)]	Współczynnik strat ciepła H_{tr} [W/K]
Ściana zewnętrzna	Tynk /Styropian/Pustak ceramiczny	0,02/0,14/0,25	0,282	43
Podłoga na gruncie	Wylewka cementowa/ Styropian/ 2xPapa/ Beton	0,05/0,1/0,01	0,27	11,5
Podłoga nad piwnicą	Wylewka cementowa/ Styropian/Beton (B15)	0,05/0,1/0,01	0,34	19,6
Dach	Blacho-Dachówka/ Wełna mineralna/ Płyta GFK	0,002/0,2/0,17	0,19	23,6
Stropodach	Dachówka/ Wełna mineralna/ Płyta GFK	0,002/0,2/0,017	0,37	15
Okna	Szyby jednokomorowe	1,7		91,3
Drzwi	Drzwi wejściowe	0,649		6,21
	Bramy garażowe	0,796		8



Rys. 2. Procentowy udział strat ciepła przez przenikanie dla poszczególnych przegród
Fig. 2. Share of heat transfer losses of each partition

Na podstawie rys. 2 można zauważyć, że dominującym elementem w bilansie strat ciepła budynku przez przegrody są straty przez okna, istotne jest więc ich ograniczenie.

2.2.1. Wyznaczenie zapotrzebowania na ciepło użytkowe

Wyznaczając zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynków poza stratami ciepła przez przegrody należy uwzględnić straty wentylacyjne, a następnie zyski ciepła wewnętrznego, pochodzące od ludzi i urządzeń, i od promieniowania słonecznego. Kolejna Tabela 2 przedstawia wielkość miesięcznych strat ciepła przez przenikanie Q_{tr} , wskutek wentylacji Q_{ve} , i wynikową sumę miesięcznego zapotrzebowania na ciepło użytkowe $Q_{H,ht}$.

Tabela 3 przedstawia sumę miesięcznych zysków ciepła pochodzących od promieniowania słonecznego Q_{sol} , od ludzi i urządzeń Q_{int} i od przewodów c.o. i c.w.u. Q_{prz} .

Tabela 2. Miesięczne zapotrzebowanie ciepła i jego składowe (bez zysków ciepła) dla c.o.

Table 2. Monthly space heating demand and its components (excluding heat gains)

miesiąc	Q_{tr} [kWh]	Q_{ve} [kWh]	$Q_{H/hr}$ [kWh]
IX	960,7	606,1	1566,9
X	1896,7	1166,9	3063,7
XI	2864,8	1669,1	4533,9
XII	3140,3	1819,1	4959,5
I	3369,4	1939,2	5308,7
II	2659,1	1550,0	4209,1
III	2534,9	1501,6	4036,5
IV	1788,0	1104,4	2892,4
V	1170,3	737,9	1908,3

Tabela 3. Zestawienie zysków ciepła w poszczególnych miesiącach

Table 3. Specification of monthly heat gains

Miesiąc	Q_{prz} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$Q_{H,gn,n}$ [kWh]
IX	890,6	552,7	2049,5	3492,9
X	920,3	571,2	1278,1	2769,6
XI	890,6	552,7	709,3	2152,7
XII	920,3	571,2	640,2	2131,8
I	920,3	571,2	776,8	2268,3
II	831,2	515,9	867,7	2214,9
III	920,3	571,2	1836,5	3328,1
IV	890,6	552,7	2347,7	3791,1
V	920,3	571,2	3192,5	4684,1

W celu wyznaczenia zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania sporządzono bilans zysków, biorąc pod uwagę sprawności miesięczne wykorzystania tych zysków ciepła, i strat ciepła. Uwzględniono sprawności instalacji ogrzewania. Otrzymane wyniki obliczeń miesięcznego zużycia energii cieplnej końcowej zestawiono w Tabeli 4.

Tabela 4. Miesięczne zużycie energii końcowej do ogrzewania pomieszczeń

Table 4. Monthly final energy demand for space heating

Miesiąc	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
$Q_{K,H}$ [kWh]	19,3	1970	3434	3956	4224	2870	1489	305	13,7

2.3. Roczne zapotrzebowanie energii do przygotowania ciepłej wody użytkowej

W analizowanym przypadku ciepła woda użytkowa przygotowywana jest za pośrednictwem kotła dwufunkcyjnego. Wykorzystywany jest również zbiornik akumulacyjny o pojemności 200 litrów. Liczba osób wynosi 5, temperatura c.w.u. odpowiada 55°C . Obliczone roczne zapotrzebowanie na ciepło użytkowe wynosi 3345,5 kWh/rok. Uwzględniając sprawność poszczególnych elementów instalacji i wykorzystania c.w.u. (łącznie 0,45) zapotrzebowanie na energię końcową odpowiada 7479 kWh/rok.

2.4. Wyznaczenie wskaźnika EP i EK

Wskaźnik EK, tj. sumaryczne zapotrzebowanie na energię końcową w roku odniesione do jednostkowej powierzchni rozważanego budynku, wynosi 117,1 kWh/m²rok. Natomiast wskaźnik EP, tj. sumaryczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną w roku na jednostkową powierzchnię budynku wynosi 132,8 kWh/m²rok.

3. SPOSOBY ZMNIEJSZENIA ZUŻYCIA ENERGII

3.1. Zmiana zorientowania budynku

Jednym ze sposobów zmniejszających zużycie konwencjonalnej energii pierwotnej a także użytkowej jest odpowiednie wykorzystanie energii promieniowania słonecznego, zarówno w sposób pasywny, jak i aktywny. W analizowanym budynku większość okien zlokalizowana jest od strony północnej. Można zatem przeprowadzić obliczenia mające na celu określenia, jak zmieni się ilość energii użytkowej potrzebnej do ogrzewania w przypadku, gdy dany budynek „obrócimy” o 180° ekspozując większość jego powierzchni przeszklonych w kierunku południowym.

Postępując zgodnie z metodologią obliczania zysków słonecznych zawartą w „Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury”, przy opisanych założeniach, zużycie energii końcowej wyniesie 17093 kWh/rok, a wskaźnik EK 111,6 kWh/m²rok. Dzięki odpowiedniemu usytuowaniu budynku można zredukować energię końcową na ogrzewanie o 1190 kWh/rok, a wskaźnik EK obniżyć o 6,4 kWh/m²rok. Chcąc zmniejszyć zużycie energii w takim samym stopniu izolując powierzchnie styropianem, to przeprowadzając odpowiednie obliczenia można stwierdzić, że należałoby zastosować styropian o grubości 18 i 14 cm, czyli warstwa musiałaby być grubsza o 4 cm od projektowanej.

3.2. Zastosowanie wentylacji z odzyskiem ciepła i kolektorów słonecznych

Innym ze sposobów na zmniejszenie zużycia energii w przykładowym budynku jest zastosowanie instalacji wentylacyjnej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła, a także instalacji kolektorów słonecznych do zaspokojenia części potrzeb c.w.u.

Przy zastosowaniu rekuperacji całkowite zapotrzebowanie na ciepło do pokrycia strat wentylacyjnych wyniesie 6306 kWh/rok, co oznacza, że w stosunku do wentylacji grawitacyjnej zapotrzebowanie zmniejszy się o 5788 kWh/rok. Ponad to stosując instalację kolektorów słonecznych, zapotrzebowanie na ciepło do c.w.u. zmniejszy się do poziomu 5400 kWh/rok, co oznacza zredukowanie zużycia energii końcowej o 2000 kWh/rok. Sumarycznie dzięki zainstalowaniu wentylacji z odzyskiem ciepła i instalacji kolektorów

słonecznych można zredukować zużycie energii końcowej o 7788 kWh/rok, a wskaźnik EK o 33,5 kWh/m²rok. W konsekwencji wskaźnik EP zmniejszy się zaś o 61,38 kWh/m²rok.

4. ANALIZA EKONOMICZNA ZASTOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ OGRANICZENIA ENERGOCHŁONNOŚCI BUDYNKU

Biorąc pod uwagę właściwe usytuowanie budynku, a także na podstawie przeprowadzonych obliczeń określono okres zwrotu nakładów inwestycyjnych związanych z zastosowaniem kolektorów słonecznych i instalacji odzysku ciepła wentylacyjnego.

Wyznaczony minimalny koszt instalacji słonecznej wynosi 6270 zł. Projektując dany system ogrzewania bez kolektorów, ale wyposażonych w kocioł stosuje się zbiornik akumulacyjny (monowalentny) o pojemności 200 dm³. Istnieje możliwość zastosowania jednego zasobnika (biwalentnego) zarówno w instalacji grzewczej wykorzystującej kocioł, jak i kolektory słoneczne. Od kosztów instalacji kolektorów można odjąć koszt zbiornika (monowalentnego), tj. około 1350zł, co oznacza że nakłady inwestycyjne wyniosły 4920zł.

Całkowity koszt instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła obliczono jako równy 6200 zł. Podobnie jak w przypadku kolektorów, uwzględniono koszt systemu standardowego, tzn. koszt całkowity systemu rekuperacyjnego (7700 zł) zmniejszono o koszt budowy komina dla instalacji z obiegiem grawitacyjnym (1500 zł).

Wielkość zaoszczędzonej energii w wyniku zastosowania opisanych rozwiązań instalacyjnych wynosi 8978 kWh/rok. Przy uwzględnieniu sprawności systemu ogrzewania energia zawarta w paliwie wyniesie 11509 kWh/rok. Biorąc pod uwagę węgiel („eko groszek” o wartości opałowej 27 MJ) jako paliwo, masa zaoszczędzonego surowca wynosi 1534 kg (koszt 730 zł/tonę), co odpowiada redukcji kosztów ogrzewania o 1120 zł/rok. (Uwzględniono wzrost kosztów pracy urządzeń pomocniczych na poziomie 98zł/rok.) Do oceny czasu zwrotu zastosowano metodę prostą, w której nie uwzględnia się zmiany wartości pieniądza w czasie. Przy kosztach inwestycji 11120 zł czas zwrotu wynosi 11 lat.

5. PODSUMOWANIE

W referacie rozpatrzono względnie tanie instalacje kolektorów słonecznych i systemu rekuperacji, ale jednocześnie porównano je z najtańszym nośnikiem ciepła (węgiel) i instalacjami konwencjonalnymi. Pomimo takich założeń uzyskano czas zwrotu równy 11 lat, co pokazuje, że możliwe jest uzyskanie realnych korzyści finansowych wprowadzając systemy odzysku ciepła i wykorzystania odnawialnych źródeł energii (kolektory słoneczne) przy modernizacji nawet tradycyjnych źródeł ciepła. Dodatkowo zwrócono uwagę na konieczność prawidłowego projektowania budynku (względem stron świata), co wpływa na zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło. Odpowiedni projekt i wykonanie budynku są najprostszą i najtańszą metodą ograniczenia jego energochłonności.

Podsumowując referat powyższy przedstawia możliwe i ogólnodostępne rozwiązania mające na celu poprawę efektywności energetycznej budynku. Analiza ekonomiczna przedsięwzięcia pokazuje, iż opisane rozwiązania oprócz oczywistych aspektów ekologicznych są także uzasadnione ze względu na ekonomikę przedsięwzięcia.

6. LITERATURA

1. Projekt techniczny: Budynek mieszkalny jednorodzinny. DOM w HIBISKUSIE.
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 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.
3. Raport GUS: Zużycie paliw i nośników energii w 2007 r.
4. Gidzińska M.: Więcej, grzeją, oszczędzają -przegląd rekuperatorów. Murator, 12/2009
5. http://www.shellgas-team.pl/artykuly/polski_instalator.html/558

THE ANALYSIS OF ENERGY ABSORBENCY FOR SELECTED BUILDING

SUMMARY

The paper describes the problem of heat consumption of single family houses. Calculations of heat consumption for space heating and DHW are presented. The importance of façade orientation is considered. Ways of reduction of energy consumption, including application of heat recovery system and solar collectors, and simple economic analysis are presented.

V. PISAREV, dr hab. inż.

G. CZARNIK, mgr inż.

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

ANALIZA EKONOMICZNA WYKORZYSTANIA UKŁADU KOGENERACYJNEGO DLA MAŁYCH OSIEDLI (WSI)

STRESZCZENIE

Przedstawiono analizy ekonomiczności zastosowania kogeneracji dla małych osiedli (wsi) w porównaniu z zastosowaniem kotłów gazowych do ogrzewania oraz sieć energetycznej do zasilania w energię elektryczną budynków.

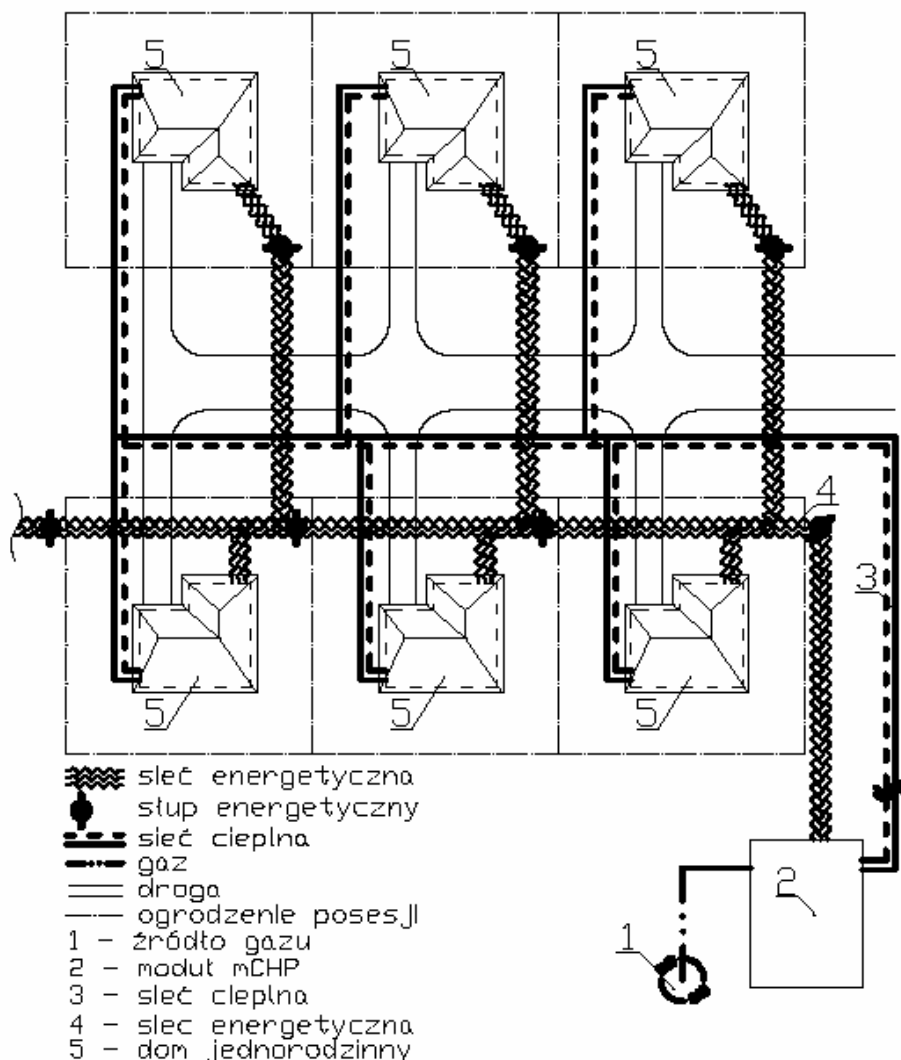
1. WPROWADZENIE

Kogeneracja jest procesem wytwarzania energii, w którym jednocześnie generowana jest energia elektryczna oraz ciepło [1].

Jedną z istotnych cech gazowych układów kogeneracyjnych jest możliwość zasilania ich różnymi paliwami gazowymi. Zwiększa to możliwość stosowania kogeneracji na małą skalę w układach rozproszonych [2].

Do podstawowych paliw gazowych, mogących, poza gazem systemowym, znaleźć zastosowanie w układach kogeneracyjnych dla małych osiedli zalicza się [2]:

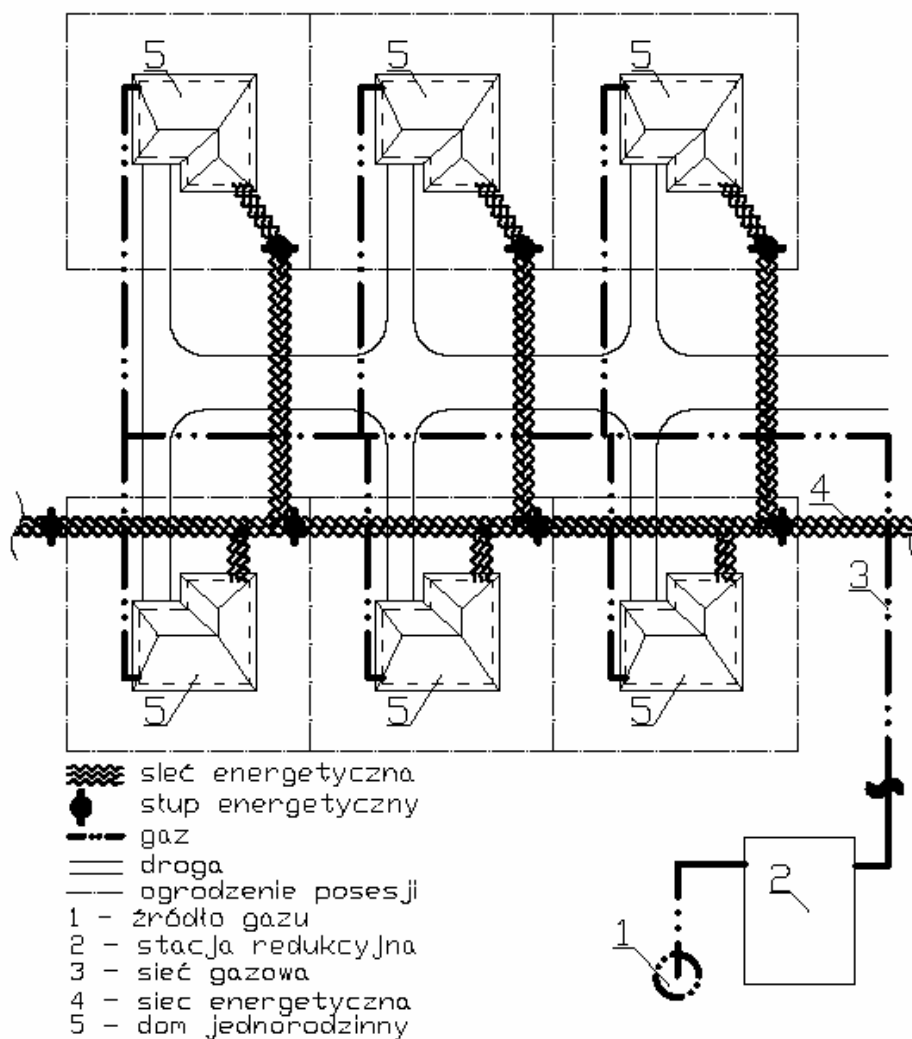
- biogazy a w tym:
- gaz z fermentacji biologicznej (np. z oczyszczalni ścieków),
- gaz wysypiskowy,
- gazy z procesów zgazowania paliw stałych, biomasy lub odpadów,
- propan i mieszaniny propanu z butanem (LPG)
- gaz z małych źródeł gazu „nie podłączonych” do centralnej sieci gazowej.



Rys. 1. Schemat zaopatrzenia w energię ze źródeł odnawialnych dla analizowanego osiedla
 Fig. 1. Diagram of energy supply from renewable sources for housing analyzed

Systemy kogeneracyjne (CHP) mają szerokie zastosowanie jako źródła energii rozproszonej dla ciepłowni miejskich, w gospodarce osadowej – oczyszczalnie ścieków, na wyspiskach, w szpitalnictwie, na basenach, w górnictwie, itp. Systemy CHP wykorzystywane są również w aplikacjach z instalacjami klimatyzacyjnymi, gdzie elementem produkującym ciepło jest agregat kogeneracyjny, natomiast absorpcyjny agregat wody lodowej (chiller) razem z wieżą chłodniczą stanowi źródło chłodu (+4°C) wytwarzane dla

potrzeb wentylacji. Na małych osiedlach (wsiach) perspektywiczne staje się wykorzystywanie rozproszonych źródeł energii (znacząco ogranicza się w ten sposób straty w przesyłce energii, jak również koszty jej produkcji) oraz źródeł energii odnawialnej, powszechne staje się stosowanie do tego celu urządzeń kogeneracyjnych.



Rys. 2. Schemat zaopatrzenia w energię ze źródeł konwencjonalnych dla analizowanego osiedla (kotły gazowe + sieć elektroenergetyczna)

Fig. 2. Diagram of energy supply from conventional sources for housing analyzed (Gas boiler + power network)

Podstawowy system kogeneracyjny składa się z modułu wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, energetycznego układu zabezpieczeń oraz rozdzielnic napędów pomocniczych. Moduł kogeneracyjny może być zbudowany w oparciu o silnik tłokowy najczęściej zasilany gazem ziemnym, propanem lub biogazem powstałym na skutek fermentacji osadów ściekowych, odpadów komunalnych, biomasy, itp. Silnik gazowy posadowiony jest na wspólnym wale z prądnicą synchroniczną. Praca tych elementów umożliwia produkcję energii elektrycznej. Wskutek spalania gazu w silniku powstaje ciepło składające się na całkowitą produkcję energii cieplnej urządzenia. Odbierane jest ono przez układ wymienników ciepła. Natomiast jego pozostała część wypromieniowywana zostaje z korpusu silnika do atmosfery [3].

2. ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ OSIEDLA

Wieś (łac. *pagus, rus*) - jednostka osadnicza o zwartej, skupionej lub rozproszonej zabudowie i istniejących funkcjach rolniczych lub związanych z nimi usługowych lub turystycznych, nie posiadająca praw miejskich lub statusu miasta [4].

Osiedle mieszkaniowe – zespół mieszkaniowy stanowiący integralną część miasta lub wsi.

Z definicji małego osiedla (wsi) wynika, że są to małe skupiska ludzkie, często oddalone od miast, mogą być położone atrakcyjne turystycznie. Wszystkie te czynniki pociągają za sobą położenie wsi daleko od źródeł energii, co prowadzi do powstania znaczących kosztów związanych z doprowadzeniem energii elektrycznej i umożliwia wykorzystanie indywidualnych źródeł energii. Ponieważ często osiedla (wsie) to małe skupiska ludzkie więc koszt jednostkowy doprowadzenia energii elektrycznej przypadające na rodzinę (dom jednorodzinny) są stosunkowo duże. Biorąc pod uwagę fakt, że duże złoża gazu ziemnego – niekonwencjonalnego (zamkniętego w szczelinach pomiędzy warstwami skał łupkowych) w Polsce, często występujące na terenach wiejskich, atrakcyjne staje się zastosowanie agregatu kogeneracyjnego do zasilania w energię elektryczną osiedli lub wsi. Złoża takie często są zbyt małe aby włączyć je do zasilania sieci gazowych, jednak dla wydobycia w lokalnych warunkach (określonej liczby budynków) mogą stanowić zapas taniego, wręcz darmowego surowca energetycznego na wiele lat.

Ponieważ moduł mCHP (agregat mikrokogeneracyjny) produkując energię elektryczną wytwarzają również energię ciepłą umożliwiają tym samym pokrycie zapotrzebowania na ciepło całego osiedla (wsi) bez zastosowania indywidualnych kotłów grzewczych, co pozwala małym osadom całkowicie uniezależnić się od dostaw energii z zewnątrz.

W opracowaniu zajęto się analiza ekonomiczna zastosowania modułu kogeneracyjnego do zasilania małej wsi (rys. 2.) w energię elektryczną i ciepło w stosunku do zastosowania rozwiązania konwencjonalnego (rys. 1.), czyli doprowadzenia energii elektrycznej z sieci energetycznej oraz zastosowania indywidualnych źródeł ciepła w każdym z domów.

Przykładowe rozpatrywane osiedle składa się z 6 domów jednorodzinnych, zlokalizowana jest w pobliżu złoża gazu ziemnego. Powierzchnia średnia domu jednorodzinnego na wsi wynosi 190 m^2 i zamieszkiwana jest przez 8 osób. Każdy z domów będzie odbierał ciepło z układu kogeneracyjnego, wykorzystując je do ogrzewania i przygotowania ciepłej

wody użytkowej. W energię elektryczną domu zaopatrywane będą również z modułu mCHP. Przyjmując zapotrzebowanie na ciepło c.o. każdego z domów na poziomie 15,6 KW oraz do przygotowania c.w.u. na poziomie 3,84 KW oraz współczynnik nierównomierności 1 można obliczyć, że maksymalne zapotrzebowanie na ciepło dla c.o. będzie wynosić 93,6 KW oraz dla c.w.u. 23,04 KW.

Ilość zużywanej energii przez jedno dom określono na podstawie wykazu sprzętu RTV i AGD na poziomie 9,22 KW, co przy współczynniku nierównomierności równym 0,7 dla całej wsi daje zapotrzebowanie energii elektrycznej 38,7 KW.

Określenie zapotrzebowania pozwala na dobranie dwóch agregatów kogeneracyjnego firmy TEDOM typ PREMI 22 [5] (dane techniczne agregatu tab.1). Dobrano dwa agregaty dla zwiększenia niezawodności zasilania w ciepło i energię elektryczną oraz dla dopasowania nominalnego obciążenia agregatu dla warunków zimowych i letnich (zimą pracują oba równolegle, latem pracują pojedynczo, na przemian). Rozwiązanie z wykorzystaniem alternatywnych źródeł energii (modułu CHP) przedstawia rys. 1.

Tabela 1. Dane techniczne agregatu kogeneracyjnego PREMI 22 SP [5]

Table 1. Specifications cogeneration unit PREMI 22 SP [5]

Typ agregatu	Moc elektryczna [KWe]	Moc cieplna [KWt]	Zużycie gazu ziemnego [m ³ /h]	Sprawność elektryczna [%]	Sprawność cieplna [%]	Sprawność ogólna [%]
PREMI 22 SP	22	45,5	7,74	24,7	62,5	87,2

Rozwiązaniem alternatywnym dla układu kogeneracyjnego, w stosunku do którego prowadzona będzie analiza, to zastosowanie tradycyjnych kotłów gazowych, indywidualnie dla każdego domu. Dobrano kocioł firmy Valliant typ VU Plus 205-5 [6], o mocy znamionowej w zakresie 7,7 – 20 KW. Kocioł będzie pracował w priorytecie c.w.u., czyli w momencie powstania zapotrzebowania na c.w.u. kocioł będzie chwilowo zaprzestawał dostarczania ciepła do układu c.o. i kierował je będzie do zasobnika c.w.u. W energię elektryczną domy zaopatrywane będą z sieci energetycznej (schemat instalacji konwencjonalnej dla osiedla przedstawia rys. 2.).

W celu przeprowadzenia porównania kosztowego tradycyjnego sposobu zaopatrywania w energię cieplną i elektryczną osiedla (wsi) oraz z zaopatrywania z modułu mCHP obliczono roczne koszty eksploatacyjne (przedstawione w tab. 2.) obu typów instalacji, przyjmując, że koszt KWh energii elektrycznej wynosi 0,364 PLN, koszt m³ gazu ziemnego GZ-50 1,40 PLN, sezon grzewczy w województwie podkarpackim np. dla Rzeszowa trwa 220 dni, zużycie gazu przez układ kogeneracyjny na godzinę 7,74 m³, zużycie gazu kotła gazowego firmy Valliant na godzinę 1,68 m³ (nie uwzględniono zmienności zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną w ciągu doby i sezonu grzewczego – dla uproszczenia obliczeń)

Z tab. 2. wynika że roczne koszty użytkowania instalacji kogeneracyjnej i kotłów gazowych są zerowe dla własnego źródła gazu, pominięto tu jednak koszty przeglądu agregatu mCHP (rocznie około 30 000 – 40 000 PLN) oraz koszty sprawdzenia

poprawności działania instalacji gazu (ok. 10 000 PLN). Nawet po uwzględnieniu dodatkowych kosztów wynikających bezpośrednio z utrzymania urządzeń w dobrym stanie technicznym koszty roczne użytkowania agregatów kogeneracyjnych są niższe o 10-20% od kosztów dostarczania energii elektrycznej z sieci energetycznej oraz użytkowania indywidualnych źródeł ciepła w postaci kotłów gazowych. Z analizy rocznych nakładów eksploatacyjnych wynika opłacalność stosowania kogeneracji dla osiedli i wsi. Jednak koszty eksploatacyjne nie są jedynymi kosztami związanymi z instalacją kogeneracyjną należy też uwzględnić koszty zakupu i montażu (koszty inwestycyjne).

Tabela. 2. Roczne koszty użytkowania źródeł energii (opracowanie własne)

Table 2. The annual costs of using energy sources (own elaboration)

Źródło energii ciepłej	Kocioł gazowy Valliant VU Plus 205-5	2szt x Moduł kogeneracyjny TEDOM PREMI 22 SP
Źródło energii elektrycznej	Sieć elektroenergetyczna	
Roczny koszt spalnego gazu dla potrzeb podgrzewu c.w.u. [PLN]	Dla własnego źródła gazu koszty 0,00	Dla własnego źródła gazu koszty 0,00
Roczny koszt spalnego gazu dla potrzeb c.o. [PLN]	Dla własnego źródła gazu koszty 0,00	Dla własnego źródła gazu koszty 0,00
Roczny koszt energii elektrycznej [PLN]	10283,36 [6,45 KWh/h x 12 h x 365 d x 0,364 PLN/ KWh]	0,00
Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej w sezonie grzewczym	---	--- (brak podłączenia do zewnętrznej sieci elektroenergetycznej)
Suma kosztów rocznych [PLN]	10 283,36 (6 domów = 61 700,16)	0,00

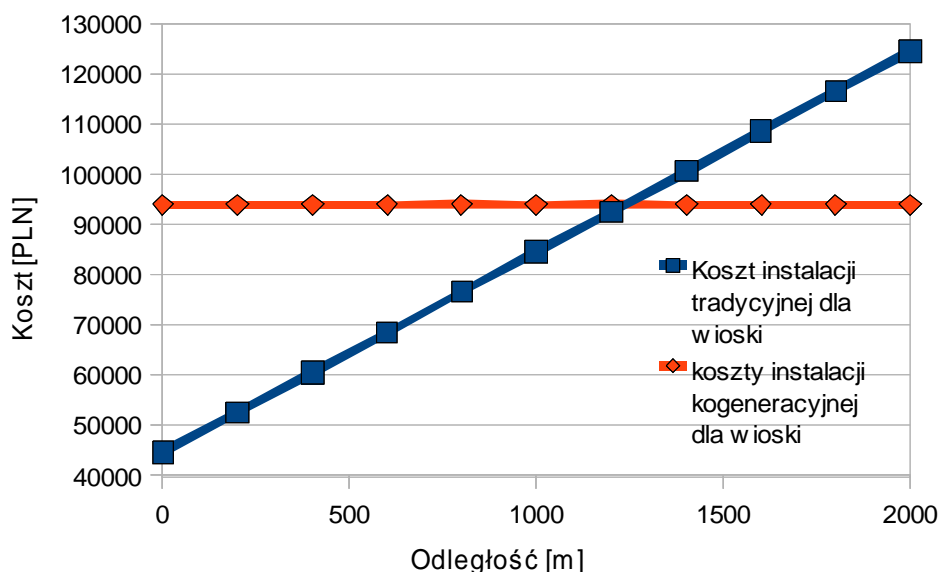
W tab. 3. przedstawiono porównanie kosztów poniesionych na zakup i montaż modułu kogeneracyjnego oraz na dostarczenie energii z konwencjonalnych źródeł (sieci elektroenergetycznej oraz kotłów indywidualnych).

Tabela. 3. Koszty inwestycyjne źródeł energii (opracowanie własne)

Table 3. The capital costs of energy sources (own elaboration)

Źródło energii ciepłej	Kocioł gazowy Valliant VU Plus 205-5	2szt x Moduł kogeneracyjny TEDOM PREMI 22 SP
Źródło energii elektrycznej	Sieć elektroenergetyczna	
Koszty zakupu urządzeń [PLN] (wraz z osprzętem)	Kocioł VU Plus 205-5 [7] 5 037 x 6 = 30 222	Dwa moduły kogeneracyjne [5] PREMI 22 SP – 30 000
Koszt montażu urządzeń (20% ceny)	1 074 x 6 = 6 444	6 000
Koszty wykonania instalacji (w obrębie wsi) [PLN]	Instalacja elektroenergetyczna 200m – 8 000 [9]	Instalacja ciepłownicza 200m – 50 000 [8] Instalacja elektroenergetyczna 200m – 8 000 [9]
Suma kosztów [PLN]	44 666	94 000

Z tab. 3. można wyciągnąć wniosek, że koszty montażu i zakupu instalacji kogeneracyjnej są ponad 2 razy większe niż instalacji tradycyjnych, jednak należy pamiętać o możliwości zasilania z sieci elektroenergetycznej miejscowości położonych w znacznej odległości od źródła energii. Ponieważ tab. 3. przedstawia koszty instalacji niskoprądowych dla osiedli (wsi) znajdującej się w pobliżu sieci elektroenergetycznej, należy rozważyć przypadek gdy wieś będzie znajdować się w znacznej odległości od sieci. Taki przypadek rozważa rys. 4. - zestawienie kosztowe wykonania przyłącza instalacji energetycznej w zależności od odległości od sieci energetycznej.



Rys. 3. Kosztowe wykonania przyłącza instalacji energetycznej w zależności od odległości osiedla od sieci energetycznej (opracowanie własne)

Fig. 3 Cost performance incorporates energy installations depending on the distance from the grid housing (own elaboration)

Z rys. 3. wynika, że koszty montażu i zakupu instalacji kogeneracyjnej dla wioski z przykładu są porównywalne z kosztami instalacji tradycyjnej w osiedlu (wsi) odległym od sieci elektroenergetycznej o około 1,3 km. Dzieje się tak dlatego, że koszty instalacji kogeneracyjnej na wsi nie rosną wraz z odległością ponieważ moduł mCHP jest indywidualnym źródłem energii instalowanym w pobliżu odbiorców.

3. PODSUMOWANIE

Po przeprowadzeniu analizy ekonomicznej stosowanie modułów mCHP dla zasilania w energię elektryczną i ciepłą wsi można stwierdzić opłacalność stosowania takiego rozwiązania. Stwierdzono opłacalność kogeneracji dla przykładowego osiedla (wsi) oddalonego od źródła energii elektrycznej o więcej niż 1,3 kilometra. Koszty roczne

eksploatacji modułu w porównaniu do konwencjonalnego kotła c.o. i zasilania w energię elektryczną z sieci są o połowę niższe. Wszystkie te argumenty przemawiają za stosowaniem kogeneracji. Biorąc pod uwagę fakt, że rozproszona kogeneracja pozwala zaopatrywać w energię wsie, które nie mają możliwości podłączenia do centralnej sieci energetycznej, pozwala to rokować intensywny rozwój tej technologii oraz ciągłe obniżenia kosztów zakupu modułów.

4. LITERATURA

- [1] <http://www.kogeneracja.net>.
- [2] J. Kalina, J. Skorek – „Paliwa gazowe dla układów kogeneracyjnych” - Seminarium cykliczne „Elektroenergetyka w procesie przemian”.
- [3] W. Płatek, A. Buczak – „Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w oparciu o paliwa gazowe – agregaty kogeneracyjne. aspekt techniczny i ekonomiczny” - Seminarium targowe
- [4] <http://pl.wikipedia.org/wiki/>.
- [5] <http://www.tedom.pl/>.
- [6] <http://www.vaillant.pl/>
- [7] www.twenga.pl
- [8] www.prim-lublin
- [9] www.tfkable.pl

ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE COGENERATION FOR SMALL SETTLEMENTS (VILLAGES)

SUMMARY

The lecture presents an analysis of the economics of cogeneration for small settlements (villages) in comparison with the use of conventional energy sources. For conventional energy sources was adopted use of gas boilers for heating buildings and a network of energy to the power supply in buildings.

V. PISAREV, dr hab. inż.

G. CZARNIK, mgr inż.

Ł. DRAŻEK

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

ANALIZA WSPÓŁPRACY POMPY CIEPŁA I OBIEGU RANKINE’A DLA WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W BUDOWNICTWIE JEDNORODZINNYM

STRESZCZENIE

Opracowanie przedstawia analizę ekonomiczną zastosowania turbiny parowych w obiegu termodynamicznym przeznaczonych do wykorzystania w budownictwie jednorodnym. Rozpatrzono dwa warianty wytwarzania energii elektrycznej przy pomocy urządzenia opartego na organicznych obiegach Rankine’a współpracującego w pierwszym wariancie z pompą ciepła i wymiennikiem gruntowym, w drugim wariancie z gazowym palnikiem nadmuchowym.

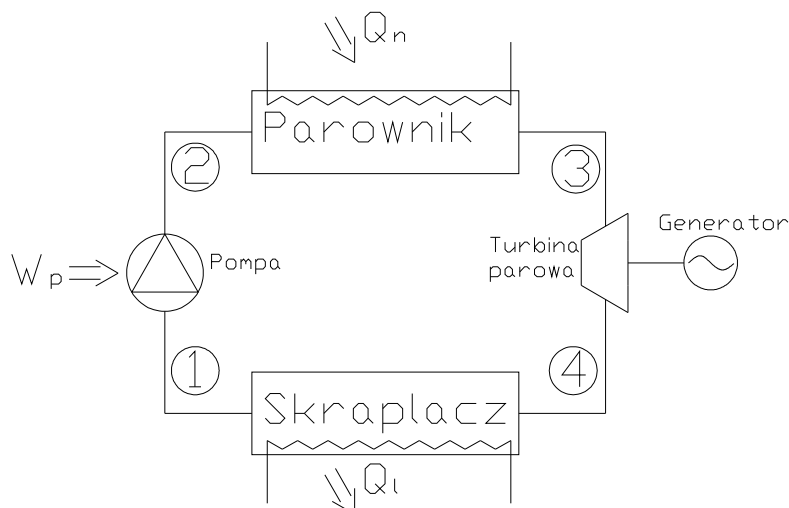
1. WPROWADZENIE

W związku z rosnącymi cenami surowców kopalnych na światowych rynkach, a co za tym idzie kosztów wytwarzania energii cieplnej, elektrycznej i chłodu, na całym świecie poszukuje się nowych możliwości wytwarzania energii dla potrzeb budynków jednorodzinnych. Na coraz większą skalę wdrażane są instalacje kogeneracyjne produkujące równocześnie energię ciepłą oraz elektryczną, jednak zastosowanie takich instalacji ograniczało się głównie do elektrociepłowni czy obiektów przemysłowych o dużych zapotrzebowaniach mocy. Rosnące ceny energii elektrycznej wymusiły wzrost zainteresowania wytwarzaniem energii w indywidualnych gospodarstwach domowych, jednak siłownie wiatrowe czy małe elektrownie wodne potrzebują ściśle określonych warunków terenowych i brakuje im uniwersalności potrzebnej do rozpowszechniania tych rozwiązań jako podstawowych dla zaopatrzenia w energię domów jednorodzinnych. Dlatego też specjaliści w dziedzinie odnawialnych źródeł energii opracowali pomysł wykorzystania do

produkcji energii elektrycznej turbin parowych zasilanych ze źródeł niskotemperaturowych (rys. 1.).

Ciepło pobierane ze źródła niskotemperaturowego zostaje dostarczone do parownika gdzie podgrzewa czynnik krążący w obiegu i doprowadza go do stanu lotnego. Przechodząc przez punkty 3-4 napędza turbinę parową, gdzie zostaje rozprężony, co powoduje obroty turbiny, napędzając wał generatora elektrycznego. Pomiedzy punktami czynnik roboczy jest skraplany w skraplaczu, gdzie oddaje ciepło, które może zostać dodatkowo wykorzystane. Pomiedzy punktami 1-2 ciśnienie czynnika zostaje podniesione przez pracę pompy [1].

Stosowane dotychczas czynniki obiegu termodynamicznego miały ograniczone właściwości chemiczne i fizyczne, które ograniczały możliwość zastosowania ich do produkcji energii elektrycznej przy wykorzystaniu niskotemperaturowych źródeł ciepła oraz obiegu Rankine'a. Problem ten rozwiązała firma Honeywell wprowadzając do swojej oferty czynnik R-245fa [2].



Rys. 1. Schemat instalacji wytwarzającej energię elektryczną przy wykorzystaniu źródeł niskotemperaturowych [1]

Fig. 1. Installation Diagram producing electricity using low-temperature sources [1]

Urządzenie oparte na czynniku firmy Honeywell i organicznym obiegu Rankine'a (ORC) opracowała firma Turbolina GmbH&Co.KG. Mikro siłownia o oznaczeniu kodowym 35Z pozwala na użycie ciepłej wody wytworzonej w kolektorach słonecznych do odparowania czynnika w obiegu Rankine'a tworząc parę napędzającą turbinę połączoną z generatorem elektrycznym [3].

Tabela 1. Parametry techniczne urządzeń firmy TURBOLINA [3]

Table 1. Technical parameters for the device company TURBOLINA [3]

	Jednostka	ORC 35Z	ORC 300Z	ORC 600Z	ORC 900Z	ORC 1200Z	ORC 2500Z	ORC 5000Z
Ciepło na wejściu	KW	21,3	182,6	365,1	547,7	730,3	1460,6	2921,1
Ciepło na wyjściu	KW	17,7	151,7	455,1	455,1	606,9	1213,7	2427,4
Sprawność obiegu Carnota	%	16,9	17,1	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
Moc elektryczna na wyjściu	KW	3,5	30	60	90	120	240	480
Napięcie na wyjściu	V	240	400	400	400	650	650	650
Liczba faz generatora		1	3	3	3	3	3	3
Maksymalna liczba obrotów generatora	min ⁻¹	50000	22000	15400	14000	12200	10000	7500
Nominalny moment obrotowy	Nm	0,67	13,02	37,02	61,39	93,93	238,73	636,62
Maksymalna temperatura źródła	°C	120						
Maksymalna temperatura na wyjściu	°C	20						
Ciśnienie na wejściu	bar	3						
Ciśnienia na wyjściu	bar	2,5						

Według producenta czynnik R-245fa jest idealny do użytkowania w systemach ORC z powodu swoich właściwości fizyko-chemicznych [3]:

- wzór chemiczny $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CHF}_2$,

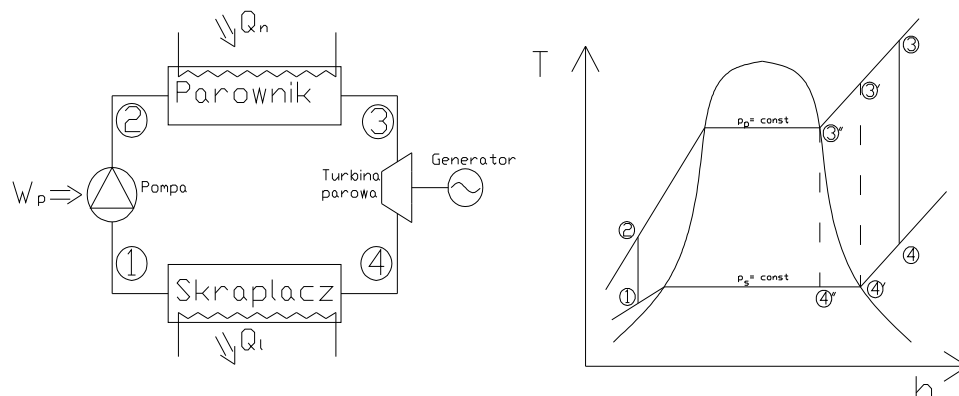
- temperatura wrzenia $14,9^{\circ}\text{C}$,
- temperatura krytyczna $54,05^{\circ}\text{C}$,
- ciśnienie krytyczne 36,4 bar,
- gęstość w stanie ciekłym 1339 kg/m^3 ,
- ciepło właściwe $1,36\text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$,
- ciepło parowania w punkcie wrzenia $196,7\text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$,
- przewodność cieplna w stanie ciekłym $0,08\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- przewodność cieplna w stanie gazowym $0,0125\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Urządzenia ORC Turbolina oparte na w/w czynniku firmy Honeywell charakteryzują się następującymi parametrami [3] (przegląd typoszeregu urządzeń opartych na systemie ORC firmy Turbolina przedstawia tab. 1.):

- moc cieplna na wejściu do urządzenia 21,3 – 2921,1 KW,
- moc elektryczna 3,5 – 480 KW,
- teoretyczna sprawność obiegu Carnota 16,9 – 17,2%,
- maksymalna temperatura na wejściu do urządzenia 120°C ,
- maksymalna temperatura na wyjściu z urządzenia 20°C .

2. WYKORZYSTANIE OBIEGU ORC I NISKOTEMPERATUROWYCH ŹRÓDEŁ CIEPŁA W PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA MAŁYCH OBIEKTÓW (DOMÓW JEDNORODZINNYCH)

Wykorzystanie odpadowej energii cieplnej oraz źródeł niskotemperaturowych ciepła np. wód geotermalnych do produkcji energii elektrycznej umożliwia zastosowanie organicznych obiegów Rankine’a (a właściwie Clausiusa-Rankine’a). Typowy obieg Rankine’a to obieg wodno-parowy stosowany głównie w elektrowniach zarówno tych konwencjonalnych jak i atomowych. Do wykorzystania niskotemperaturowych źródeł ciepła stosuje się obiegi organiczne Rankine’a, które również są zamkniętymi obiegami gazowym z tą różnicą, że czynnikiem termodynamicznym są substancje organiczne (takie jak R134a, R407c, czy R-245fa) a nie woda. Zastosowanie czynników organicznych pozwala obniżyć temperaturę wrzenia co umożliwia wykorzystanie dużych pojemności cieplnych przemiany (parowania) termodynamicznej, pozwalając odebrać ciepło ze źródła niskotemperaturowego. Zjawisko ORC powszechnie wykorzystywane jest w chłodnictwie w szczególności w chłodniczych agregatach sprężarkowych, pompach ciepła oraz układach klimatyzacyjnych split, multisplit, oraz układach ze zmienną ilością czynnika chłodniczego np. VRF. Przykładowy schemat przemian termodynamicznych urządzenia wykorzystującego obieg ORC do produkcji energii elektrycznej przedstawiono na rys. 2.



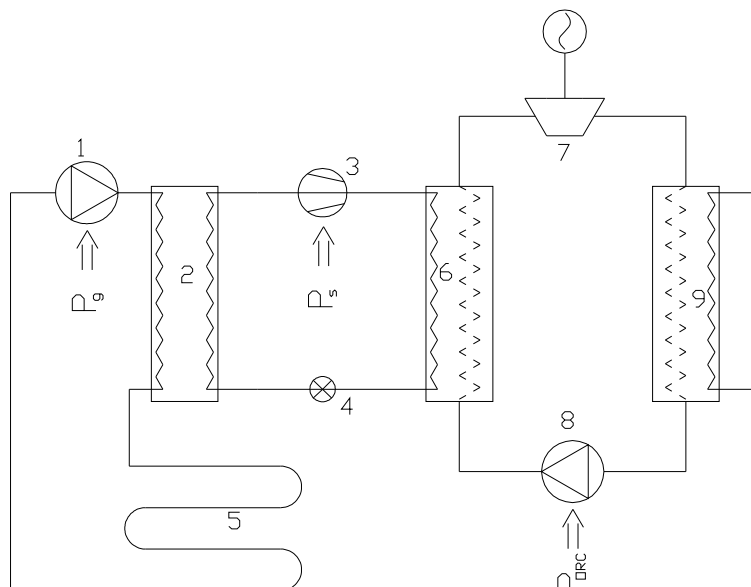
Rys. 2. Schemat przemian termodynamicznych w urządzeniach wykorzystujących obieg ORC do produkcji energii elektrycznej

Fig. 2. Scheme of thermodynamic changes in the devices using ORC cycle to produce electricity

Z rys. 2. wynika, że ciepło oddane w parowniku w przemianie 2-3 izobarycznej powoduje odparowanie czynnika termodynamicznego oraz ewentualne jego przegrzanie. Następnie czynnik trafia do turbiny parowej (przemiana izoentropowa 3-4 warunki idealne) gdzie następuje jego rozprężenie poprzez przepływ przez łopatki, które napędzają wał połączony z generatorem. Po przejściu przez turbinę czynnik trafia do skraplacza (przemiana 4-1 izobaryczna) gdzie oddaje ciepło niskoparametrowe, które może zostać wykorzystane np. do podgrzewu wstępnego c.w.u. Proces skraplania jest ważny z punktu widzenia prawidłowej pracy pompy, ponieważ należy pamiętać, że pompy nie są przystosowane do przetłaczania par, powoduje to ich przegrzanie i awarię. Wynika z tego, że proces skraplania powinien przechładzać ciecz. Należy również pamiętać o zainstalowaniu „łapacza gazu”, czyli zbiornika z rurką syfonową, który pełnił będzie funkcję odcięcia dostępu gazu do pompy. Ze skraplacza czynnik trafia do pompy gdzie podnoszone jest jego ciśnienie w przemianie 1-2 izochorycznej.

3. ANALIZA EKONOMICZNA

Analizę ekonomiczną wykorzystania obiegów ORC do produkcji energii elektrycznej należy rozpocząć od przyjęcia źródła ciepła, zasilającego urządzenie. Najbardziej dostępnym niskotemperaturowym źródłem ciepła jest ciepło gruntu, wykorzystywane często jako dolne źródło zasilania w ciepło pomp ciepła. Temperatura gruntu na głębokości około 1,5 m w ciągu roku jest w miarę stała i waha się w granicach 8°C. Ponieważ z danych dostarczonych od producenta urządzeń Turbolina (firma na której oparto schemat wytwarzania energii w naszym przypadku) wynika, że model 35 Z pracuje przy małych temperaturach źródła ciepła poniżej 90°C, powoduje to brak możliwości wykorzystania wymiennika gruntowego jako bezpośredniego źródła ciepła. Rozpatrzono więc wykorzystanie wymiennika gruntowego jako źródła ciepła dla pompy ciepła, której zadaniem jest podniesienie temperatury źródła ciepła dla parownika urządzenia 35 Z, uzyskując temperaturę na wejściu do urządzenia na poziomie 55°C (schemat instalacji rys. 3.).



Rys. 3. Schemat instalacji wykorzystującej wymiennik gruntowy, pompę ciepła i urządzenie Turbolina do wytwarzania energii elektrycznej
(1-pompa wymiennika gruntowego, 2-parownik pompy ciepła, 3-sprężarka pompy ciepła, 4-zawór rozprężny pompy ciepła, 5-wymiennik gruntowy, 6- skraplacz pompy ciepła i parownik urządzenia Turbolina, 7-turbina parowa z generatorem, 8-pompa obiegowa urządzenia Turbolina, 9-skraplacz urządzenia Turbolina)

Fig. 3 Installation Diagram using ground heat exchanger, heat pump and Turbolina device to produce electricity

(1-pump of ground heat exchanger, 2-evaporator of heat pump, 3-compressor of heat pump, 4-expansion valve 5 - heat pump ground exchanger, 6 – condenser heat pump and evaporator device Turbolina, 7 steam turbine with generator, 8 - circulating pump of device Turbolina, 9-condenser device Turbolina)

Z temperaturą na wejściu do urządzenia Turbolina można powiązać temperaturę na wyjściu z urządzenia, według producenta dla 55 °C na wejściu temperatura na wyjściu będzie równa 17 °C. Korzystając więc z definicji sprawności obiegu Carnota η :

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (1)$$

gdzie: Q_1 – moc ciepła na wejściu do urządzenia, KW,
 Q_2 – moc ciepła na wyjściu z urządzenia, KW,
 T_1 – temperatura na wejściu do urządzenia, K,
 T_2 – temperatura na wyjściu z urządzenia, K.

Otrzymano ze wzoru (1) dla temperatur $T_2=17\text{ }^{\circ}\text{C}=290\text{ K}$ i $T_1=55\text{ }^{\circ}\text{C}=328\text{ K}$ sprawność η :

$$\eta = 1 - \frac{290}{328} = 0,115$$

Wynik pozwala stwierdzić, że teoretyczna sprawność cyklu Carnota urządzenia Turbolina 35 Z dla temperatur T_2 , T_1 wynosi zaledwie 11,5 % (przy pominięciu strat, które występują w rzeczywistym obiegu Rankine'a-Clausiusa), co przy założeniu że ilość ciepła dostarczanego do parownika urządzenia będzie optymalna (21,3 KW) to ilość produkowanej energii elektrycznej wyniesie ok. 2,4 KW. Dobierając pompę ciepła pomiędzy wymiennikiem gruntowym a urządzeniem 35 Z jako pompę firmy Viessmann typ Vitocal 220WW o parametrach technicznych podanych w tab. 2. [4] przy założeniu temperatury w wymienniku gruntowym $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ i temperatury w obiegu górnym $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (parownik urządzenia ORC Turbolina).

Tabela 2. Parametry techniczne pompy ciepła Viessmann typ Vitocal 220WW [4]

Table 2 Technical parameters Viessmann heat pump type Vitocal 220WW [4]

Znamionowa moc cieplna	KW	24,8
Znamionowa wydajność chłodnicza	KW	17,3
Pobór mocy elektrycznej	KW	7,5
COP – współczynnik efektywności grzewczej	-	3,29

Opłacalność urządzenia Turbolina 35 Z (zgodnie ze schematem z rys. 3.) zależy od ilości produkowanej energii elektrycznej oraz ilości energii pochłanianej na potrzeby własne. Dla wykazania ekonomiczności stosowania w/w urządzeń musi być spełniony warunek:

$$P_g + P_s + P_{ORC} < G_g \quad (2)$$

gdzie: P_g – moc elektryczna pompy obiegowej wymiennika gruntowego, KW,

P_s – moc elektryczna sprężarki pompy ciepła, KW,

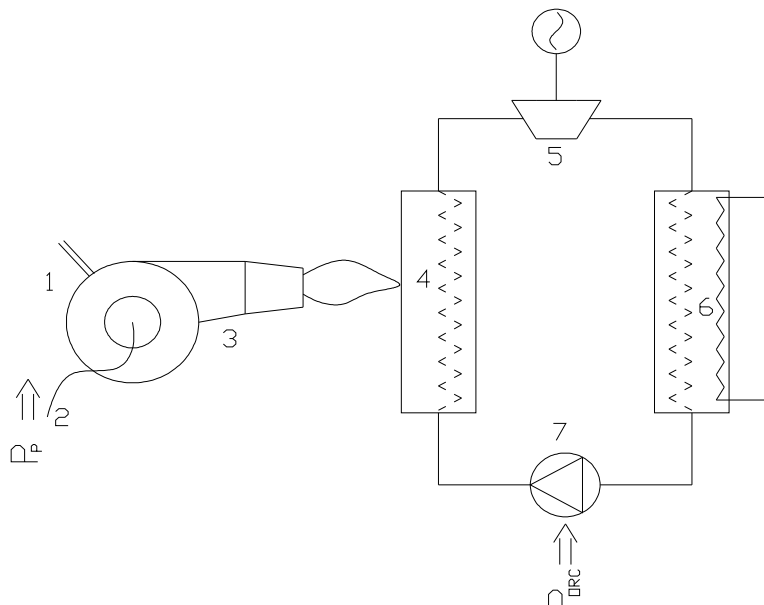
P_{ORC} – moc elektryczna pompy obiegowej urządzenia ORC, KW,

G_g – ilość produkowanej energii elektrycznej w instalacji, KW.

Ponieważ pobór mocy elektrycznej sprężarki pompy ciepła $P_s=7,5\text{ KW}$ przewyższa znacznie ilość produkowanej energii elektrycznej $G_g=2,4$ (niespełniony warunek (2)), nasuwa się wniosek że wykorzystanie wymiennika gruntowego i pompy ciepła do zasilania w ciepło parownika urządzenia 35 Z w celu wytwarzania energii elektrycznej nie ma podstaw ekonomicznych, co prowadzi do braku korzyści - skazując takie rozwiązanie na brak inwestorów chętnych do stosowania.

Winą baraku ekonomiczności rozwiązania z rys. 3. można obarczyć wysoki koszt podnoszenia poziomu energetycznego (temperatury) czynnika w pompie ciepła (duży pobór mocy sprężarki), należy więc poszukać rozwiązania prostego pod względem budowy i tańszego nośnika energii niż energia elektryczna. Do takich rozwiązań należy zaliczyć dostarczenie ciepła na poziomie optymalnej temperatury do parownika (z danych producenta 88°C) urządzenia 35 Z z procesy spalania gazu propan - butan np. w palniku

nadmuchowym firmy De Dietrich (dane techniczne palnika w tab. 3., schemat instalacji rys. 4.).



Rys. 4. Schemat instalacji z palnikiem gazowym nadmuchowym i urządzeniem Turbolina wykorzystywanej do wytwarzania energii elektrycznej

(1-instalacja gazu propan - butan, 2-zasilanie wentylatora, 3-Palnik nadmuchowy na propan – butan, 4- parownik urządzenia Turbolina, 5-turbina parowa z generatorem, 6-skraplacz urządzenia Turbolina, 7-pompa obiegowa urządzenia Turbolina,)

Fig. 4 Installation Diagram of the gas burner and Turbolina device used to produce electricity

(1-gas installation propane - butane, 2-power fan, 3-burner on propane-butane, 4 - evaporator device Turbolina, 5-steam turbine with generator, 6-condenser unit Turbolina, 7-circulating pump device Turbolina,)

W przypadku przedstawionym na rys. 4. warunek opłacalności, będzie miał uproszczoną postać:

$$P_p + P_{ORC} < G_g \quad (3)$$

gdzie: P_p – moc elektryczna wentylatora w palniku nadmuchowego, KW,
 P_{ORC} – moc elektryczna pompy obiegowej urządzenia ORC, KW,
 G_g – ilość produkowanej energii elektrycznej w instalacji, KW.

Tabela 3. Parametry techniczne palnika firmy De Dietrich typ G 100S [5]

Table 3. Technical parameters burner De Dietrich' type G 100S

Moc cieplna	KW	16-52
Nastawa fabryczna	KW	26
Natężenie przepływu gazu propan – butan	m ³ /h	1,24 – 4,04
Maksymalny pobór mocy silnika	W	150
Ciężar netto	kg	12,6

Biorąc pod uwagę pobór mocy elektrycznej palnika na poziomie $P_p = 0,15$ KW oraz pobór mocy pompy urządzenia Turbolina na poziomie $P_{ORC}=0,3-0,6$ KW można stwierdzić, że urządzenie produkuje (zgodnie z danymi producenta z tab. 1.) $G_g = 3,5$ KW w warunkach znamionowych (zapewnianych przez palnik nadmuchowy), co pozwala myśleć, że rozwiązanie takie pozwala osiągnąć wymierne korzyści finansowe. Porównano więc koszty wytworzenia 1 KW energii elektrycznej dla instalacji przedstawionej na rys. 4. przy założeniu ceny gazu propan-butan na poziomie 1,4 PLN/m³. Obliczenia zamieszczono w tab. 4.

Tabela 4. Koszt 1 KWh energii elektrycznej wytworzonej w instalacji z rys. 4

Table 4. The cost of 1 kWh of electricity generated in the installation of fig. 4

Ilość dostarczanej energii cieplnej z palnika nadmuchowego	KW	21,3
Temperatura w parowniku urządzenia Turbolina ORC 35Z	°C	88
Ilość spalonego gazu (przy mocy palnika 21,3 KW)	m ³ /h	1,65
Ilość produkowanej energii elektrycznej przez urządzenie Turbolina ORC 35Z (czas pracy 1 h) - G_g	KWh	3,5
Pobór mocy elektrycznej instalacji z rys. 4. (czas pracy 1 h) - $P_{ORC}+P_p$	KWh	0,45 – 0,75
Ilość produkowanej energii elektrycznej netto (oddawanej do użytku zewnętrznego) przez urządzenie Turbolina ORC 35Z (czas pracy 1 h) - $G_g - P_{ORC}+P_p$	KWh	3,05 – 2,75
Koszty spalonego gazu (czas pracy 1 h) K_g	PLN	2,31
Koszt wytworzenia 1 KWh energii elektrycznej w instalacji z palnikiem nadmuchowym	PLN/KWh	0,76 – 0,84

Porównując koszt 1 KWh energii elektrycznej wytworzonej przy użyciu urządzenia Turbolina 35Z i palnika nadmuchowego z tab. 4. 0,76-0,84 PLN z kosztem energii elektrycznej dostarczonej z sieci elektroenergetycznej, której koszt oscyluje w granicach 0,40 PLN, pokazuje jasno, że produkowanie energii przy użyciu instalacji z rys. 3. jest możliwe, lecz nie ekonomiczne.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzono analizę ekonomiczną produkcji energii elektrycznej dla obiektu małe np. domów jednorodzinnych przy wykorzystaniu urządzenia Turbolina 35Z w dwóch wariantach, pierwszy przy dostarczeniu energii cieplnej z wymiennika gruntowego przy pomocy pompy ciepła oraz drugi przewidujący dostarczenie ciepła w procesie spalania gazu palnikiem nadmuchowym. Analiza ekonomiczna wykazała, że oba rozwiązanie mimo ciekawej konstrukcji i wykorzystania łatwo dostępnych źródeł ciepła nie są w stanie konkurować pod względem ekonomicznym z konwencjonalnym sposobem wytwarzania energii. Ekonomicznie produkcja energii elektrycznej przy wykorzystaniu ORC może poprawić jedynie pozyskanie taniego, wręcz darmowego źródła ciepła np. wód odpadowych z ciepłowni lub połączenie układów ORC z instalacjami, w których występuje notoryczny nadmiar ciepła np. modułami CHP (pozwoliłoby to na zmniejszenie wielkości dry-coolera oraz na zmniejszenie ilości energii oddawanej do atmosfery szczególnie w okresie letnim, co zmniejszyłoby koszty eksploatacyjne)

5. LITERATURA

- [1] Lipnicki Z.; „Pompy ciepła w procesie dostarczania energii” – „Czysta Energia”, 4/2008,
- [2] “245-fa as a working fluid for Waste Heat Recovery and Organic Rankine Cycle power generation applications” – www.honeywell.com,
- [3] “Honeywell Refrigerant Helps Homeowners Convert the Sun’s Heat Into Power” – www.honeywell.com,
- [4] www.viessmann.pl,
- [5] www.dedietrich.com.pl.

ANALYSIS COOPERATION OF HEAT PUMPS AND RANKINE CYCLES FOR ELECTRICITY GENERATION IN FAMILY HOUSING CONSTRUCTION

SUMMARY

Studies presents an economic analysis of the application of steam turbines in a thermodynamic cycle for use in housing construction. Considered two options for generating electricity using devices based on organic Rankine cycles cooperating in the first variant of the heat pumps and ground heat exchanger, the second variant of the gas burner blowing.

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

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: vpisarev@prz.edu.pl
e-mail: rabczak@prz.edu.pl

KONCEPCJA INSTALACJI GRZEWczo - WENTYLACYJNEJ DLA BUDYNKU ENERGOOSZCZĘDNEGO

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono przykładowe rozwiązania instalacji grzewczej, wentylacyjnej oraz rozwiązania zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową dla budynku energooszczędnego z wykorzystaniem alternatywnych źródeł energii w postaci gruntu. Omówiono wady i zalety przyjętych schematów technologicznych, jak również koszty produkcji energii grzewczej. Przedstawiono analizę zużycia energii dla wybranych schematów technologicznych oraz prosty czas zwrotu kosztów.

1. WPROWADZENIE

Do analizy przyjęto budynek jednorodzinny o powierzchni 150 m², o zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania na poziomie (tylko straty ciepła przez przenikanie) 8 kW, zamieszkiwanego przez 4 osoby w okolicy Rzeszowa. Zakładając zużycie c.w.u. na jednego mieszkańca ok. 50 dm³/os oraz różnicę temperatur wody na zasilaniu i wyjściu z podgrzewacza $\Delta T_w = 45^\circ\text{C}$ otrzymana ilość ciepła niezbędna do podgrzania wody w czasie ok 8 godzin wyniesie ok. 5 kW. W przypadku wentylacji założono działanie wymuszonej wymiany powietrza z wykorzystaniem centrali nawiewno - wywiewnej z odzyskiem ciepła przetłaczającej powietrze w ilości 350 m³/h. Pozwala to na ustalenie zapotrzebowania na ciepło do podgrzania powietrza wentylacyjnego od -20 do 20°C na poziomie 4,7 kW. Sumaryczne godzinowe zapotrzebowanie ciepła przez budynek wyniesie 17,7 kW. Zapotrzebowanie chłodu kształtuje się na poziomie 10 kW. Dla tak przyjętych założeń przeprowadzono wstępną analizę możliwości zastosowania wybranych systemów technologicznych zaopatrzenia w ciepło dla budynku energooszczędnego. Na potrzeby analizy przyjęto warunki meteorologiczne jak dla stacji meteo Rzeszów-Jasionka.

2. KOSZTY ENERGETYCZNE UKŁADÓW TECHNOLOGICZNYCH ZAOPATRZENIA W CIEPŁO

Poniżej zaproponowano kilka schematów technologicznych zaopatrujących budynek w ciepło na cele grzewcze, wentylacyjne oraz ciepłą wodę z wykorzystaniem pompy ciepła z dolnym źródłem w postaci gruntu. W przypadku zużycia energii, każda instalacja w obrębie budynku energooszczędnego może być źródłem oszczędności oraz modyfikacji mających na celu nie tylko zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło, jak również zwiększenie efektywności samego źródła ciepła. Systemy i procesy mogące wchodzić w skład całości technologii zaopatrzenia w ciepło, chłód i energię elektryczną dla budynku mogą wzajemnie ze sobą oddziaływać oraz wykorzystywać całość energii pozyskanej z dolnego źródła pompy ciepła niezależnie od chwilowej podaży. Poniżej przedstawiono podstawowy podział instalacji występujących w budynku jednorodzinnym oraz możliwości produkcji energii przy wykorzystaniu bardziej elementarnych systemów.

Ze względu na mnogość rozwiązań mających na celu zapewnienie wystarczającej ilości ciepła i chłodu na potrzeby instalacji wewnętrznych w artykule przedstawiono jedynie mały wycinek, z uwzględnieniem systemów bazujących na pompie ciepła z kolektorem gruntowym zaopatrującym w ciepło instalację centralnego ogrzewania lub instalacje ogrzewania powietrznego, jak również akumulującym ciepło dla potrzeb nierównomiernego rozbioru ciepłej wody użytkowej. Najprostszym rozwiązaniem jest instalacja z wykorzystaniem kolektora gruntowego poziomego na potrzeby niskotemperaturowego ogrzewania podłogowego zapewniającego również podgrzewanie ciepłej wody użytkowej – rys. 2. Jest to rozwiązanie obecnie bardzo popularne z uwagi na swoją prostotę wykonania instalacji oraz na możliwość łatwego zaadoptowania instalacji w tradycyjnym budownictwie. Wadą tego rozwiązania są duże koszty inwestycyjne w porównaniu z korzyściami, jakie można uzyskać. Duża pompa ciepła zapewnia 100% pokrycie zapotrzebowania na ciepło, w związku z tym nie można pozwolić sobie na niedowymiarowanie instalacji zewnętrznej. Produkcja energii cieplnej przez tak zaprojektowany system wynosi ok. 13 kW. Założeniem jest, że instalacja wentylacyjna wykorzystuje tradycyjne źródło energii. Zakładając współczynnik wydajności grzewczej dla pompy ciepła $COP = 3,5$, można określić zapotrzebowanie na energię elektryczną na poziomie 3,5 kW. Dolicząc do tego osprzęt całej instalacji w postaci pomp obiegowych ok. 1 kW, otrzymuje się w sumie 4,5 kW energii elektrycznej niezbędnej do działania systemu. Jeśli przyjąć jako punkt odniesienia tradycyjny system wytwarzania mocy cieplnej w postaci pieca gazowego o takiej samej mocy jak zapotrzebowanie na ciepło dla analizowanego wariantu, można określić współczynnik K_j wyrażający całkowite koszty poniesione na wyprodukowanie mocy cieplnej Q_c do wielkości tej mocy Q_c .

$$K_j = \frac{\sum E_p k_p}{Q_c} \text{ [zł/kW]} \quad (1)$$

E_p – zużycie danego rodzaju energii, kW, k_p – jednostkowy koszt energii, zł/kW
Zakładając zapotrzebowanie na moc cieplną dla wariantu bazowego na poziomie 13 kW w postaci paliwa gazowego oraz 0,5 kW energii elektrycznej oraz ich jednostkowy koszt k_p na poziomie 0,48 zł/kWh dla energii elektrycznej oraz 0,20 zł/kWh dla paliwa gazowego,

całkowite koszty produkcji mocy cieplnej wyniosą 2,60 zł. Przy wielkości mocy wyprodukowanej przez system $Q_c = 13\text{kW}$, współczynnik $K_j = 0,22\text{ zł/kWh}$. Natomiast koszty wyprodukowania 13 kW energii z systemu z pompą ciepła jak na rys. 2 wyniosą $K_j = 0,17\text{ zł/kWh}$. Zatem system jest w stanie zużyć jedynie 82% energii w porównaniu z systemem tradycyjnym.

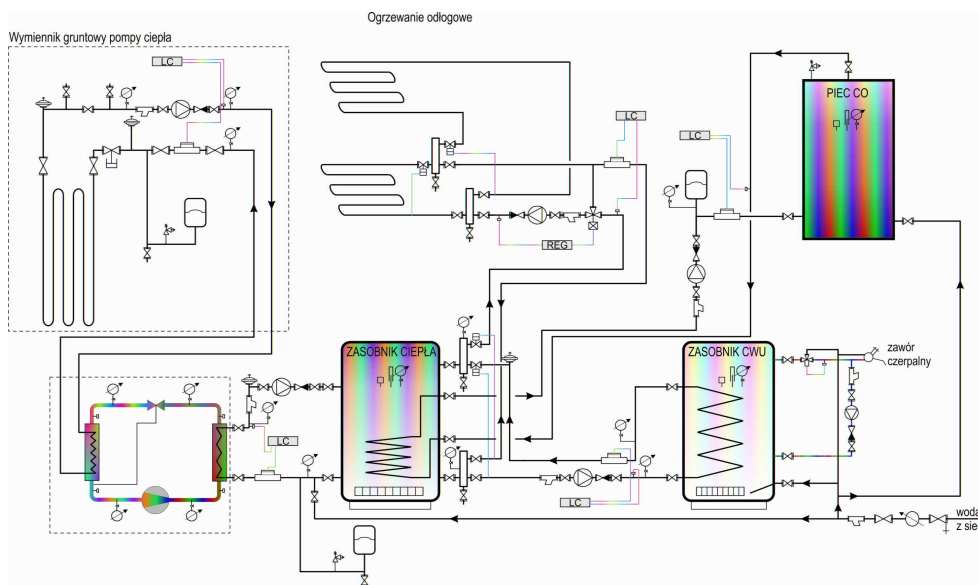


Rys. 1. Podział wewnętrznych instalacji w budynku wraz z możliwością produkcji energii
Fig. 1. Segregation of internal installation in building and possibility of energy production



Rys. 2. System niskotemperaturowego ogrzewania budynku w oparciu o gruntową pompę ciepła - A
Fig. 2. Low temperature heating system based on ground heat pipe - A

Równie częstym rozwiązaniem jest sytem z pompą ciepła pracujący w systemie biwalentnym z kotłem gazowym. Zadanie kotła gazowego jest pokrywanie zapotrzebowania na ciepło przy niskich temperaturach zewnętrznych z uwagi na niekorzystny współczynnik wydajności grzewczej pompy ciepła w takich warunkach – rys. 3.



Rys. 3. System niskotemperaturowego ogrzewania budynku w układzie biwalentnym - B
Fig. 3. Low temperature heating of building in bivalent system - B

Przedstawiony powyżej schemat technologiczny „B” jest bardziej rozbudowany od poprzednich jednak zapewnia większą niezawodność w dostawie ciepła z uwagi na dostępność jednocześnie 2 źródeł ciepła – tradycyjnego w postaci paliwa gazowego oraz odnawialnego w postaci energii zmagazynowanej w gruncie. W tym przypadku trudno jest jednoznacznie określić koszty wytworzenia 1 kW energii cieplnej, ponieważ zależy to od sposobu współpracy kotła z pompą ciepła. Dla analizowanego przypadku można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że kocioł gazowy pracował będzie średnio 30 % długości sezonu grzewczego, co pozwala określić jego udział w całkowitym zapotrzebowaniu na ciepła dla budynku na podobnym poziomie. Rozwiązanie to cechuje się mniejszymi wydajnościami pompy ciepła jak i samego zasobnika ciepła w porównaniu ze schematem technologicznym typu „A”. Wariantem bazowym dla instalacji typu „B” będzie kocioł gazowy zapewniający dostawę ciepła na wymagane cele budynku. Zakładając zużycie energii elektrycznej dla działania systemu oznaczonego jako „B” na poziomie 1,1 kW, współczynnik jednostkowych kosztów wytwarzania mocy cieplnej wyniesie $K_j = 0,18$ zł/kW, jest nieznacznie droższy od poprzedniego rozwiązania, niemniej pozwala na bardziej elastyczną i niezawodną pracę układu.

Kolejna modyfikacja systemu przedstawiona na rys. 4 zapewnia wentylację mechaniczną budynku wraz z ogrzewaniem powietrznym. Dużą zaletą tego systemu jest brak odrębnej instalacji do centralnego ogrzewania, mała bezwładność układu oraz możliwość odzyskania sporej ilości ciepła z powietrza usuwanego z pomieszczenia. W zależności od zastosowanego systemu odzysku ciepła możliwe są oszczędności dochodzące od 50 do 80%.



Rys. 4. System ogrzewania powietrznego budynku z pompą ciepła - C
Fig. 4. Air heating system with ground heat pipe - C

Zapotrzebowanie na ciepło dla budynku wyniesie w tym przypadku 17,7 kW minus wielkość ciepła jaką można zaoszczędzić na wymienniku ciepła w centrali wentylacyjnym, tj. 12,7 kW i iloczyn sprawności 0,7. Ostatecznie otrzymuje się 8,81 kW zapotrzebowania na ciepła dla systemu, który dostarcza do budynku 17,7 kW energii cieplnej. Dodatkowa ilość energii elektrycznej dla napędu wentylatorów wynosi 1 kW. Zakładając sprawność odzysku ciepła na poziomie 70% koszty wytworzenia jednostki mocy energii cieplnej dla systemu oznaczonego jako „C” wynoszą $K_j = 0,13$ zł/kW. W porównaniu z wariantem bazowym (odniesienia dla systemu typu „C”, tj. kocioł gazowy oraz centrala wentylacyjna z odzyskiem ciepła) koszty te są blisko połowę mniejsze.

Kolejny schemat przedstawiony na rysunku 5 (instalacja oznaczona jako „D”) przedstawia układ jak poprzednio z modyfikacją w postaci dodatkowej pompy ciepło powietrze woda odzyskującej ciepło z powietrza wentylacyjnego i przekazującego go do zasobnika c.w.u. Trudność w określeniu mocy cieplnej pompy ciepła powietrze – woda dla podgrzewania ciepłej wody w zasobniku polega na prawidłowym doborze wielkości pompy tak aby nie doszło do szronienia na parowniku umieszczonym w przewodzie wywiewnym centrali wentylacyjnej. Jest to o tyle istotne, ponieważ powietrze za wymiennikiem ciepła osiąga względnie niską temperaturę ok. -8°C przy 70% sprawności wymiennika ciepła w centrali

wentylacyjnej. Jeżeli dodatkowo obniży się temperatura powietrza wchodzącego na wymiennik, to powinna ona osiągnąć poziom minimalny związany z brakiem szronienia wymiennika odzysku ciepła w centrali, co może być poważnym minusem tego rozwiązania. Ponieważ pompa ciepła dla c.w.u. pracuje przy stosunkowo wysokiej temperaturze dolnego źródła jakim jest powietrze wywiewane z pomieszczenia, można założyć że jest to ok. 10-15°C, co pozwala na osiągnięcie wysokich współczynników wydajności grzewczej COP na poziomie ok. 4,0. Jest to dodatkową zaletą tego typu rozwiązania, ponieważ produkcja ciepła z gruntowej pompy ciepła osiąga dużo mniejszą efektywność z współczynnikiem COP w granicach 3,5. Zakładając, że w okresie grzewczym 70% ciepła pochodzić będzie z dodatkowej pompy ciepła dla c.w.u. można przyjąć moc pompy ciepła na poziomie 3,5 kW i zapotrzebowaniem energii elektrycznej na poziomie 0,9 kW.

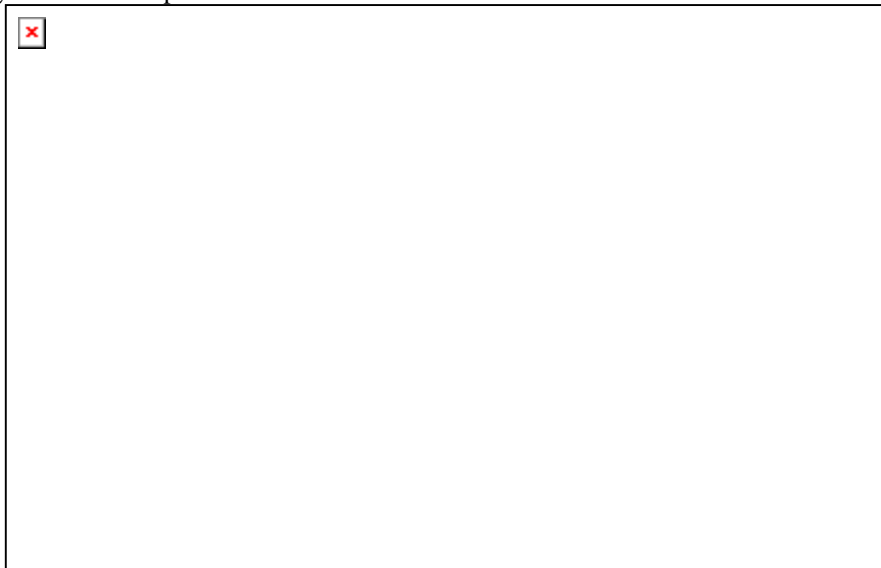


Rys. 5. System ogrzewania powietrznego z dodatkową pompą ciepła dla c.w.u. - D
Fig. 5. Air heating system with additional heat pipe for hot water - D

Dla takiego układu technologicznego produkcja 1 kW energii cieplnej pochłania 0,21 kW energii elektrycznej, co przekłada się na jednostkowy koszt produkcji mocy $K_j = 0,10$ zł/kW. W porównaniu z wariantem, gdzie całość mocy cieplnej pokrywana jest z kotła gazowego, uzyskuje się redukcję w kosztach jednostkowych dochodzącą do 41%.

Ostatnim z omawianych schematów przedstawionym na rys. 6 jest układ z chłodzeniem powietrza wentylacyjnego w okresie letnim – schemat „E”. System ten zapewnia zarówno ogrzewanie powietrza w okresie zimowym, zastępując centralne ogrzewanie, jak również ochładzania, osuszania i podgrzewania powietrza w okresie letnim. System wentylacji w okresie letnim dzięki wykorzystaniu pompy ciepła do osuszania i jednocześnie do dogrzewania powietrza umożliwia utrzymanie parametrów powietrza w budynku na dowolnym poziomie. Nadmiar ciepła ze skraplacza przy centrali wentylacyjnej może być

odprowadzany do zasobnika c.w.u., w przypadku rezygnacji z klimatyzacji pomieszczeń i wystarczającym jedynie chłodzeniu pomieszczeń całość ciepła odprowadzana jest do zasobnika c.w.u. Maksymalne godzinowe zużycie energii przez budynek klimatyzowany należy wyznaczyć przy pracującym systemie odzysku chłodu z powietrza wentylacyjnego na poziomie jak dla ogrzewania, tj. 70%. W związku z tym z 10 kW zapotrzebowania budynku na chłód pozostaje do dostarczenia do układu przez układ chłodniczy pozostałych 3 kW. Dla tego typu układów chłodniczych należy przyjąć współczynnik $COP = 4,0$ [1]. Oznacza to, że otrzymujemy $3 + 3/4 = 3,75$ kW energii cieplnej, możliwej do wykorzystania w procesie klimatyzacji lub do dogrzewania ciepłej wody w pojemnościowym zasobniku ciepła. Zatem w okresie letnim do układu należy dostarczyć energii elektrycznej w ilości niezbędnej do pracy dodatkowej pompy ciepła 0,75 kW, do napędu wentylatorów w centrali wentylacyjnej, ok. 1,0 kW oraz do urządzeń pomocniczych w postaci pomp obiegowych, siłowników i układu automatyki w ilości ok. 0,7 kW, co w sumie wyniesie 2,45 kW. Pozwoli to na wytworzenie 10 kW mocy chłodniczej przy uwzględnieniu odzysku chłodu na poziomie 70%.



Rys. 6. System ogrzewania powietrznego z chłodzeniem w okresie letnim. - E

Fig. 6. Air heating system with cooling in summer period - E

W przypadku ciepła niezbędnego do wytworzenia c.w.u. 3,75 kW pochodzi z pompy ciepła z układu chłodzenia powietrza wentylacyjnego (przy wyłączonej klimatyzacji pełnej). Jest to wartość wystarczająca na pokrycie zapotrzebowania na c.w.u. w ciągu w ilości ok. 23 litrów. Ponieważ chłodzenie powietrza występuje jedynie w ciągu dnia, kiedy występuje również zapotrzebowanie na ciepłą wodę dlatego nie ma możliwości magazynowania ciepła w zasobniku z uwagi na możliwość jednoczesnego zużycia ciepłej wody przez mieszkańców. Można założyć, że w okresie od 8 rano do 15 po w mieszkaniu nie będzie użytkowane, niemniej nierównomierność godzinowa w zapotrzebowaniu na chłód

spowoduje na ogół zmniejszenie ilości mocy cieplnej dostępnej do podgrzewania c.w.u. Dlatego też dla schematu technologicznego „E” właściwym jest zastosowanie układu chłodniczego jako układu dodatkowego do przygotowywania ciepłej wody użytkowej. Głównym źródłem ciepła pozostaje układ gruntowej pompy ciepła, zapewniający niezbędną ilość ciepła w okresie letnim do przygotowania ciepłej wody, tj. w ilości 5 kW (przy założeniu 8 godzin nocnych, w których woda jest przygotowywana przez pompę ciepła) [2, 3]. Zatem minimalne koszty jednostkowe produkcji mocy wystąpią dla przypadku kiedy część ciepła pochodzi z pompy ciepła dla systemu chłodzenia, natomiast kiedy ciepło pochodzi w całości z gruntowej pompy ciepła, koszty będą maksymalne, jeśli rozpatrywać okres letni. Dla tak przyjętych założeń koszty produkcji chłodu wyniosą $K_j = 0,12$ do $0,21$ dla mocy grzewczej i $0,12$ zł/kW dla mocy chłodniczej. Wariant bazowy dla tego przypadku stanowi kocioł gazowy pokrywający ciepło na potrzeby c.w.u. oraz układ chłodniczy dla chłodzenia z odzyskiem chłodu w centrali wentylacyjnej, dla którego koszty jednostkowe w okresie letnim wynoszą $K_j = 0,12$ zł/kW dla mocy chłodniczej oraz $0,20$ zł/kW dla mocy grzewczej. W przypadku okresu zimowego pompa ciepła dla układu chłodzenia powietrza nie jest wykorzystywana, co jest dużym minusem tego rozwiązania z uwagi na czas zwrotu instalacji, co w znacznym stopniu wpływa na koszt mocy grzewczej produkowanej przez układ typu „E”. W przypadku okresu zimowego koszty jednostkowe kształtują się na podobnym poziomie jak dla instalacji oznaczonej jako „C”.

W tabeli 1 zestawiono jednostkowe koszt produkcji mocy dla omawianych schematów technologicznych.

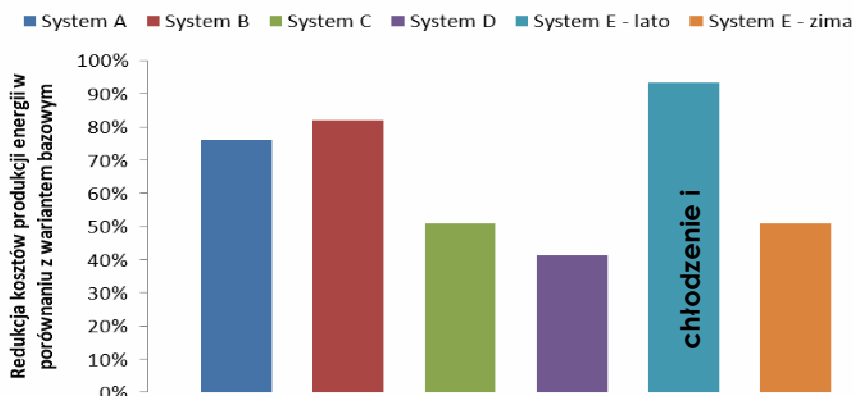
Tabela 1. Jednostkowe koszty produkcji energii dla omawianych systemów technologicznych
Table 1. Unitary cost of energy production for discussed technological systems

Oznaczenie schematu	Moc grzewcza, kW	Moc chłodnicza, kW	Zużycie energii elektrycznej, kW	Jednostkowy koszt produkcji energii, zł/kW
System A	13	0	4,70	0,17
Wariant bazowy A	13	0	0,50	0,22
System B	13	0	4,70	0,18
Wariant bazowy B	13	0	0,50	0,22
System C	17,7	0	4,62	0,13
Wariant bazowy C	17,7	0	1,70	0,25
System D	17,7	0	3,74	0,10
Wariant bazowy D	17,7	0	1,70	0,25
System E - lato	5	-	1,22 - 2,16	0,12 - 0,21
	-	10	2,45	0,12
War. baz. E - lato	5	-	1,70	0,20
	-	10	2,45	0,12

System E - zima	17,7	0	4,62	0,13
War. baz. E - lato	17,7	0	1,70	0,25

Należy zauważyć, że systemy najprostsze w konstrukcji i stosunkowo mało skomplikowane jeśli chodzi o automatyczną regulację (schematy A, B, C) zużywają większe ilości mocy w porównaniu z systemami bardziej zaawansowanymi (schematy D, E). Różnica w kosztach produkcji mocy może dochodzić do 70%.

Największe zmniejszenie kosztów związanych z wyprodukowaniem 1 kW mocy grzewczej obserwuje się dla wariantu „D”, w którym dodatkowa pompa ciepła podgrzewa c.w.u. kosztem ochładzania powietrza wentylacyjnego przed wymiennikiem odzysku ciepła. Z uproszczonej analizy wynika, że możliwe jest obniżenie kosztów do ok. 41% w porównaniu z sytuacją, gdzie całość zapotrzebowania na ciepło pochodzić będzie z kotła gazowego – rys. 7.



Rys. 7. Redukcja kosztów produkcji energii w porównaniu z wariantami bazowymi

Fig. 7. Reduction of energy cost compared to based variants

W przypadku chłodzenia powietrza w okresie letnim przy jednoczesnej produkcji c.w.u. koszty produkcji mocy wynoszą średnio ok. 0,13 zł/kW, niemniej nie pociąga to za sobą wyraźnego obniżenia kosztów w porównaniu z tradycyjną instalacją opartą o układ chłodniczy i piec gazowy. W tym przypadku w okresie letnim przy schemacie instalacji oznaczonym jako „E” dla okresu letniego można spodziewać się ok. 6% obniżenia kosztów produkcji mocy.

3. PODSUMOWANIE

Z jednej strony dla potencjalnego inwestora interesujące są koszty eksploatacyjne, natomiast nie mniej ważne są koszty inwestycyjne instalacji, które decydują o okresie zwrotu inwestycji dzięki zastosowaniu nowej technologii produkcji ciepła.

W tabeli 2 zestawiono prosty czas zwrotu kosztów SPBT dla analizowanych schematów technologicznych. Wyniki zestawienia pokrywają się z kosztami jednostkowymi

wytworzenia 1 kW mocy oraz są zgodne z wielkością redukcji mocy w porównaniu z rozwiązaniami tradycyjnymi. Najmniejszy czas zwrotu kosztów osiągnięto przy schemacie oznaczonym jako „C” i wynosi on 11,8 lat. Jest to system, w którym koszt energii kształtuje się na poziomie 0,13 zł/kW, co pozwala na obniżenie zużycia energochłonności do 51 % w stosunku do rozwiązania opartego na kotle gazowym.

Tabela 2. Prosty czas zwrotu kosztów dla wybranych systemów

Table 2. Simple payback time for selected systems

	Koszty inwestycyjne, tys. zł	Roczne zużycie gazu, GJ	Roczne zużycie energii elektrycznej, GJ	Koszty roczne, zł/rok	SPBT, lata
System A	45	0	43,70	5827	18,4
Wariant bazowy A	20	53,7	31,54	7189	
System C	50	0	47,21	6294	11,8
Wariant bazowy C	25	53,1	41,00	8417	
System D	55	0	46,64	6219	22,7
Wariant bazowy D	25	37,3	41,00	7541	
System E	60	0	49,73	6630	26,5
Wariant bazowy E	25	37,3	44,08	7952	

4. LITERATURA

- [1] M. Rubik, *Pompy ciepła. Poradnik, Technika ciepła w budownictwie*, INSTAL 2006;
- [2] A. Kaczkowska, *Dom pasywny*, KaBe 2009;
- [3] H. Koczyk, B. Antoniewicz, *Nowoczesne wyposażenie techniczne domu jednorodzinnego. Instalacje sanitarne i grzewcze*, PWRiL 2009.

CONCEPT OF HEATING – VENTILATION SYSTEMS FOR ENERGY SAVING BUILDING

SUMMARY

The examples solution of heating, ventilation and hot water systems for energy saving building combined with renewable heat sources as ground have been presented. In article the advantages and disadvantages have discussed. The cost of energy production and analyze of annual energy consumption was obtained. Simple payback time for selected technological combined systems was presented.

Danuta PROSZAK-MIĄSIK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: dproszak@prz.edu.pl

SYSTEMY HYBRYDOWE DO WYTWARZANIA CIEPŁEJ WODY DLA BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH NISKOENERGETYCZNYCH

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono charakterystykę budynków niskoenergetycznych. Zestawiono sposoby wytwarzania ciepła w tego typu budynkach. Ponieważ rozważamy technologie stosowane w Polsce, szerzej omówione zostaną systemy hybrydowe łączące różne typy produkcji energii cieplnej, mające coraz szersze zastosowanie w naszym kraju.

1. WPROWADZENIE

Obecnie duży nacisk kładzie się na rozwój budownictwa tzw. energooszczędnego. Dąży się by projektowane budynki były przyjazne dla środowiska i mieszkańców, co prowadzi między innymi do zmniejszenia zużycia energii i zastąpienia źródeł konwencjonalnych- odnawialnymi. Taka taktyka ma 3 aspekty:

- ekologiczne (mniejsze zużycie zasobów naturalnych, mniejszą emisję szkodliwych związków do środowiska),
- ekonomiczne (pomniejszenie opłat eksploatacyjnych budynku),
- podwyższenie komfortu cieplnego.

Ze względu na zużycie energii cieplnej budynki możemy podzielić na (w nawiasach podano orientacyjne zużycie energii):

- standardowe (ok. 110 kWh/m²),
- energooszczędne (ok. 70-85 kWh/m²),
- niskoenergetyczne (ok. 35-40 kWh/m²),
- pasywne (ok. 15 kWh/m²),
- budynki zeroenergetyczne (0 kWh/m²) [12].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie hybrydowych systemów produkcji energii cieplnej mających zastosowanie w budynkach niskoenergetycznych. Uwagę skupiono na budynkach jednorodzinnych. Budynek niskoenergetyczny powinien zużywać o wiele mniej energii, co budynek standardowy (spełniający wymagania aktualnych przepisów [12]). Wymaga on niewiele większych nakładów inwestycyjnych, a obniża zużycie energii w stosunku do budynków spełniających aktualne minimalne wymagania prawne o ponad połowę. Ważną cechą tego typu budynków jest zastosowanie odnawialnych źródeł energii.

Zastosowanie odnawialnych zasobów energii w budynkach jednorodzinnych oznacza wykorzystanie energii słońca, wiatru, geotermalnej lub przepływającej wody do produkcji ciepła w celu zmniejszenia kosztów przygotowania ciepłej wody użytkowej przez cały rok, zmniejszenia kosztów centralnego ogrzewania w zimie oraz zmniejszenia kosztów energii elektrycznej zużywanej przez sprzęt elektroniczny, oświetlenie itp.

Na efekt pracy tego typu budynku mają wpływ poszczególne elementy:

1. Konstrukcja budynku minimalizująca straty ciepła tj.:
 - usytuowanie budynku uwzględniające rzeźbę terenu, nasłonecznienie, kierunki wiatrów, osłonę zielenią, itp.
 - budynek powinien być architektonicznie zwarty i prosty – bez występow i uskoków; chcąc zmniejszyć zapotrzebowanie na ciepło trzeba zminimalizować jego straty, a ciepło jest tracone głównie przez przegrody zewnętrzne domu: ściany, dach, podłogę, drzwi i okna; największe straty ciepła występują w narożnikach oraz załamaniach ścian i dachu dlatego powinno być ich jak najmniej. (najkorzystniejszy jest dach dwuspadowy lub jednospadowy); nie wskazana jest duża wysokość kondygnacji, najkorzystniejsze są kondygnacje jak najniższe z zachowaniem minimalnych wysokości gwarantujących komfort (zgodnych z normami); korzystne są również pomieszczenia z dużymi oknami od strony południowej, małe okna lub ich brak od strony północnej;
 - konstrukcja budynku eliminująca jak największą liczbę mostków termicznych (brak balkonów, izolacja cieplna elementów konstrukcyjnych zarówno żelbetowych jak i drewnianych);
 - budynek dobrze ocieplony w celu ograniczenia strat ciepła (średni współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych nie może przekraczać $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$);
 - okna i drzwi zewnętrzne – duża przepuszczalność energii słonecznej, jak najmniejsze straty ciepła; okna w domach energooszczędnych powinny mieć współczynnik U całego okna (zarówno ram jak i oszklenia) około $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i powinny składać się z zestawów dwóch lub trzech sklejonych szyb, z przestrzenią między nimi wypełnioną gazem szlachetnym (argonem) lub suchym powietrzem; wysokie wymagania cieplne mają również drzwi zewnętrzne, których współczynnik jest na poziomie $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [8-10].
2. Konstrukcja budynku wykorzystująca maksymalnie technologie energooszczędne i niekonwencjonalne źródła energii:
 - usytuowanie domu względem stron świata; wykorzystanie naturalnej energii np. słonecznej poprzez zainstalowanie kolektorów termicznych i fotowoltaicznych;

- budowanie ścian z materiałów akumulujących ciepło (zalecana grubość ściany akumulacyjnej to 20÷45 cm wykonana np. z cegły pełnej, betonu lub kamienia);
- wentylacja budynku hybrydowa lub mechaniczna z odzyskiem ciepła - dostarcza ona świeże powietrze, ogranicza straty ciepła, zmniejsza wilgotność powietrza i usuwa szkodliwe zanieczyszczenia powstające w budynku;
- system zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową oraz system grzewczy o wysokiej sprawności;
- ogrzewanie niskotemperaturowe [8-10].

2. SYSTEMY PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY W BUDYNKACH NISKOENERGETYCZNYCH

Instalacje ciepłej wody użytkowej w budynkach niskoenergetycznych możemy podzielić na ze względu na źródło ciepła na bazujące na:

- a) energii odnawialnej,
- b) konwencjonalnych urządzeniach energooszczędnych,
- c) odzysku ciepła odpadowego.

ad a) energia odnawialna

Do podstawowych źródeł energii odnawialnej zaliczamy: energie wiatru, słońca, powietrza, biomasy, wody i geotermalną [11].

2.1. Energia słoneczna

Energia czerpana ze słońca jest najczęściej stosowanym źródłem energii w Polsce. Do głównych przetworników energii słonecznej na energię cieplną lub elektryczną należą:
Pompa ciepła- jest urządzeniem umożliwiającym pobranie ciepła z otoczenia o niższej temperaturze np. gruntu, wody gruntowej, powietrza i następnie wykorzystanie go na wyższym poziomie temperaturowym do ogrzewania. Z uwagi na sposób i źródła pozyskiwania energii pompy ciepła dzielimy na: pracujące w układzie powietrze/powietrze, powietrze/solanka/woda, woda/woda, grunt/woda i woda/powietrze. W naszych warunkach klimatycznych znaczne wahania temperatur powodują, iż pozyskiwanie ciepła z powietrza jest nieekonomiczne. Znacznie lepszym i zasobniejszym źródłem w energię cieplną jest ziemia, która podczas letnich miesięcy nagrzewa się i akumuluje ciepło utrzymując zimą stałą temperaturę gruntu i wód gruntowych w granicach od 8 do 12°C. Aby skorzystać ze zgromadzonej energii należy umieścić poziomy kolektor ziemny na głębokości około 1, 5m. Wypełniony on jest solanką o niskiej temperaturze, która pochłaniając ciepło z gruntu przekazuje je poprzez układ pompy cieplnej do systemu grzewczego budynku. Instalacja tego typu zajmuje powierzchnię dwukrotnie większą od powierzchni ogrzewanego metrażu. W przypadku zbyt małej powierzchni działki można użyć sond pionowych. Bardzo wydajnym energetycznym źródłem jest instalacja zbudowana z dwóch studni głębinowych oddalonych od siebie od 15 do 20m. Woda gruntowa krążąc pomiędzy studniami jest schładzana, a odzyskane ciepło zasila instalację c.o. Przystępując do budowy studni gruntowych należy ocenić stan i kierunek przepływu wód gruntowych. Jeżeli na terenie działki występuje niedobór wód gruntowych, a w pobliżu znajdują się naturalne zbiorniki wodne można skorzystać z ich zasobów cieplnych. Jest to przedsięwzięcie tańsze, lecz zimą należy liczyć się z możliwością zamarzania wody. Pompy cieplne są urządzeniami

praktycznie bezobsługowymi, jedyną wymaganą czynnością eksploatacyjną jest dbanie aby żadne zabrudzenia nie dostały się do źródła ciepła jak i do instalacji grzewczej. Nie wydzielają one żadnych szkodliwych substancji dla środowiska.

Kolektory słoneczne i fotowoltaiczne - urządzenia odzyskujące ciepło słoneczne. Najczęściej stosowanymi i badanymi metodami wykorzystywania energii solarnej są metody: termiczna i fotoelektryczna. W metodzie termicznej istotą działania jest skupianie promieni słonecznych w celu podgrzewania wody lub wytwarzania pary wodnej (produkcja energii elektrycznej w turbogeneratorach). Druga z metod - fotowoltaiczna - opiera się na bezpośrednim pozyskiwaniu prądu elektrycznego za pomocą baterii słonecznych (PV), działających w oparciu o zjawisko fotowoltaiczne zachodzące w półprzewodnikach [5].

Biomasa- to odchody zwierzęce, odpady komunalne, odpady z rolnictwa czy innych gałęzi przemysłu oraz specjalne gatunki roślin pochodzące z upraw energetycznych, ulegające procesowi fotosyntezy pod wpływem energii promieniowania słonecznego w wyniku. Paliwa stałe wytwarzane z biomasy są wykorzystywane do wytwarzania energii w procesie: gazyfikacji, spalania lub pirolizy[11]. Najpopularniejsze jest spalanie jej w specjalnych kotłach lub zmodernizowanych tradycyjnych, poprzez zamontowanie specjalnego palnika.

Biogaz- powstaje podczas procesu fermentacji anaerobowej. W Polsce najczęściej biogaz powstaje na oczyszczalniach ścieków w wydzielonych komorach fermentacyjnych i lub na wysypiskach śmieci. Ilość wyprodukowanego biogazu z wysypiska zależy od temperatury procesu, od ilości substancji organicznej zawartej w biomasie i czasu trwania fermentacji. W przypadku biogazu z oczyszczalni ilość ta będzie zależała od ilości i składu wytwarzanego osadu ściekowego i składu bakteriologicznego.

2.2. Energia wiatru

Energie wiatru przetwarzają turbiny wiatrowe. Są to urządzenia wykorzystujące energię mechaniczną wprowadzanych w ruch siłą wiatru łopat turbinowych do produkcji energii elektrycznej. Większość z nich jest podłączona do sieci elektroenergetycznej pojedynczo lub w systemie farmowym [5]. Małe wiatrowe zespoły prądotwórcze wytwarzają energię rzędu 1- 10 kW te największe około 5 MW. Przed montażem tego typu urządzeń wyznacza się charakterystykę siły wiatru na danym terenie (w tym celu przeprowadza się 12 miesięczne pomiary wietrzności i sprawdza warunki zabudowy terenu(odległość budynków od turbiny, co najmniej 500m, wysokość zabudowy do 1 km od turbiny nie większa niż 25 % wysokości wieży turbiny)[11]. Turbiny o nie wielkiej mocy ze względu na wysokie koszty inwestycji i niekorzystne uwarunkowania prawne w indywidualnych gospodarstwach domowych stosowane są w przypadku, kiedy doprowadzenie prądu jest nieopłacalne.

2.3. Energia wód

Energia wód obejmuje energie uzyskaną z fal, pływów, prądów oceanicznych, energie wynikającą z różnic zasolenia wód i termicznych. Zjawiska te większości nie obejmują terytorium Polski. W naszym kraju jedynie znaczenie mają rzeczne elektrownie wodne (stanowią około 7,3% zasobów energii w Krajowym Systemie Energetycznym)[11].

2.4. Energia geotermalna

Energia geotermalna wykorzystuje energię w postaci gorącej wody lub pary wodnej, pochodzącej z wnętrza Ziemi, szczególnie w obszarach aktywności wulkanicznej i sejsmicznej. Przy niskich temperaturach nośnika, energia ta wykorzystywana jest zwykle, jako źródło ciepła, np. w układach z pompą ciepła. Przy wyższych temperaturach (zazwyczaj wiąże się to z głębokimi odwiertami) ciepło pochodzące z głębi Ziemi może być wykorzystywane przy produkcji energii elektrycznej [5].

Polska leży poza obszarami wulkanicznymi, posiada natomiast bogate złoża energii geotermalnej. Ponad 80% powierzchni naszego kraju zajmują baseny geostrukturalne z licznymi zbiornikami wód geotermalnych. Największe zasoby wód podziemnych występują w basenach: szczecińsko-lódzkim i grudziądzko-warszawskim. Najbardziej obiecujący wydaje się być basen podhalański, gdzie wody mają małe zasolenie, temperaturę 35-120°C i duże ciśnienie na wypływie. Jednak problemem przy ich pozyskaniu są utrudnienia techniczno-geologiczne.

ad b) Technologie energooszczędnego wykorzystania źródeł konwencjonalnych

Wykorzystanie źródeł konwencjonalnych w budynkach energooszczędnych sprowadza się do zastosowania: układów skojarzonych lub kotłów kondensacyjnych.

Układy skojarzone (agregaty kogeneracyjne) – to urządzenia, które produkują energię elektryczną i ciepłą w skojarzeniu, czyli jednocześnie (czasami również chłód - trójgeneracja). Miano energooszczędnych zyskały te układy, które zasilane są gazem ziemnym (mniejsza emisja szkodliwych produktów spalania niż w przypadku paliw stałych - węgiel) a szczególnie, gdy pochodzi on z małego, lokalnego źródła lub zasilane biogazem. Popularne na całym świecie stają się małe jednostki oparte o pracę turbin gazowych lub silników spalinowych, co pozwala na korzystanie z takiego układu nawet w domach jednorodzinnych [5].

Cechami, którymi odznaczają się agregaty kogeneracyjne, są:

- wysoka sprawność całkowita, która mieści się najczęściej w przedziale 80 - 90 %, osiągnięta chwilowa moc cieplna jest większa od mocy elektrycznej, lecz dla coraz większych jednostek moce te ulegają wyrównaniu,
- kompaktowa budowa, pozwala to na skrócenie czasu budowy kompletnej instalacji i zmniejszenie jej kosztu, wpływa także na zmniejszenie ilości miejsca wymaganego do zabudowy agregatu,
- paliwo ciekłe (olej opałowy, olej napędowy) bądź gazowe (gaz ziemny, biogaz, gaz pochodzący z odmetanowania kopalń, gazy wysypiskowe, inne gazy niskokaloryczne), są to więc paliwa znacznie mniej zanieczyszczające środowisko, niż węgiel kamienny, ponadto w przypadku niektórych gazów, wykorzystując je do celów energetycznych unikamy zanieczyszczenia atmosfery metanem, który w znacznie większym stopniu aniżeli dwutlenek węgla sprzyja powstawaniu efektu cieplarnianego
- korzystne wskaźniki ekonomiczne realizacji inwestycji, np. w krajach Unii Europejskiej średni okres zwrotu nakładów wynosi kilka lat, ponadto rozwijający się rynek na te urządzenia będzie w perspektywie skutkował obniżaniem się cen agregatów kogeneracyjnych [13]. W Polsce dla pojedynczych budynków jednorodzinnych jeszcze niestosowane.

Kotły kondensacyjne – kotły gazowe, które "tradycyjnie" wykorzystują energię cieplną zawartą w "spalinach suchych" oraz dodatkowo wykorzystują energię zawartą w parze wodnej powstającej w trakcie spalania gazu ziemnego [6].

ad c) Odzysk ciepła odpadowego

Odzyskiwanie ciepła odpadowego może być np. ze :

- **ścieków domowych lub przemysłowych** odprowadzanych do kanalizacji zbiorczych; absorbuje się ciepło z ścieków, magazynuje i ogrzewa zimne medium, które zasila urządzenia grzewcze, w których wytwarzana jest np. ciepła woda użytkowa,
- **instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła** – wentylacja i klimatyzacja nawiewno - wywiewna pomieszczeń, powiązana z wykorzystaniem odzysku ciepła z wywiewanego powietrza, na wymienniku zwanym rekuperatorem. Zapewnia stały dopływ odpowiedniej ilości świeżego powietrza, jaka powinna być dostarczana do pomieszczeń, zwiększa komfort klimatyczny domu przebywania w tych pomieszczeniach. Prowadzony na rekuperatorze odzysk pozwala na zmniejszenie kosztów ogrzewania budynku od 30% do nawet ponad 60%, dodatkowe oszczędności uzyskuje się stosując gruntowy wymiennik ciepła – schłodzenie domu latem i dogrzanie go zimą [7].

Ze względu na ilość źródeł ciepła na układy:

- a) monowalentne,
- b) hybrydowe.

ad a) budynki posiadają 1 źródło ciepła

ad b) układy hybrydowe

Układ hybrydowy zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 19.12.2005 jest to- *jednostka wytwórcza wytwarzająca energię elektryczną albo energię elektryczną i ciepło, w której w procesie wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła wykorzystywane są nośniki energii wytwarzane oddzielnie w odnawialnych źródłach energii i w źródłach energii innych niż odnawialne oraz zużywane wspólnie w tej jednostce wytwórczej do wytworzenia energii elektrycznej lub ciepła.*

Układy hybrydowe (rys. 1) są kombinacją kilku technologii uzyskiwania energii elektrycznej i cieplnej, na schematach pokazano możliwości wykorzystanie różnych technologii pracujących w układach hybrydowych wykorzystywanych w budynkach jednorodzinnych. Na schemacie pokazano możliwe układy hybrydowe dwuźródłowe stosowane do wytwarzania ciepłej wody użytkowej, wody na cele grzewcze, energii elektrycznej dla budynków jednorodzinnych. Wszystkie układy mogą współpracować z akumulatorami ciepła.

Coraz szersze zastosowanie mają układy kogeneracyjne wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. W Polsce obecnie stosowane w elektrociepłowniach parowych o średniej i dużej mocy. Jednak trwają prace nad małymi agregatami kogeneracyjnymi, które już pojawiły się na świecie. Są to układy oparte o silniki spalinowe bądź turbiny gazowe o mocach od kilku do kilkudziesięciu kilowatów. Mogą one pracować bezpośrednio na potrzeby obiektu, w którym zostały zainstalowane, bądź jako elektrociepłownie zawodowe. W przypadku silników spalinowych energia elektryczna wytwarzana jest w prądnicy synchronicznej bądź asynchronicznej (przekazanie energii mechanicznej z silnika następuje za pomocą wspólnego wału), natomiast wytwarzana przez jednostkę

energia cieplna pochodzi z chłodzenia silnika oraz spalin (osobne obiegi oraz wymienniki) [13].

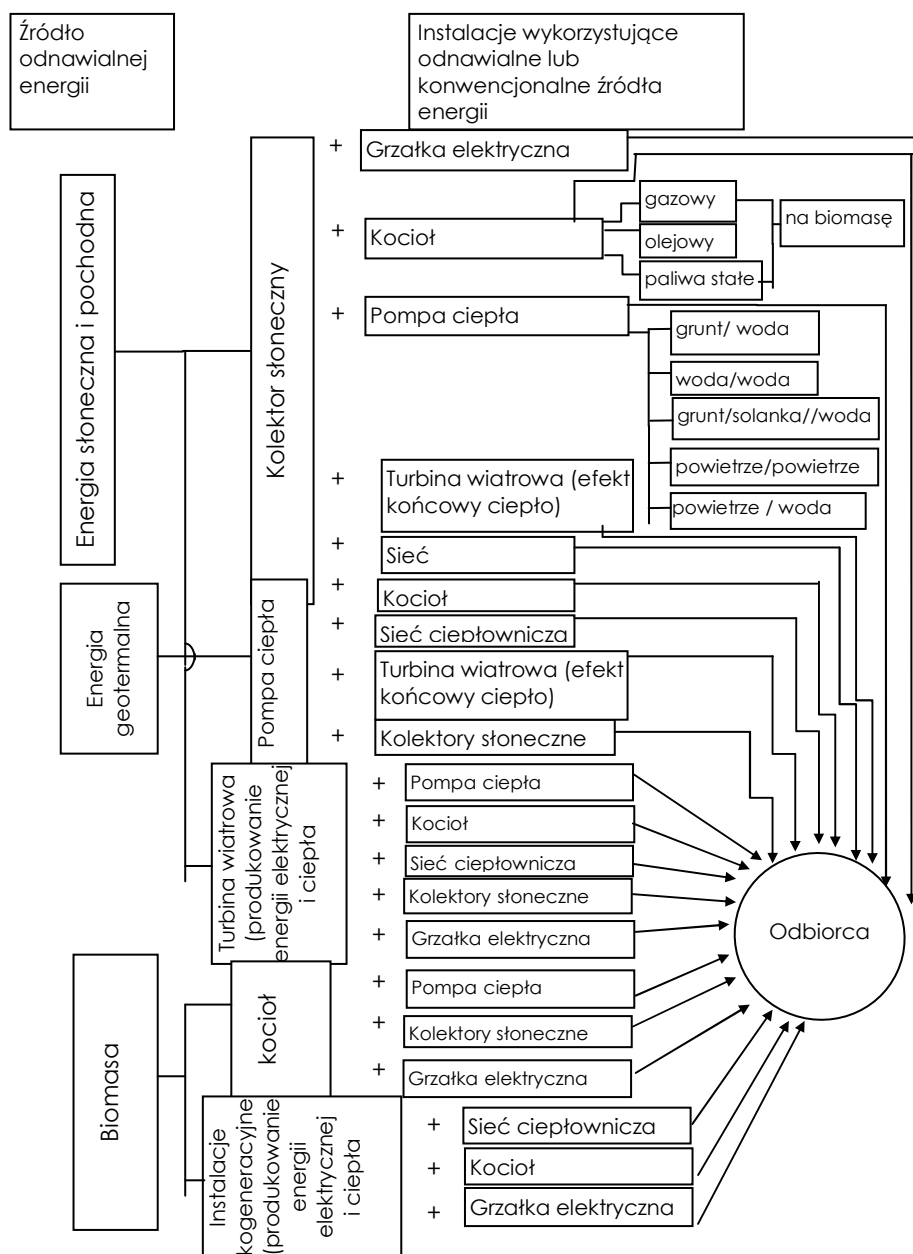
Wszystkie elementy składowe hybrydowych systemów wytwarzających ciepło wykorzystujące energie odnawialne mają swoje wady i zalety, najważniejsze ujęto w tabeli 1.

Tabela 1. Wady i zalety zastosowania odnawialnych źródeł energii.

Table 1. Advantages and disadvantages of renewable energy sources.

Rodzaj energii	Urządzenia	Zalety	Wady
Energia słoneczna i geotermalna	Kolektory i ogniwa fotowoltaiczne	<ul style="list-style-type: none"> wykorzystywanie energii Słońca nie powoduje lub zmniejsza emisję zanieczyszczeń do środowiska, produkcja energii cieplnej i elektrycznej, brak konieczności zmian konstrukcji budynków (prosty i szybki montaż, odporność na uszkodzenia, możliwość instalacji na każdym dachu budynku). 	<ul style="list-style-type: none"> wysoki koszt nowoczesnych kolektorów, sprawność będzie zależała przede wszystkim od warunków helioenergetycznych i pogodowych, nie może stanowić jedynego źródła ciepła do podgrzewania wody
	Pompy ciepła	<ul style="list-style-type: none"> bezpieczne dla środowiska (nie emitują sadzy ani spalin do otoczenia, brak komina lub dodatkowego systemu wentylacji (nie wydzielają szkodliwych substancji i zapachów), nie potrzebuje konserwacji ani okresowych przeglądów, pracuje cicho - nie jest dokuczliwa dla otoczenia, istnieje możliwość wykorzystania pompy ciepła w okresie gorących dni letnich jako wytwornicy chłodu do klimatyzacji pomieszczeń, nie wymaga udziału paliw wybuchowych typu gaz ziemny, propanbutan, olej opałowy, nie wymaga przyłącza gazu, zbiorników oleju czy gazu płynnego, 	<ul style="list-style-type: none"> sprężarka będąca częścią urządzenia wykorzystuje energię elektryczną - brak zasilania i instalacji wspomagającej (agregat prądotwórczy, baterie słoneczne) powoduje przerwanie pracy układu, jest to urządzenie bardzo drogie.

Energia wiatru	Turbiny wiatrowe	<ul style="list-style-type: none"> • energetyka wiatrowa przyczynia się do zmniejszenia emisji CO₂ i innych szkodliwych dla środowiska związków jakie powstają przy spalaniu tradycyjnych paliw, 	<ul style="list-style-type: none"> • turbiny wiatrowe są zagrożeniem dla ptaków wędrownych, • możliwość wykorzystania energii wiatru jest uzależniona od występujących w danym miejscu warunków terenowych, • emitowanie hałasu - stąd potrzeba zastosowania strefy ochronnej, • wywierany przez elektrownie wiatrowe ujemny wpływ na krajobraz: zajmują one duże powierzchnie i zlokalizowane są często w turystycznych rejonach nadmorskich i górskich.
Biomasa		<ul style="list-style-type: none"> • ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (zerowy bilans emisji dwutlenku węgla), • niższa niż w przypadku paliw kopalnych emisja dwutlenku siarki, tlenków azotu i tlenku węgla, • zróżnicowanie źródeł energii, • ograniczenie szkód w środowisku związanych z wydobyciem paliw kopalnych, • zagospodarowanie odpadów – wykorzystanie nadwyżek żywności, odpadów poprodukcyjnych przemysłu leśnego i rolnego, utylizacja odpadów komunalnych, • konkurencyjne ceny biomasy na rynku paliw, • zagospodarowanie nieużytków – pod uprawy energetyczne 	<ul style="list-style-type: none"> • stosunkowo małą gęstość surowca, utrudniającą jego transport, magazynowanie i dozowanie, • szeroki przedział wilgotności biomasy, utrudniający jej przygotowanie do wykorzystania w celach energetycznych, • mniejszą niż w przypadku paliw kopalnych wartość energetyczną surowca: do produkcji takiej ilości energii, jaką uzyskuje się z tony dobrej jakości węgla kamiennego potrzeba około 2 ton drewna bądź słomy, • niektóre odpady są dostępne sezonowo.



Rys. 1. Układy hybrydowe dwuelementowe stosowane do wytwarzania ciepła.

Fig. 1. Hybrid systems for hot water production.

3. PODSUMOWANIE

Rozpatrując poszczególne przypadki układów hybrydowych najczęściej stosowane są układy wykorzystujące energię słoneczną poprzez kolektory słoneczne. Zaletą tego typu instalacji jest nie wysoki koszt instalacji w stosunku do innych technologii wykorzystujących źródła niekonwencjonalne energii. Co raz popularniejsze również stają się kominki z płaszczem wodnym współpracujące z tradycyjną grzejnikową instalacją centralnego ogrzewania, zachowując przy tym walory ekonomiczne, estetyczne i ekologiczne zwykłego kominka. Inwestorzy myślący przyszłościowo, zakładają pompy ciepła. Koszt zakupu i montażu pompy ciepła jest o wiele wyższy od konwencjonalnego systemu grzewczego. Wydatki poniesione z tego tytułu rekompensuje duża wydajność energetyczna pompy ciepła. Jeżeli chodzi o źródła konwencjonalne kotły kondensacyjne mają szerokie zastosowanie mimo dwukrotnie wyższej ceny za urządzenie w stosunku to standardowych kotłów.

4. LITERATURA

- [1] Laskowski P.; Niekonwencjonalne źródła energii, Murator 2006,
- [2] Lewandowski W.; Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 2006,
- [3] Skorek J.; Ocena efektywności energetycznej i ekonomicznej gazowych układów kogeneracyjnych małej mocy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002,
- [4] Janowski M.; Energia odnawialna- Energia słoneczna, Biomasa, Zalety pomp ciepła, www.energiaodnawialna.com.pl,
- [5] www.eis.slask.pl, Technologie- dostępne technologie zmniejszające zużycie energii – słowniczek i technologie,
- [6] www.unitherm.com.pl, Warto wiedzieć – technika kondensacyjna, Wentylacja z odzyskiem ciepła.
- [7] www.rekuperatory.pl, Odzysk ciepła dla twojego domu, Systemy wentylacji pomieszczeń,
- [8] <http://www.ekooszczedni.pl>,
- [9] Robakiewicz Maciej, Dom energooszczędny, 2007,
- [10] Budujemy Dom, Dom energooszczędny z pompą ciepła, wydanie specjalne 1/2008,
- [11] Klugmann- Radziemska E.; Odnawialne źródła energii, Gdańsk, 2009,
- [12] Wnuk Ryszard - Instalacje w domu pasywnym i energooszczędnym, 2007,
- [13] <http://skrzypczak.pl/agregat.html>

HYBRID SYSTEMS FOR HOT WATER PRODUCTION IN LOW ENERGY RESIDENCES

SUMMARY

Characteristic of low energy buildings have presented. The way of heat production for mentioned objects have been discussed. On territory of Poland widely use are hybrid systems combine among themselves a lot of sort of techniques and energy sources, what has been taken under consideration.

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

Krzysztof PRUC, mgr inż.
"BH-Res" Firma handlowa
e_mail: k.pruc@bh-res.pl
ul. Torowa 3, 35-205 Rzeszów

IZOLACJA PRZEWODÓW OGRZEWANIA POWIETRZNEGO W ASPEKCIE WYMAGAŃ TECHNICZNO-PRAWNYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono podstawy prawne oraz ocenę nowych wymagań izolacyjności cieplnej przewodów ogrzewania powietrznego. Przeprowadzono analizę i ocenę wpływu zwiększenia grubości izolacji przewodów ogrzewania powietrznego umieszczonych wewnątrz izolacji cieplnej budynku na podniesienie efektywności cieplnej ogrzewanych obiektów.

1. WPROWADZENIE

Celem izolowania jest zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie. Prowadzi to do obniżenia energochłonności i kosztów eksploatacyjnych budynków, oraz przyczynia się do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery, wytwarzanego w procesie spalania paliw. W przypadku przewodów ogrzewania powietrznego budynków straty przenikania ciepła przez ścianki przewodów nie są do końca stratą, ponieważ ciepło pozostaje w pomieszczeniach, a nie jest bezpowrotnie oddawane do środowiska zewnętrznego. Zjawisko to wpływa jedynie na utrudnienie w projektowaniu, podczas którego należy zróżnicować wydatki powietrza nawiewanego w poszczególnych pomieszczeniach biorąc pod uwagę zyski ciepła do pomieszczeń od ścianek przewodu. Przy określaniu grubości izolacji przewodów należy zwrócić uwagę na skuteczność i zasadność pewnych rozwiązań. Zastosowanie grubszej izolacji może przynieść przeciwne w stosunku do uzyskanej efektywności cieplnej następstwa. Są nimi wzrost kosztów robocizny i materiału, a w od-

niesieniu do środowiska naturalnego powstawanie zanieczyszczeń w czasie produkcji materiału izolacyjnego, których ilość może zrównoważyć ilość szkodliwych substancji emitowanych w procesie spalania paliw.

2. REGULACJE PRAWNE

W celu poprawy jakości energetycznej budynków Parlament Europejski wprowadził Dyrektywę 2002/91/WE[1] wskazując podstawowe (minimalne) wymagania jakości energetycznej budynków nowych oraz istniejących podlegających modernizacji. Wskazano potrzebę certyfikacji budynków, regularnych kontroli systemów grzewczych i klimatyzacyjnych oraz określono ogólny zakres obliczeń zintegrowanej charakterystyki energetycznej. Głównym celem tych zabiegów jest zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do środowiska, zwłaszcza dwutlenku węgla przez promocję efektywności energetycznej zgodnie z Dyrektywą Rady Europy 93/76/EEC [5], oraz uzyskanie niskiego eksploatacyjnego zużycia energii przez budynki projektowane i wykonywane w ślad za Dyrektywą Rady 89/106/EEC[6].

W ocenie jakości energetycznej budynków, uwzględnia się wyszczególniony w dyrektywie[1] zakres parametrów zawierający między innymi szczegółowy podział budynków na określone kategorie uwzględniające ich funkcje, oraz zagadnienia instalacji grzewczych, zaopatrzenia w ciepłą wodę, systemów klimatyzacji i wentylacji z uwzględnieniem charakterystyki ich izolacji. Dyrektywa wskazuje, że zastosowane rozwiązania powinny uwzględniać warunki klimatyczne, założoną przez projektanta jakość środowiska wewnętrznego, oraz efektywność ekonomiczną (optymalne koszty). Została również stworzona możliwość ustalenia metodologii obliczania charakterystyk energetycznych budynków na poziomie krajowym uwzględniając standardy i normy stosowane w ustawodawstwie danego kraju.

W ślad za powyższymi przepisami w ramach regulacji zagadnień wymaganych Dyrektywą, wprowadzone zostało w 2008 r. rozporządzenie[2] zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, w którym w zał. nr 2 *Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii*, została określona minimalna grubość izolacji cieplnej przewodów i komponentów. Wynosi ona dla przewodów ogrzewania powietrznego ułożonych wewnątrz izolacji cieplnej budynku 40 mm, a ułożonych na zewnątrz izolacji cieplnej budynku 80 mm. Należy zaznaczyć, że poprzednie rozporządzenie[3] zalecało jedynie projektowanie izolacji przewodów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji tak, by ilość energii cieplnej wymaganej do użytkowania budynku, zgodnie z jego przeznaczeniem, była utrzymana na racjonalnie niskim poziomie.

W dyrektywie [1] pozostawiono Państwom Członkowskim indywidualność procedur w wyborze reżimu energetycznego danego kraju. Stąd należy uznać, że podane w rozporządzeniu [2] minimalne grubości izolacji cieplnej przewodów są dobrowolnie przyjętymi przez polskiego ustawodawcę wartościami. Dla przewodów ogrzewania powietrznego grubość izolacji wynosząca 40 mm dotyczy materiału o współczynniku przewodności cieplnej $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Zastosowanie materiału o innej izolacyjności wymaga skorygowania grubości warstwy izolacyjnej. Nie stosuje się innych kryteriów określania grubości izolacji takich jak przeznaczenie budynku, charakterystyka cieplna pomieszczeń

(ogrzewane, nieogrzewane) czy sposób prowadzenia przewodów. Wprowadzona rozporządzeniem[2] nowelizacja nie podlegała urzędowemu zawiadomieniu, ponieważ stanowiąc wypełnienie ustaleń dyrektywy[1], uznana została za zgodną z prawem Unii Europejskiej.

3. OBLICZENIE STRAT CIEPŁA PRZEWODÓW OGRZEWANIA POWIETRZNEGO

Straty ciepła przez przewody instalacji ogrzewania powietrznego wyliczono na podstawie wzorów[4]

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{lo} - t_1), \quad [\text{W}] \quad (1)$$

$$\text{dla} \quad m = F \cdot w_o \cdot \rho_o, \quad [\text{kg/s}] \quad (2)$$

gdzie F jest to pole powierzchni przekroju przewodu, $[\text{m}^2]$, w_o - prędkość strumienia powietrza odniesiona do temperatury 0°C , $w_o = w \cdot (273/313)$ $[\text{m/s}]$, w - prędkość powietrza w przewodzie, $[\text{m/s}]$, ρ_o - gęstość powietrza w warunkach normalnych, $\rho_o = 1,293 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Zmianę temperatury na długości przewodu obliczono na podstawie wzoru:

$$t_1 = (t_u - t_{lo}) \cdot e^{-x}, \quad [^\circ\text{C}] \quad (3)$$

$$\text{dla} \quad x = \frac{U \cdot C \cdot L}{m \cdot c} \quad (4)$$

gdzie t_{lo} , t_1 jest to temperatura powietrza na początku przewodu i w odległości L , $[\text{C}]$, t_u - temperatura otoczenia, $[\text{C}]$, L - długość przewodu, $[\text{m}]$, m - strumień masy powietrza, $[\text{kg/s}]$, U - współczynnik przenikania ciepła ścianki przewodu, $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$, C - obwód przewodu, $[\text{m}]$, c - ciepło właściwe powietrza, $c = 1000 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Analizie poddano 6 instalacji ogrzewania powietrznego w czterech różnych budynkach (tab.1).

Tab. 1. Zestawienie parametrów obliczeniowych.

Tab. 1. List of evaluation parameters.

L.p.	Nazwa budynku	Kubatura [m ³]	Długość przewodów[m]	T _{lo} [°C]	T _u [°C]	V [m ³ /h]
I.	I. Budynek jednorodzinny	511	76	32	20	2 230
II.	II. Klub sportowy	1 921	115	26		7 765
III.	III. Budynek 5-cio kondygnacyjny	10 206	376	30		19 359
IV.	IV. Budynek 5-cio kondygnacyjny	10 206	381	30		19 359
V.	V. Budynek parterowy	2 700	200	26		26 160
VI.	VI. Budynek parterowy	2 700	200	40		7 775

W budynku jednorodzinnym (I), klubie sportowym (II), budynku 5-cio kondygnacyjnym oraz budynku parterowym. Budynki różnią się kubaturą. Budynek 5-cio kondygnacyjny jest hipotetycznym budynkiem o długości 72,0 m i szerokości 10,5 m, w którym przyjęto lokalizację centrali wentylacyjnej w dwóch wersjach; na końcu (III) i w środkowej części budynku (IV). Instalacje w budynku parterowym o kubaturze 2700 m³ analizowano dla temperatury początkowej nawiewu wynoszącej 26°C (V) i 40°C (VI). Dla przedstawienia warunków ekstremalnych został stworzony budynek bardzo wąski (o szerokości 5,0 m), o znacznej długości (200 m), gdzie powietrze jest tłoczone z jednego końca budynku na drugi. Tab. 1 zawiera podstawowe parametry obliczeniowe analizowanych instalacji.

Wskutek przenikania ciepła przez ścianki przewodów zmienia się temperatura strumienia powietrza na długości przewodu.

Tab. 2. Zestawienie wyników obliczeń strat ciepła

Tab. 2. Thermal loss results

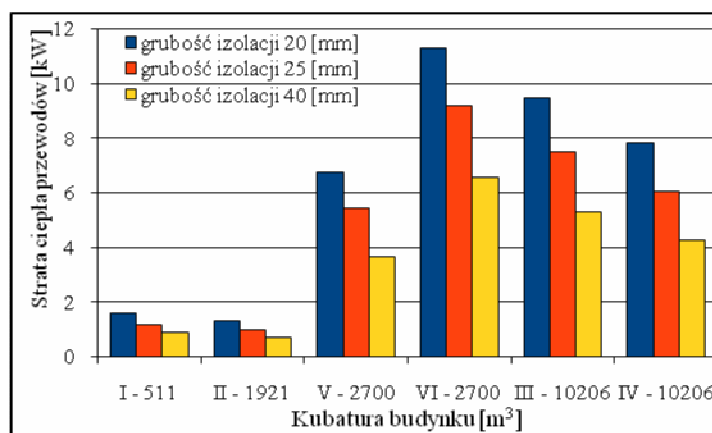
L.p.	Nazwa budynku	Grub. izol. przewodu	Strata ciepła bud.	Strata ciepła przewodu	Udział strat ciepła a,b,c	Różnica udziału strat ciepła	
		[mm]	[kW]	[kW]	[%]	-	[%]
I a	I. Bud. jednorodzinny	20	9,03	1,60	17,7	a-c	8,1
I b		25		1,19	13,2	a-b	4,5
I c		40		0,87	9,6	b-c	3,6
II a	II. Klub sportowy	20	15,50	1,29	8,3	a-c	3,8
II b		25		0,98	6,3	a-b	2,0
II c		40		0,70	4,5	b-c	1,8
III a	III. Bud. 5-cio kondygnacyjny	20	64,53	9,49	14,7	a-c	6,5
III b		25		7,48	11,6	a-b	3,1
III c		40		5,28	8,2	b-c	3,4
IV a	IV. Bud. 5-cio kondygnacyjny	20	64,53	7,84	12,1	a-c	5,6
IV b		25		6,03	9,3	a-b	2,8
IV c		40		4,26	6,6	b-c	2,7
V a	V. Bud. parterowy	20	51,92	6,74	13,0	a-c	5,9
V b		25		5,43	10,5	a-b	2,5
V c		40		3,66	7,1	b-c	3,4
VI a	VI. Bud. parterowy	20	51,92	11,28	21,7	a-c	9,0
VI b		25		9,19	17,7	a-b	4,0
VI c		40		6,57	12,7	b-c	5,0

Obliczono straty ciepła przez ścianki izolowanych przewodów blaszanych (tab.2) oraz temperatury powietrza na końcu instalacji. Dla każdej instalacji, przy założeniu tej samej temperatury powietrza nawiewanego i natężenia przepływu powietrza, przyjęto

izolację przewodów wełną mineralną $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ o grubości 20, 25 i 40 mm. W każdym przypadku przewody ogrzewania powietrznego prowadzone są wewnątrz izolacji cieplnej budynku, a projektowana temperatura wewnętrzna wynosi 20°C .

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Wyniki obliczeń (tab. 2, rys. 1) wskazują, że strata ciepła przewodów ogrzewania powietrznego zależy przede wszystkim od grubości warstwy izolacyjnej oraz temperatury powietrza w przewodzie.



Rys.1. Straty ciepła przewodów ogrzewania powietrznego o grubości izolacji 20, 25, 40 mm w zależności od kubatury budynku.

Fig.1. Thermal loss for hot air ducts with 20, 25, 40 mm of insulation in relation to capacity of the building

Zwiększenie w analizowanych przypadkach grubości izolacji z 20 mm do 25 mm powoduje zmniejszenie strat ciepła przewodów od 18,5% do 25,5%, a zwiększenie grubości do 40 mm od 27,1% do 32,5%. Nie uzasadnia jednak konieczności przyjęcia warstwy o grubości 40 mm.

Zwiększanie grubości warstwy izolacyjnej zmniejsza straty ciepła przewodów, wiąże się jednak z ponoszeniem określonych kosztów związanych z wykonaniem izolacji, których zasadniczym składnikiem jest cena materiału izolacyjnego. Uzasadnieniem przyjęcia określonej grubości warstwy izolacyjnej powinny być nie tylko poniesione koszty, lecz przede wszystkim uzyskana dzięki niej efektywność cieplna wyrażona zmniejszeniem strat ciepła przewodów ogrzewania powietrznego w stosunku do ilości energii pierwotnej, przeznaczonej do ogrzewania budynku.

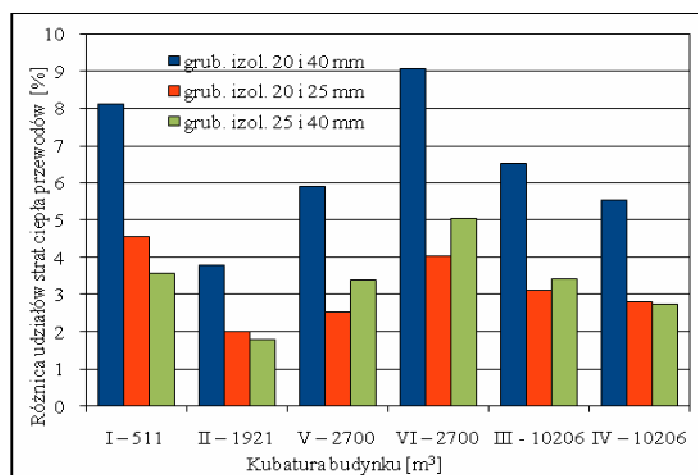
Obliczenia wykazały, że udział strat przenikania ciepła przez ścianki przewodu w całkowitym zapotrzebowaniu ciepła budynku o grubości izolacji 20 mm wynosi od ok. 8,3% do 21,7% i jest on tym większy im wyższa jest temperatura powietrza nawiewanego. Jest to znaczna wartość. Zwiększenie grubości izolacji o 5 mm (do grub. 25 mm) po-

woduje zmniejszenie udziału strat ciepła przewodów o 2 – 4,5%, zaś zwiększenie grubości o 15 mm (do grub. 40 mm) o 3,8 – 9% (tab. 2).

Z rys. 2 wynika, że zwiększenie grubości izolacji z 20 do 40 mm powoduje prawie dwukrotny większą różnicę udziałów strat ciepła, w stosunku do podwyższenia grubości warstwy izolacyjnej z 20 do 25 mm oraz z 25 do 40 mm. Pogrubienie warstwy izolacyjnej o 5 cm i 15 cm daje porównywalne wartości.

Wynika stąd, że zwiększenie grubości izolacji o 15 mm nie przyczynia się do znacznego obniżenia strat przenikania ciepła przez ścianki kanału i zapewne nie jest współmierne z poniesionymi kosztami. Należy zaznaczyć, że maksymalne straty ciepła przewodów dotyczą najbardziej niekorzystnego układu instalacji w budynku VI o temperaturze początkowej powietrza wynoszącej 40°C. Instalacje o takich parametrach nie są w praktyce stosowane.

Przy pominięciu budynku VI, różnica pomiędzy udziałem strat ciepła przewodów w całkowitym zapotrzebowaniu ciepła budynku dla grubości izolacji zwiększonej z 20 mm do 25 mm i 40 mm wynosi zatem tylko ok. 2,0 – 3,5%.



Rys.2. Różnica, dla przewodów o różnej grubości izolacji cieplnej, udziałów strat ciepła przewodów w całkowitej stracie ciepła budynku, w zależności do kubatury obiektu.

Fig.2. A difference for hot air ducts with different thermal insulation thickness in relation to their loss to total thermal loss of the building and it's capacity.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że straty ciepła przez ścianki przewodów ogrzewania powietrznego nie powodują bezużytecznej ucieczki ciepła z budynku. Trafia ono do pomieszczenia ogrzewanego, lecz drogą nie do końca zamierzoną. Może być to powodem, co najwyżej, nieprawidłowego rozdziału ciepła w poszczególnych pomieszczeniach, ale w zasadniczy sposób nie wpływa na pogorszenie warunków komfortu cieplnego. Występujące straty ciepła na przewodach, analizowane na etapie projektowania instalacji ogrzewania powietrznego, powinny być uwzględniane przy wyznaczaniu rozdziału ciepła do pomieszczeń.

Izolacja o grubości 25 mm była przed wprowadzeniem rozporządzenia[2] standardowo stosowana przez krajowych jak i zagranicznych producentów izolowanych, prostokątnych oraz elastycznych, kanałów wentylacyjnych. Jak wynika z przeprowadzonej analizy jest, w rozważanych przypadkach, wystarczającą warstwą izolacji cieplnej.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiona analiza wpływu zwiększania grubości izolacji przewodów instalacji ogrzewania powietrznego na efektywność cieplną budynku prowadzi do sformułowania następujących wniosków:

- zwiększenie grubości izolacji cieplnej przewodów ogrzewania powietrznego do wartości 40 mm prowadzi pozornie do uzyskania oszczędności eksploatacyjnej budynku,
- jak wynika z obliczeń, różnica 5 mm pomiędzy izolacją o grubości 20 i 25 mm ma taki sam, a nawet większy udział strat ciepła przewodów w całkowitym zapotrzebowaniu ciepła budynku, co różnica 15 mm pomiędzy grubościami 25 i 40 mm. Wynosi on ok. 2,0 – 3,5%,
- w przypadku ogrzewania powietrznego, nie jest możliwy zwrot poniesionych kosztów na dodatkową izolację przewodów z oszczędności energii cieplnej, z uwagi na to, że straty ciepła przewodów ogrzewania powietrznego pozostają w budynku, ciepło nie jest bezpowrotnie tracone. Szersze uzasadnienie efektywności ekonomicznej uzyskiwanej przez zwiększenie grubości izolacji przewodów ogrzewania powietrznego będzie tematem dalszej analizy,
- określanie grubości izolacji przewodów ogrzewania powietrznego powinno się przeprowadzać indywidualnie (w odniesieniu do konkretnego przypadku) na etapie projektowania, bez konieczności przyjmowania arbitralnie wprowadzonych wartości.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków – EPBD (obowiązuje od 4.01.2006 r.)
- [2] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 201/2008 poz. 1238).
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75/2002 poz. 690)
- [4] Recknagel H., Schramek E.R. *Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo* - Recknagel, Sprenger, Schramek. Wydawnictwo Omni Scala. Wrocław 2008
- [5] Dyrektywa Rady 93/76/EEC z 13 września 1993 roku ograniczająca emisję dwutlenku węgla poprzez wzrost efektywności energetycznej (SAVE)
- [6] Dyrektywa Rady 89/106/EEC z 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych Państw Członkowskich odnoszących się do wyrobów budowlanych

LEGAL AND TECHNICAL REQUIREMENTS REGARDING THERMAL INSULATION FOR HOT AIR DUCTS

SUMMARY

This article introduces legal aspects and technical evaluation regarding new requirements for hot air ducts. In the analysis was conducted evaluation how increasing the thickness of thermal insulation for hot air ducts running inside the building will increase thermal efficiency of the same building.

Elżbieta RYBAK-WILUSZ, dr inż.

Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji

e_mail: elrywi@prz.rzeszow.pl

Maria WIERZBIŃSKA, dr

Katedra Metod Ilościowych w Ekonomii

e_mail: mwierzba@prz.rzeszow.pl

Politechnika Rzeszowska

ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów

ANALIZA SPÓŁEK BRANŻY BUDOWLANEJ NOTOWANYCH NA GIEŁDZIE PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH

STRESZCZENIE

Celem opracowania jest analiza spółek giełdowych z branży budowlanej ze względu na wybrane wskaźniki finansowe. Podmiotem badań jest 15 spółek z branży przemysłu materiałów budowlanych notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Źródłem informacji jest firma Notoria. Badania obejmują lata 2004-2008 i są to dane rzeczywiste (zaczepnięte z Notorii). Dane dla lat 2009-2011 są uzyskane w wyniku prognozowania. Do prognozowania wykorzystano metody wyrównywania wykładniczego. Obliczenia wykonano w programie Statistica PL 8.0.

1. UWAGI WSTĘPNE

Przedmiotem badań są wybrane wskaźniki finansowe firm notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie za pomocą prostych procedur statystycznych. Podmiotem badań są, więc spółki giełdowe działające w branży przemysłu materiałów budowlanych. Liczba firm notowanych na giełdzie z tej branży jest niewielka i wynosi 15. Analiza wybranych wskaźników finansowych umożliwi ocenę sytuacji ekonomicznej spółek giełdowych z branży przemysłu materiałów budowlanych oraz pozwoli zobrazować główne tendencje w badanej branży.

Należy podkreślić, że rynek kapitałowy w sektorze budownictwa rozwijał się dość dynamicznie w latach 2001-2007. Tendencja ta uległa zdecydowanej zmianie po 2007 roku, w którym można zaobserwować niekorzystne zmiany stanu aktywności gospodarczej w branży budowlanej. Rynek ten obecnie charakteryzuje się dość wysokim ryzykiem i niską atrakcyjnością inwestowania, które wynikają z niekorzystnej sytuacji finansowej i rynkowej. Ogólny wskaźnik klimatu koniunktury w sektorze budowlanym w oparciu

o dane GUS z roku 2008 wynosił niewiele ponad 20%, początek roku 2009 rozpoczął się od spadku do wartości ok. minus 30% osiągając w listopadzie minus 11%. Zmiany te wyrażane są trudnościami z oceną portfela zamówień z uwagi na niedostateczny popyt, wzrostem kosztów zatrudnienia i występującą w takich sytuacjach zwiększoną konkurencyjnością firm.

Wyniki badań bieżącej sytuacji finansowej firm budowlanych są pesymistyczne. Sporządzane prognozy w tym sektorze stanowią sygnał, że badany segment rynku budowlanego charakteryzuje się dużą niepewnością i można zaobserwować symptomy sytuacji kryzysowej.

Celem artykułu jest analiza spółek giełdowych z branży przemysłu materiałów budowlanych ze względu na wybrane wskaźniki finansowe. Źródłem informacji jest więc firma Notoria, która zajmuje się monitorowaniem i analizowaniem wyników finansowych spółek giełdowych. Badania obejmują lata 2004-2008 i są to dane rzeczywiste (zaczernięte z Notorii), a lata 2009-2011 są danymi uzyskanymi w wyniku prognozowania.

2. CHARAKTERYSTYKA SPÓŁEK GIEŁDOWYCH

Obecnie na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie notowanych jest 15 spółek sektora przemysłu materiałów budowlanych. Są to producenci i dostawcy materiałów i wyrobów branży budowlanej. Do podstawowych obszarów działalności poszczególnych spółek należą [strony internetowe firm 2009]:

Armatura Kraków SA (Armatura) - armatura sanitarna (baterie, aluminiowe grzejniki centralnego ogrzewania oraz inne odlewy aluminiowe); Barlinek SA (Barlinek) - naturalne podłogi drewniane; Budvar Centrum SA (Budvarcen) - stolarka otworowa (okna PCV, drewniane oraz aluminiowe, rolety i inne); Cersanit SA (Cersanit) - wyposażenie łazienek (produkty ceramiki sanitarnej, płytki ceramiczne, kabiny prysznicowe, wanny i inne); Decora SA (Decora) - artykuły wykończenia wnętrz; Izolacja-Jarocin SA (Izolacja) - wyroby hydroizolacyjne i uszczelniające dla budownictwa (papy, masy i lepiki, kity i szpachle, gonty asfaltowe itp.); Mercor SA (Mercor) - bierne systemy ochrony przeciwpożarowej; Ceramika Nowa Gala SA (Nowagala) i Polcolorit SA (Polcolorit) - płytki ceramiczne; Pozbud T&R SA (Pozbud) - okna, drzwi i bramy drewniane, PCV i aluminiowe; Zakłady Magnezytowe Ropczyce SA (Ropczyce) - ceramiczne materiały ogniotrwałe; Selenia FM SA (Selenafm) - produkty chemii budowlanej (piany, akryle, impregnaty, produkty do ociepleń zewnętrznych budynków, kleje, wylewki i masy oraz inne); Fabryka Farb i Lakierów Śnieżka SA (Śnieżka) - farby i lakiery; Trion SA (Trion) - konstrukcje stalowe, stolarka PVC i drewniana, ślusarka i konstrukcje aluminiowe; Yawal SA (Yawal) - architektoniczne systemy profili aluminiowych przeznaczone do produkcji ścian osłonowych, okien, drzwi i innych wyrobów.

W nawiasie podano nazwy spółek stosowane na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie w roku 2010.

3. PROCEDURY BADAWCZE

3.1. Kilka uwag na temat prognozowania

Do prognozowania wybranych wskaźników finansowych badanych spółek wykorzystano metodę wyrównywania wykładniczego Holta. Model ten znajduje zastosowanie w przypadku, gdy w szeregu czasowym występuje trend i wahania przypadkowe. Jest to

model dwurównaniowy, w którym do opisu tendencji używa się wielomianu stopnia pierwszego. Model ten jest bardzo elastyczny ze względu na występowanie dwóch parametrów wygładzania α i β . Model ten można zapisać w sposób następujący: [2]

$$F_{t-1} = \alpha Y_{t-1} + (1 + \alpha)(F_{t-2} + S_{t-2}) \quad (1)$$

$$S_{t-1} = \beta(F_{t-1} - F_{t-2}) + (1 - \beta)S_{t-2} \quad (2)$$

gdzie F_{t-1} jest to ocena wartości średniej w okresie t-1; S_{t-1} - przyrost trendu w okresie t-1; α, β - parametry modelu o wartościach z przedziału [0,1].

Równanie prognozy na okres $t > n$ można zapisać następująco:

$$Y_t^* = F_n + (t - n)S_n \quad (3)$$

W celu zweryfikowania hipotezy, czy zastosowanie metody Holta do prognozowania wybranych wskaźników finansowych w sektorze budowlanym jest uzasadnione, należy przede wszystkim oprzeć się na analizach graficznych zebranych danych empirycznych oraz obliczyć błędy prognozy. Dzięki wykorzystaniu programu Statistica [10] można wyznaczyć następujące błędy: błąd średni, średni błąd bezwzględny, suma kwadratów reszt, wariancja składnika resztowego, błąd procentowy, średni błąd procentowy, średni bezwzględny błąd procentowy. Za najlepszą miarę względnego ogólnego dopasowania przyjmuje się średni bezwzględny błąd procentowy [2,3,5]. Ponadto miara ta jest zwykle łatwiejsza w interpretacji.

Przy ocenie prognoz można kierować się również innymi kryteriami, które mają charakter jakościowy. Prosta i popularną miarą rzetelności modelu jest trafność prognoz generowanych na podstawie części danych, tak, że prognozy mogą zostać porównane ze znanymi pierwotnymi obserwacjami.

3.2. Opis wybranych wskaźników finansowych

Wskaźnik bieżącej płynności finansowej oblicza się dzieląc aktywa bieżące przez wartość zobowiązań krótkoterminowych. Informuje on o zdolności firmy do regulowania zobowiązań w oparciu o aktywa obrotowe. Podawana w literaturze jego wzorcowa wartość mieści się w przedziale 1,3 – 2,0 [1,4].

Głębszą analizą płynności jest pomiar relacji najbardziej płynnych aktywów, czyli środków pieniężnych, do bieżących zobowiązań. Powstaje w ten sposób **wskaźnik podwyższonej płynności**, zwany również często wskaźnikiem wypłacalności środkami pieniężnymi, przyjmuje się, że wskaźnik ten powinien wynosić 0,2[1,4].

Stopa zwrotu z kapitału własnego ROE jest to stosunek zysku netto do średniej wartości kapitałów własnych. Spółka, która potrafi stale osiągać wysokie zwroty ze swojego kapitału własnego musi posiadać trwałą przewagę rynkową, co tym bardziej potwierdza atrakcyjność inwestycji w jej akcje.[4,9].

Bardzo pożytecznym, choć zdecydowanie niedocenianym wskaźnikiem jest **stopa zysku brutto** ze sprzedaży (marża zysku brutto). Przedstawia on zysk brutto ze sprzedaży w stosunku do przychodów ze sprzedaży. Wielkość tego wskaźnika obrazuje rentowność podstawowej działalności przedsiębiorstwa [7,9].

Wskaźnik rotacji należności określa, ile razy w ciągu roku firma odtwarza stan swoich należności. Oblicza się dzieląc sprzedaż netto przez średni stan należności. Zadowalający poziom tego wskaźnika powinien oscylować w przedziale 7,0 - 10,0 [4,7,9].

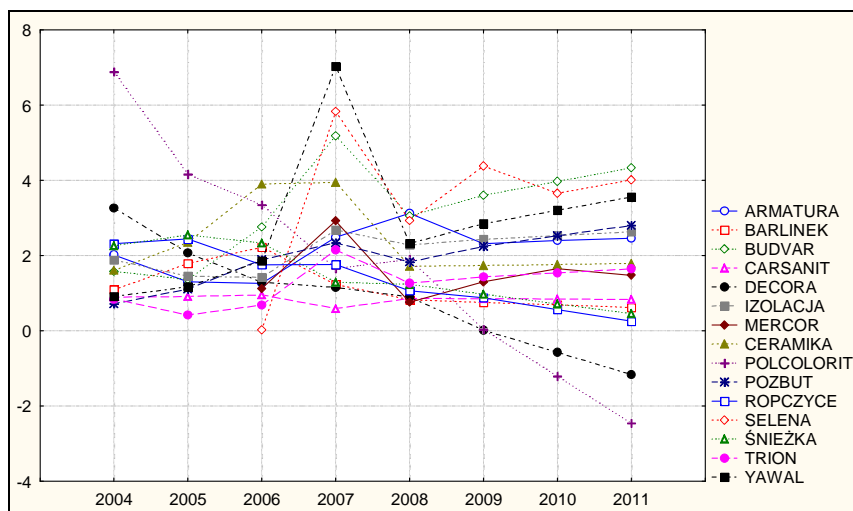
Wskaźnik rotacji zapasów określa, ile razy w ciągu roku firma odnawia swoje zapasy, natomiast wyrażony w dniach oznacza, na ile dni wystarcza przeciętny zapas. Oblicza się go jako relację sprzedaży netto do przeciętnego stanu zapasów. Niski poziom wskaźnika rotacji zapasów wskazuje na nadmierne lub zbędne zapasy, utrzymywane przez przedsiębiorstwo. Wzrost wskaźnika rotacji zapasów oznacza, że zapasy wystarczają na coraz mniejszą liczbę dni sprzedaży [4,7,9].

Wskaźnik stopa zadłużenia jest wyznaczany jako stosunek zobowiązań do aktywów. Zobowiązania oznaczają całość długów przedsiębiorstwa. Wskaźnik ten obrazuje stopień finansowania przedsiębiorstwa ze źródeł obcych, bez rozróżnienia źródeł ich pochodzenia. Wskaźnik ten informuje jaka część zobowiązań przypada na jednostkę aktywów. W zależności od metodyki wskaźnik ten bywa różnie oceniany. Za bezpieczny poziom długu różne metody przyjmują wartość z przedziału 40% - 80%. Oprócz wartości wskaźnika ocenia się jego tendencje w czasie [9].

Wskaźnik dług/EBITDA informuje o zdolności do pokrycia zobowiązań długoterminowych za pomocą środków pieniężnych, które spółka uzyskała w wyniku prowadzenia działalności gospodarczej na poziomie operacyjnym. Im niższa wartość wskaźnika, tym większa jest długoterminowa wypłacalność firmy. Wskaźnik ten oblicza się według następującej formuły: (kapitał obcy/zysk z działalności operacyjnej + amortyzacja) * (12 / okres obrotowy) [1,4,7,9].

4. ANALIZA SPÓŁEK GIEŁDOWYCH

Analiza działalności badanych spółek zostanie ograniczona do kilku podstawowych wskaźników, których wartości liczbowe zostały przedstawione na wykresach.



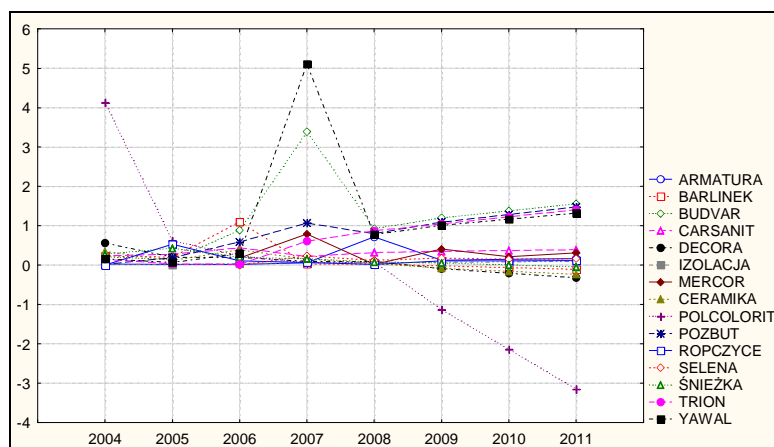
Rys. 1. Wskaźnik bieżącej płynności w badanych spółkach w latach 2004-2011.

Fig. 1. Current ratios for companies in 2004-2011

Jednym z mierników z grupy wskaźników płynności jest wskaźnik bieżącej płynności. Wskaźnik ten informuje o tym, ile razy wartość majątku obrotowego firmy przewyższa wartość majątku zobowiązań krótkoterminowych. Jako zalecane wartości tego wskaźnika w literaturze przyjmuje się przedział od 1,6 - 1,9. Wówczas spółka nie powinna mieć trudności z terminową spłatą kredytów i odsetek. Z wykresu można zaobserwować, że wśród badanych spółek w zalecany przedział nie znalazła się ani jedna spółka. Jeśli wartość wskaźnika jest mniejsza od 1,6; to fakt ten może oznaczać, że spółka działa z dnia na dzień i może mieć trudności w regulowaniu zobowiązań i kredytów długoterminowych.

Wartość wskaźnika mniejsza od 1,6 jest charakterystyczna dla następujących spółek: BARLINEK, CERSANIT, DECORA, MERCOR, POLCOLOR, ROPCZYCE, ŚNIEŻKA i TRION. Jest to aż 8 spółek. Można sformułować tezę, że ponad 50% badanych spółek posiada problemy w regulowaniu zobowiązań i kredytów krótkoterminowych. Wartość wskaźnika przekraczająca 1,9 może oznaczać, że badana spółka utrzymuje zbyt dużo środków obrotowych w stosunku do wymaganych zobowiązań. Analizując na wykresie dane można zaobserwować, że do spółek których wartość wskaźnika przekracza 1,9 należą: ARMATURA, BUDVAR, IZOLACJA, POZBUT, SELENA, YAWAL.

W celu lepszego zobrazowania płynności obliczono dla badanych firm wskaźniki podwyższonej płynności. Norma tego wskaźnika powinna wynosić 0,2.



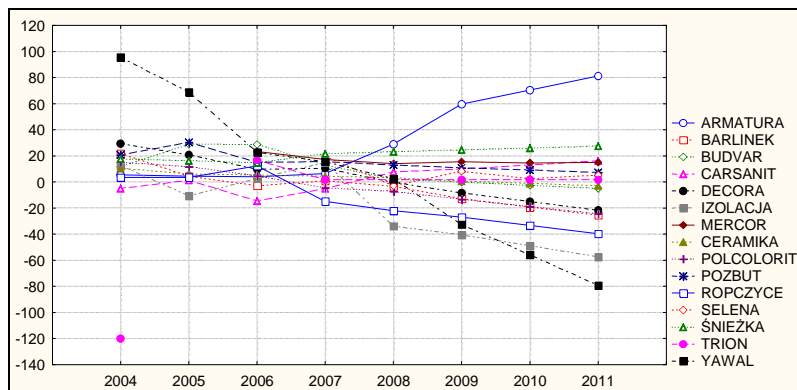
Rys. 2. Wskaźnik płynności podwyższonej w badanych spółkach w latach 2004-2011.

Fig. 2. Increased liquidity ratios in 2004-2011

Analiza danych zaobserwowanych i prognozowanych na podstawie których sporządzono rys. 2, świadczy o tym, że wszystkie badane spółki mogą posiadać trudności z płynnością. W żadnej badanej spółce wskaźnik podwyższonej płynności nie osiągnął wartości 0,2. Wartości te są albo większe albo mniejsze od przyjętej normy. Okazuje się, że relacje najbardziej płynnych aktywów, czyli środków pieniężnych, do bieżących zobowiązań w badanych spółkach na przestrzeni analizowanego okresu czasu nie są odpowiednie.

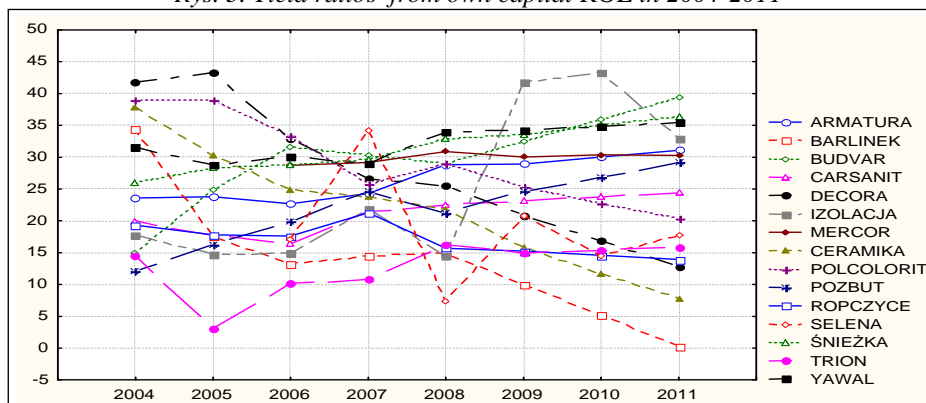
Jednym z często analizowanych wskaźników rentowności (zyskowności) jest wskaźnik określany mianem stopa zwrotu z kapitału własnego (ROE). Oblicza się go jako

stosunek zysku netto do średniej wartości kapitałów własnych. Interpretacja tego wskaźnika nie jest prosta. Jego niska (choć dodatnia) wartość może być spowodowana słabą rentownością, ale również niewielkim zadłużeniem firmy. Analiza danych z lat 2004-2008 i otrzymanych danych w wyniku prognozowania dla lat 2009-2011 pozwala na sformułowanie wniosków w zakresie zachowania się badanego wskaźnika (rys. 3).



Rys. 3. Wskaźnika stopy zwrotu z kapitału własnego ROE w latach 2004-2011

Rys. 3. Yield ratios from own capital ROE in 2004-2011



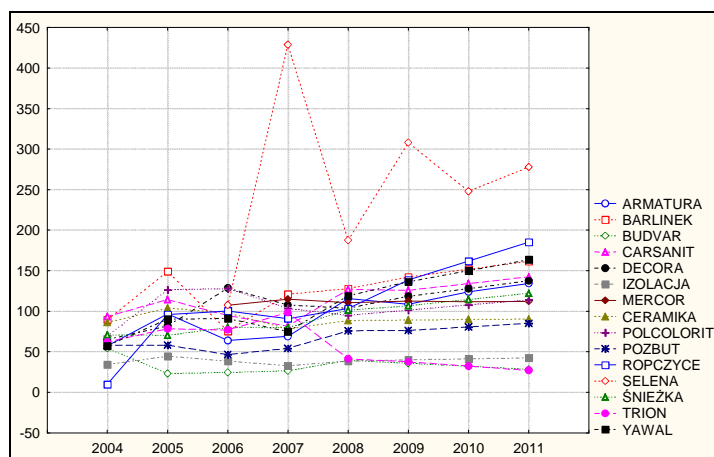
Rys. 4. Wskaźnik stopy zysku brutto ze sprzedaży w latach 2004-2011

Rys. 4. Gross profit rate indexes in 2004-2011

Okazuje się, że 11 badanych firm tj. ARMATURA, BUDVAR, CERSANIT, IZOLACJA, MERCOR, POZBUT, ROPCZYCE, SELENA, ŚNIEŻKA, TRION, YAWAL charakteryzują się dodatnią wartością tego wskaźnika zarówno w okresie badanym jak i prognozowaniem. Wobec tego firmy te można określić jako rentowne na przestrzeni analizowanego okresu. Cztery spółki tj. BARLINEK, DECORA, CERAMIKA i POLCOLORIT w okresie prognozowanym tj. w latach 2009-2011 odnotowały ujemną wartość tego wskaźnika co może świadczyć o kłopotach z rentownością. Należy jednak podkreślić, że spółki te w latach 2004-2008 charakteryzowały się niską, ale dodatnią

wartością tego wskaźnika. Można przypuszczać, że wykorzystana metoda do prognozowania jest błędna..

Kolejnym wskaźnikiem wykorzystanym do analizy rentowności jest marża zysku brutto ze sprzedaży. Jest to jeden z ważniejszych wskaźników zyskowności. Obrazem graficznym przebiegu tego wskaźnika w badanych spółkach i analizowanym okresie jest rys. 4. Wielkość tego wskaźnika obrazuje rentowność podstawowej działalności badanych spółek. Jego rosnąca w czasie wartość jest sygnałem zdecydowanie pozytywnym. Z analizy danych można zauważyć, że rosnącymi wartościami tego wskaźnika charakteryzują się następujące spółki: ARMATURA, BUDWAR, CERSANIT, IZOLACJA, MERCOR, POLZBUT, SELENA, ŚNIEŻKA, TRION, YAWAL. Można przypuszczać, że w zakresie podstawowej działalności spółki te odznaczają się odpowiednią rentownością. Pozostałe pięć spółek tj. BARLINEK, DECORA, CERAMIKA, POLCOLORIT i ROPCZYCE charakteryzuje tendencja spadkowa tego wskaźnika. Może to być sygnał, że spółki te w zakresie podstawowej działalności posiadają problemy, które należy rozwiązać.



Rys. 5. Wskaźnik rotacji należności w latach 2004-2011

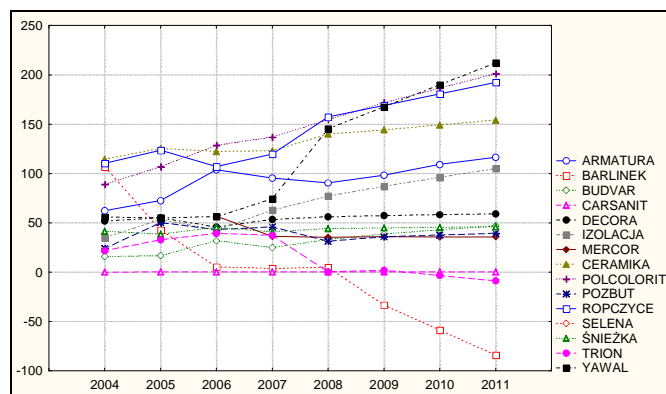
Fig. 5. Receivables turnover ratios in 2004-2011

Ważną informację dostarcza wskaźnik rotacji należności, który określa efektywność wykorzystania należności do generowanych przychodów. Dla badanych spółek przebieg tego wskaźnika w analizowanym okresie ilustruje rys. 5.

Analiza danych wskaźnika rotacji należności wskazuje, że wskaźnik ten w badanych spółkach osiąga wysokie wartości. Okazuje się, że wskaźnik ten w analizowanych spółkach nie znalazł się w powszechnie przyjętym przedziale 7,0-10,0. Dobrze, że żadna z badanych spółek nie charakteryzuje się wskaźnikiem, który jest mniejszy od 7,0. Wiadomo, że gdy wartość tego wskaźnika spada poniżej 7,0 oznacza to, że spółka kredytuje swoich klientów, co pociąga za sobą długie zamrożenie środków pieniężnych w należnościach. Należy podkreślić, że kierowanie się wzorcową wartością tego wskaźnika może okazać się błędem. W celu oceny tego wskaźnika należy przede wszystkim dokonywać porównań w czasie i przestrzeni. Należy przypuszczać, że osiągnięta w naszych

badaniach wysoka wartość tego wskaźnika może stanowić sygnał, że analizowane spółki pod względem rotacji należności są na zadawalającym poziomie.

Drugim miernikiem z grupy wskaźników za pomocą których można analizować tzw. sprawność działania badanych spółek jest rotacja zapasów. W analizach uczestniczy wobec tego 14 spółek. Dla jednej spółki tj. SELENA nie ma informacji na temat wielkości tego wskaźnika w badanym okresie. Kształtowanie się tego wskaźnika na przestrzeni badanych lat dla 14 spółek zobrazowano na rysunku 6.



Rys. 6. Wskaźnik rotacji zapasów w latach 2004-2011

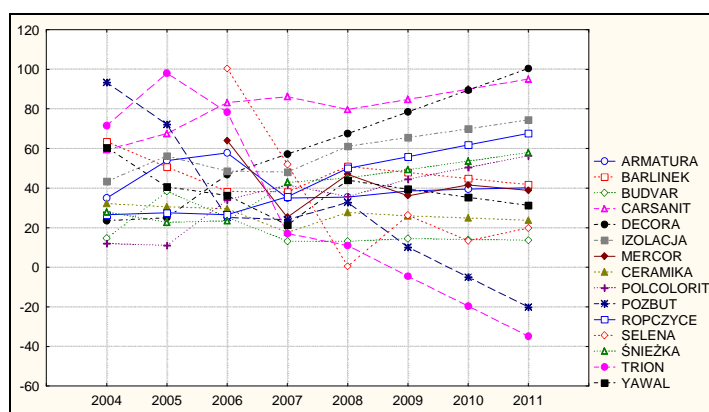
Rys. 6. Inventory turnover ratios in 2004-2011

Wskaźnik rotacji zapasów informuje o tym, ile razy w ciągu roku posiadane przez spółkę zapasy zostały przekształcone w wyroby gotowe. Jest to wskaźnik określający efektywność wykorzystania zapasów. Niski wskaźnik sugeruje, że poziom zapasów jest zbyt wysoki i spółka niepotrzebnie ponosi koszty magazynowania zapasów. Wśród analizowanych spółek trzy firmy tj. BARLINEK, CARSANIT i TRION posiadają niski wskaźnik rotacji, co pozwala przypuszczać, że mogą one mieć problemy z gospodarką magazynową. Pozostałe spółki charakteryzują się wysokimi wartościami tego wskaźnika. Wynika to z danych z lat 2004-2008 i wyników uzyskanych z prognozowania na lata 2009-2011. Można sformułować hipotezę, że spółki te nie mają problemów z gospodarką zapasami.

Wskaźnik stopy zadłużenia określa udział zobowiązań (kapitałów obcych) w finansowaniu majątku firmy. Sytuacja spółki jest korzystniejsza im niższy jest poziom tego wskaźnika, ponieważ mniejszy jest udział kapitału obcego w finansowaniu działalności spółki. Z analiz (rys. 7) wynika, że większość badanych firm charakteryzuje się niskim poziomem tego wskaźnika w całym badanym okresie. Są to następujące spółki: ARMATURA, BUDVAR, MERCOR, CERAMIKA, POLCORIT, POZBUT, ROPCZYCE, SELENA, ŚNIEŻKA, TRION, YAWAL. Wysokim poziomem tego wskaźnika odznaczają się tylko cztery spółki, są to BARLINEK, CARSANIT, DECORA, IZOLACJA. Zbyt wysoki poziom tego wskaźnika może podważać wiarygodność finansową firmy.

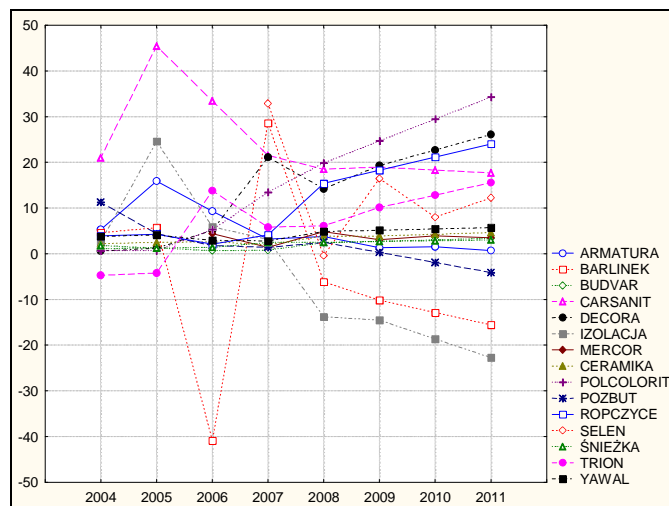
Wskaźnik dług/EBITDA informuje o zdolności pokrycia zobowiązań długoterminowych z pomocą środków pieniężnych, które spółki uzyskały w wyniku prowadzenia

działalności gospodarczej. Im wartość wskaźnika niższa tym większa jest długoterminowa wypłacalność spółki. Z analizy danych na rys. 8 można zaobserwować, że aż 9 spółek posiada niską wartość tego wskaźnika. Są to następujące spółki: ARMATURA, BARLINEK, BUDVAR, IZOLACJA, MERCOR, CERAMIKA, POZBUT, ŚNIEŻKA, YAWAL. Cztery spółki tj. DECORA, POLCOLORIT, ROPCZYCE i TRION charakteryzują się niskim wskaźnikiem w okresie 2004-2008, a w okresie prognozowanym tj. 2009-2011 roku, miernik ten posiada tendencje wzrostowe. Wysokimi wartościami długu/EBITDA odznaczają się tylko dwie badane spółki. Sytuacja w tych spółkach może okazać się w przyszłości niepewna i ryzykowna.



Rys.7. Wskaźnik stopy zadłużenia w latach 2004-2011

Fig.7. Debt ratios in 2004-2011



Rys. 8. Wskaźnik dług/EBITDA w badanych spółkach w latach 2004-2011

Fig. 8. Debt/EBITDA ratio for the years 2004-2011

5. UWAGI KOŃCOWE

Przeprowadzona analiza wybranych wskaźników finansowych pozwala na ocenę stanu finansowego i wyników finansowych badanych spółek giełdowych. Przeprowadzona analiza wykazała, że tylko w 4 (ARMATURA, BUDVACEN, POZBUD, YAWAL) spośród 15 badanych spółek charakteryzuje dodatni wskaźnik stopy zwrotu kapitału własnego, odpowiednia rentowność w zakresie działalności podstawowej, wysoki wskaźnik rotacji zapasów, niski stopień zadłużenia oraz lepsza długoterminowa wypłacalność spółki, przy stosunkowo wysokim wskaźniku płynności bieżącej. Analiza finansowa umożliwiła ustalić, w sposób ogólny, czy dotychczasowa działalność badanych firm z branży przemysłu materiałów budowlanych notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych jest efektywna oraz wskazać w jakich obszarach działania występują problemy. Należy zaznaczyć, że analiza i kontrola finansowa są podstawowymi składnikami oceny i prognozy dalszego rozwoju każdej spółki.

6. LITERATURA

- [1] Bednarski L. (2003), *Analiza ekonomiczna przedsiębiorstw*, Wydawnictwo AE, Wrocław
- [2] Cieślak M. (2001) *Prognozowanie gospodarcze metody i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- [3] Dittman P. (2005) *Prognozowanie w przedsiębiorstwie: metody i ich zastosowania*, Wydawnictwo Oficyna Ekonomiczna, Kraków ;
- [4] Malina A., Pawełek B., Wanat S., Zeliaś A. (1998), *Statystyczne metody oceny ryzyka w działalności gospodarczej*, Wydawnictwo AE, Kraków
- [5] Nowak E., (1998) *Prognozowanie gospodarcze, metody, modele, zastosowania, przykłady*, Wydawnictwo Placet, Warszawa .
- [6] Pisula T., Wierzbńska M. (2006), *Taksonomiczna analiza ryzyka spółek giełdowych z regionu podkarpackiego*. Wiadomości Statystyczne nr 9, PTS Warszawa
- [7] Sierpińska M., Jachna T. (2004), *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*, PWN, Warszawa
- [8] Strona internetowa (2009) GUS i firm branży budowlanej
- [9] Tyran M., R. (1999), *Wskaźniki finansowe*, Dom Wydawniczy ABC, Warszawa
- [10] www.statsoft.pl

ANALYSIS OF THE BUILDING INDUSTRY COMPANIES LISTED ON STOCK EXCHANGE

SUMMARY

The object of the study is analysis of listed companies from the building line in terms of selected financial ratios. Subject of research is 15 companies from the industry of building materials of listed Warsaw Stock Exchange. Source of information is a company Notoria. Research covers the period 2004-2008 and these are actual data (from Notoria). Data for the years 2009 to 2011 are obtained by forecasting. Forecasting uses an exponential compensation method. Calculations performed in Statistica Pl 8.0.

Bartosz SAŁACIŃSKI, mgr inż.
Vyacheslav PISAREV, dr hab. inż. prof. PRz

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959, Rzeszów
e-mail: zcik@prz.rzeszow.pl, salat@interia.eu

UKŁADY WYKORZYSTANIA ENERGII GROMADZONEJ W ELEMENTACH BETONOWYCH WSPÓŁPRACUJĄCYCH ZE SPRĘŻARKOWYMI POMPAMI CIEPŁA

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono autorskie rozwiązania instalacji pozwalające na przygotowanie ciepła do celów C.O, C.W.U. bądź wentylacji, bazujące na współpracy betonowych akumulatorów energii ze sprężarkowymi pompami ciepła.

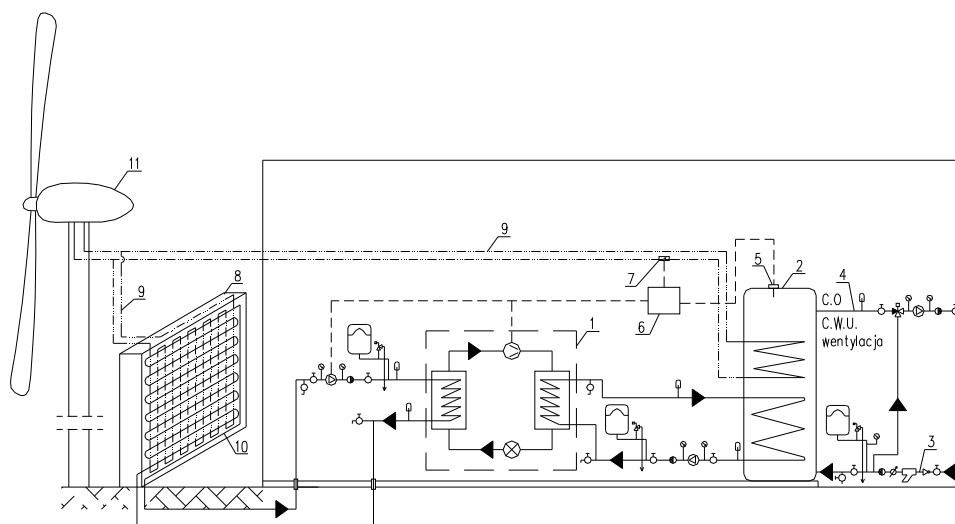
1. WPROWADZENIE

Z uwagi na coraz szersze wykorzystywanie w instalacjach sanitarnych ciepła pozyskanego ze źródeł odnawialnych celowym wydaje się poszerzenie ich wachlarza o materiały nienaturalne lecz mogące równie sukcesywnie co grunt, powietrze i woda (przeważnie gruntowa) spełniać rolę magazynów ciepła. Przedmiotem zainteresowania autorów w tej kwestii stał się beton co zaowocowało powstaniem kilku publikacji [1,2,3,4,5,6]. Niezależnie od tego czy akumulujący element betonowy znajduje się pod ziemią czy też na powierzchni, dzięki odpowiednim układom instalacyjnym gromadzone w ich wnętrzu ciepło niskotemperaturowe może być efektywnie wykorzystywane do celów praktycznych. W niniejszym materiale przedstawione zostaną autorskie rozwiązania instalacji pozwalające na przygotowanie ciepła do celów C.O, C.W.U. bądź wentylacji, bazujące na współpracy betonowych akumulatorów energii ze sprężarkowymi pompami ciepła. Wśród zaprezentowanych układów znajdują się zarówno takie, które wykorzystują energię akumulowaną na drodze pochłaniania promieniowania słonecznego i konwekcji z otoczeniem, jak również używające beton jako bufor ciepła pobranego ze ścieków,

z gruntu bądź wytwarzanego na drodze przepływu energii elektrycznej czy też pozyskanego w wieży chłodniczej oraz agregacie kogeneracyjnym. Na schematach wyszczególnione zostały zarówno elementy armatury jak i automatyki pozwalającej na poprawne działanie poszczególnych układów.

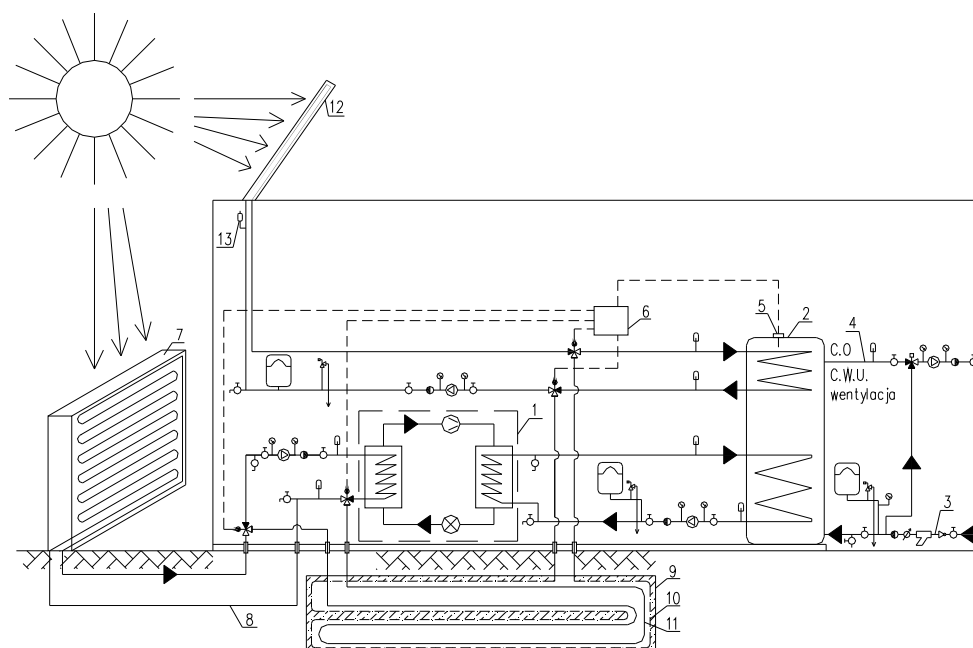
2. SCHEMATY INSTALACJI

Na rys. 1÷5 przedstawionych zostało kilka wariantów układów umożliwiających efektywne wykorzystanie energii niskotemperaturowej gromadzonej w betonie.



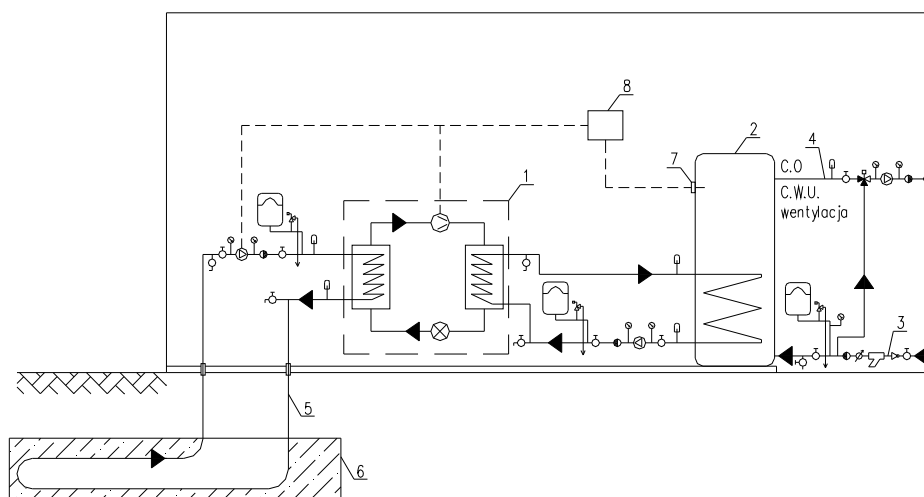
Rys. 1. Schemat instalacji przygotowania ciepła z wykorzystaniem turbiny wiatrowej i powierzchniowego, betonowego akumulatora ciepła: 1-pompa ciepła, 2-zasobnik ciepłej wody, 3-doprowadzenie wody sieciowej/powrót obiegowej wody zimnej, 4-zasilanie wody ciepłej, 5-czujnik temperatury, 6-sterownik, 7-wyłącznik przepływu prądu, 8-powierzchniowy akumulator betonowy, 9-przewody elektryczne, 10-przewody dostarczające ciepło do parowacza z powierzchniowego akumulatora betonowego, 11-turbina wiatrowa

Fig. 1. Scheme of installation for heat preparation with usage of wind turbine and aboveground concrete accumulator: 1-heat pump, 2-warm water container, 3-cold water pipe, 4-warm water pipe, 5-water temperature sensor, 6-controller, 7- electricity flow switch off, 8- aboveground concrete accumulator, 9-electrical cables, 10-pipes for heat delivery from concrete accumulator to heat pump, 11-wind turbine

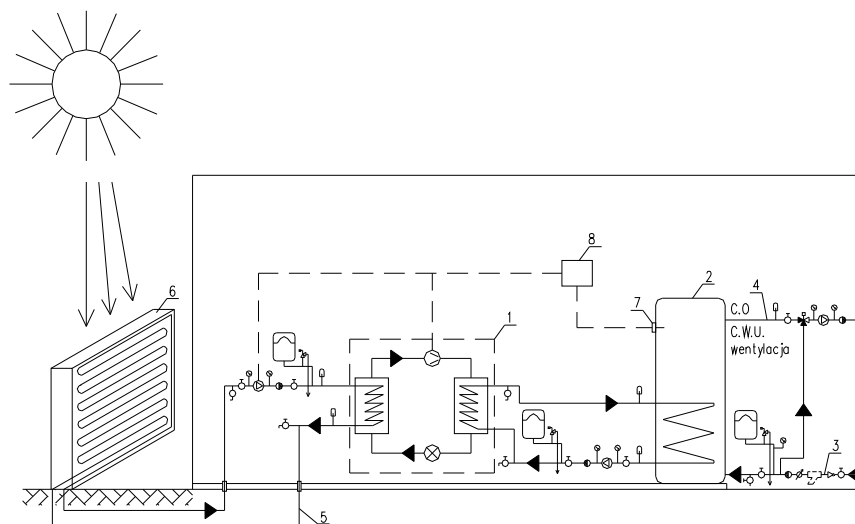


Rys. 2. Schemat instalacji przygotowania ciepła z wykorzystaniem kolektora słonecznego oraz powierzchniowego i podziemnego betonowego akumulatora ciepła: 1-6-patrz rys.1, 7-powierzchniowy, betonowy akumulator ciepła, 8-przewody dostarczające ciepło do parowacza z powierzchniowego akumulatora betonowego, 9-podziemny, betonowy akumulator ciepła, 10-przewody doprowadzające ciepło do podziemnego akumulatora betonowego z kolektora słonecznego, 11-przewody dostarczające ciepło do parowacza z podziemnego akumulatora betonowego, 12-kolektor słoneczny, 13-odpowietrzenie

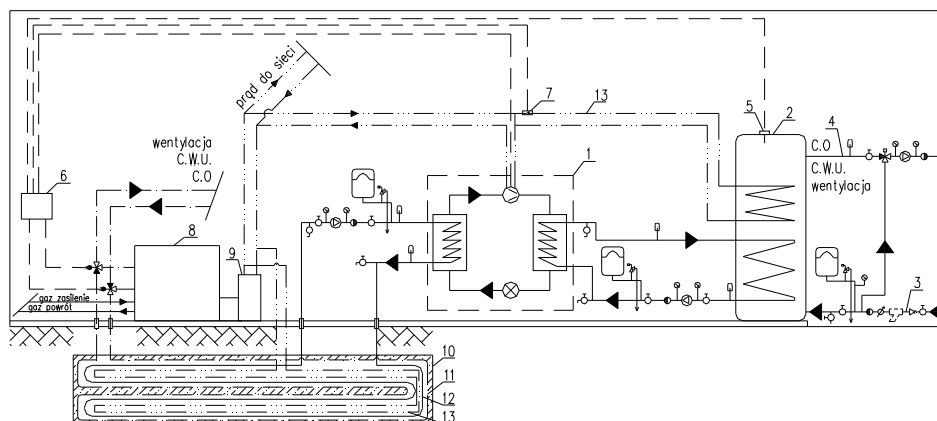
Fig. 2. Scheme of installation for heat preparation with usage of solar collector and above and underground concrete accumulators: 1-6-see fig.1, 7-aboveground concrete heat accumulator, 8-pipe connection between evaporator and aboveground accumulator, 9-underground concrete heat accumulator, 10- pipe connection between solar collector and underground concrete heat accumulator, 11- pipe connection between evaporator and underground accumulator, 12-solar collector, 13-air outlet valve



Rys. 3. Schemat instalacji przygotowania ciepła z wykorzystaniem podziemnego akumulatora betonowego: 1-4-patrz rys.1, 5-przewody dostarczające ciepło do pompy ciepła, 6-podziemny betonowy akumulator ciepła, 7-czujnik temperatury wody, 8-sterownik
 Fig. 3. Scheme of installation for heat preparation with usage of underground concrete accumulator: 1-4-see fig.1, 5-pipes for heat delivery to heat pump, 6-underground concrete heat accumulator, 7-water temperature sensor, 8-controller



Rys. 4. Schemat instalacji przygotowania ciepła z wykorzystaniem powierzchniowego, betonowego akumulatora ciepła: oznaczenia jak na rys. 3
 Fig. 4. Scheme of installation for heat preparation with usage of aboveground concrete accumulator: markings as on fig. 3



Rys. 5. Schemat instalacji do przygotowania ciepła z wykorzystaniem kogeneratora i podziemnego akumulatora betonowego: 1-pompa ciepła, 2-zasobnik ciepłej wody, 3-doprowadzenie wody sieciowej/powrót obiegowej wody zimnej, 4-zasilanie wody ciepłej, 5-czujnik temperatury, 6-sterownik, 7-wyłącznik przepływu prądu, 8-kogenerator, 9-generator prądu, 10-podziemny, betonowy akumulator ciepła, 11-przewody doprowadzające ciepło wyprodukowane przez kogenerator do akumulatora, 12-przewody doprowadzające zmagazynowane w betonie ciepło do parowacza, 13-przewody elektryczne

Fig. 5. Scheme of installation for heat preparation with usage of cogenerator and underground concrete accumulator: 1-7-see fig.1, 8-cogenerator, 9-electricity generator, 10- underground concrete heat accumulator, 11-ducts for heat conduction between cogenerator and accumulator, 12-pipes for heat delivery between concrete and evaporator, 13-electrical ducts

Powyższe instalacje różnią się konfiguracjami wykorzystania elementów betonowych w funkcji magazynowania ciepła. Może ono powstawać w wyniku przepływu przez element prądu wytwarzanego w turbinie wiatrowej (rys.1) lub sieciowego (rys.5), pochodzić z jednoczesnej konwekcyjnej wymiany energii z otoczeniem oraz pochłaniania promieniowania słonecznego (rys.1,2,4) bądź z gruntu (rys.2,3,5), może być też wytwarzane w agregatach kogeneracyjnych (rys.5). Niezależnie od przypadku główną ideą wytwarzania ciepła w przedstawionych powyżej układach jest pobieranie na drodze konwekcji wymuszonej energii niskotemperaturowej gromadzonej w betonie a pochodzącej z gruntu (rys.3) powietrza i promieniowania słonecznego (rys.4) i kierowanie jej na parowacz pompy ciepła. W jej obiegu energia zamieniona zostaje za pośrednictwem sprężarki na ciepło wysokotemperaturowe, które następnie oddawane jest w skraplaczu i może być magazynowane w zasobnikach.

Częścią wspólną schematów przedstawionych na rys.1÷5 są obiegi wysokotemperaturowe pomiędzy pompą ciepła (oznaczoną na wszystkich rysunkach jako 1) a zasobnikiem ciepłej wody (oznaczonym na wszystkich rysunkach jako 2) oraz między zasobnikiem a odbiornikiem ciepła (nieoznaczonym na rysunkach), którym w zależności od przeznaczenia układu może być obieg C.O. (dodatkowo zaopatrywany w razie koniecz-

ności z konwencjonalnego kotła gazowego), bateria czerpalna (przygotowanie C.W.U.), nagrzewnica domowego układu wentylacji bądź kurtyna powietrzna. Na schematach widocznych na rys.2,5 elementy betonowe mają charakter wymiennikowo-akumulacyjno-zasobnikowy. Oznacza to, że oprócz magazynowania ciepła otaczającego je środowiska (wymiana i akumulacja energii) mogą być one wykorzystywane jako zasobniki energii pozyskiwanej w innych częściach układu (np. w kolektorach słonecznych) w momencie, gdy temperatura wody w zasobniku osiągnęła już wartość zadaną a parametry środowiskowe tj. np. natężenie promieniowania słonecznego czy temperatura powietrza sprzyjają dalszej pracy instalacji. Wariant taki przyczynia się do zwiększenia efektywności jej pracy.

Niezależnie od części technologicznej przedstawione układy wyposażone zostały w odpowiednią armaturę odcinającą (np. zawory równoważące, zwrotne, trójdrogowe zawory mieszające bądź rozdzielające), zabezpieczającą (naczynia wzbiorcze, zawory bezpieczeństwa), pomiarową (manometry, termometry) i czerpalską (zawory spustowe i napełniające) oraz automatykę sterującą (sterownik) połączoną z siłownikami zaworów bądź pompami obiegowymi i sprężarką pompy ciepła. Odpowiednie sterowanie hydraulicznym układem w zależności od chociażby temperaturowych warunków zewnętrznych lub temperatury wody uzyskiwanej w zasobniku pozwala na wykonywanie przez układ wszystkich zakładanych funkcji i oszczędność energii.

Przedmiotem badań autora jest wyznaczanie rozkładu temperatur we wnętrzu opisanych elementów betonowych w zależności od zmiennych w czasie parametrów otaczającego je środowiska i określanie na tej podstawie gromadzonego w nich potencjału energetycznego. Na tej podstawie obliczyć można bowiem moc ciepłą wytwarzaną w tego typu instalacjach

3. PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej schematy instalacji pozwalają na pozyskiwanie niskotemperaturowej energii środowiska i wytwarzanie możliwej do praktycznego użycia energii cieplnej przy pomocy akumulatorów betonowych współpracujących ze sprężarkowymi pompami ciepła pozwala na efektywne wykorzystywanie odnawialnego potencjału energetycznego środowiska. Akumulatory betonowe mogą stać się tym samym, obok gruntu wody i powietrza, kolejnym źródłem ciepła niskotemperaturowego, mogącym być wykorzystywanym do celów praktycznych na szerszą skalę. Jednocześnie pamiętać należy, iż parametry temperaturowe uzyskiwane w skraplaczu pompy ciepła są zmienne i zależne od temperatur dolnego źródła ciepła mogących przybierać różne zakresy wartości w poszczególnych porach roku a nawet doby. Z tego względu przedstawione układy mogą czasowo wymagać pracy w systemach wspomagając pracę instalacji konwencjonalnych.

4. LITERATURA

- [1] Sałaciński B., Pisarev V.: Betonowe akumulatory energii niskotemperaturowej w systemach zaopatrzenia w ciepło i ciepłą wodę użytkową” – Zeszyt Naukowy Politechniki Rzeszowskiej nr 43, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 87-96,
- [2] Sałaciński B., Pisarev V.: „Ocena możliwości wykorzystania betonowych akumulatorów energii niskotemperaturowej w układach z pompami ciepła” – Zeszyt Naukowy

- Politechniki Rzeszowskiej nr 43, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 97-106,
- [3] Sałaciński B., Pisarev V.: „Analiza usytuowania betonowych akumulatorów powierzchniowych z uwzględnieniem natężenia promieniowania słonecznego” – XIX Ogólnopolska Konferencja Inżynierii Chemicznej i Procesowej, materiały konferencyjne, tom II „Środowisko, energia, biosystemy, bezpieczeństwo, materiały”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007, s. 211-214,
- [4] Sałaciński B., Pisarev V.: „Współpraca kurtyn powietrznych z pompami ciepła wykorzystującymi cienkowarstwowe, betonowe akumulatory energii”, – II Konferencja SOLINA 2008, Energia Odnawialna – Innowacyjne Rozwiązania Materiały i Technologie dla Budownictwa, materiały konferencyjne s.419-426, Solina 2008,
- [5] Sałaciński B., Pisarev V.: „Odbiór ciepła od cienkowarstwowych betonowych akumulatorów energii współpracujących z pompami ciepła”, II Konferencja SOLINA 2008, Energia Odnawialna – Innowacyjne Rozwiązania Materiały i Technologie dla Budownictwa, materiały konferencyjne s.409-418, Solina 2008,
- [6] Sałaciński B., Pisarev V.: „Potencjał energetyczny cienkowarstwowych betonowych akumulatorów ciepła” – Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 1/2009, s.33-35.

SYSTEMS OF USAGE OF ENEGRY GATHERED IN CONCRETE ELEMENTS COOPERATING WITH COMPRESSOR HEAT PUMPS

SUMMARY

The paper presents, designed by author, schemes of installations which allow to gain low temperature energy thanks to which it is possible to prepare heat that can be efficiently used in central heating, warm water preparing and home ventilation systems. They are based on cooperation of concrete accumulators of energy with compressor heat pumps.

Janusz SŁAWIŃSKI, prof. dr hab.;

Karol CIESIELSKI, mgr inż.

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Gnieźnie

Instytut Ochrony Środowiska

ul. Ks. Kard. S. Wyszyńskiego 38

62-200 Gniezno

Te. 061-426 -51-26 wew.22

k.ciesielski@pwsz-gniezno.edu.pl

PŁYTY POLIURETANOWO-GIPSOWE WZMOCNIONE ŁODYGAMI MISCANTHUS GIGANTEUS JAKO MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono otrzymywanie płyt z pianki poliuretanowej wzmocnionych łodygami miskanta. Na gotowe płyty naniesiono warstwę gipsu lub cementu w celu zmniejszenia podatności na zapalenie oraz poprawy estetyki. Zaprezentowane zostały wyniki badań wytrzymałościowych łodyg i liści miskanta oraz wzmocnionych płyt poliuretanowych.

1. WPROWADZENIE

Miscanthus x giganteus (miskant) jest trawą kępową pochodzącą z Azji. Charakteryzuje się grubymi, sztywnymi źdźbłami, które wypełnione są gąbczastym rdzeniem. Rozrasta się w dużych kępach bardzo szybko. Łodygi mogą sięgać wysokości do 4 metrów [1]. Do Europy miskant sprowadzony został przez Duńczyków w celach paszowych około 50 lat temu. Wykorzystywany był również jako roślina ozdobna oraz materiał na maty, kosze. Dopiero od dwudziestu lat zakłada się w Europie plantacje, głównie w celach energetycznych. Przez ten czas miskant znalazł zastosowania w różnych innych dziedzinach [2]:

- w budownictwie – jako materiał izolacyjny (rozdrobiony miskant wymieszany z betonem),
- w ochronie środowiska – maty wykonane z miskanta doskonale wchłaniają produkty ropopochodne z rozlewisk na ziemi i wodzie,
- w hodowli zwierząt – jako pasza dla zwierząt i wyściółka dla koni,

Łodygi miscanta są wytrzymałe i elastyczne. Dzięki tym właściwościom można wykorzystać je do wzmocnienia płyt z pianki poliuretanowej.

2. OTRZYMYWANIE PŁYT

Kompozyty z pianki poliuretanowej wzmocnione łodygami miskanta otrzymywano w specjalnej formie. Odpowiednio przygotowane i ułożone łodygi zalewano pianką poliuretanową.

2.1. Konstrukcja formy

Do budowy formy wykorzystano deski (boki formy) i dwie płyty wiórowe stanowiące spód i wierzch. Na jednej płycie wiórowej układano trzy ścianki boczne, które ograniczone były wokół ramą, zapobiegającą przemieszczaniu się ścian podczas formowania pianek. Brak czwartej ścianki umożliwiał wydostanie się nadmiaru pianki podczas reakcji. Otrzymywane płyty miały wymiar 20cm x 20cm x 5cm.

2.2. Przygotowanie miskanta.

Do wzmocnienia płyt z pianki poliuretanowej użyć można łodyg i liści miskanta. Należy przyciąć je na odpowiednią długość. W tym przypadku około 24,5 cm. Tak przygotowane elementy miskanta należy wstępnie rozmieścić w otwartej formie, a następnie wyjąć z formy i zważyć. Znaną masę miskanta układamy ponownie w formie. Jedną warstwę układa się łodygi równolegle obok siebie z małymi przerwami 3-5 mm. Na niej umieszcza się drugą warstwę obróconą w poziomie o kąt 90° (na krzyż). Na tak przygotowane wzmocnienie można wylać piankę poliuretanową.

2.3. Preparatyka płyt poliuretanowych

Poliuretany powstają w wyniku reakcji poliaddycji wielofunkcyjnych izocyjanianów organicznych z poliolami zawierającymi grupy hydroksylowe [3]. Spośród tej grupy związków największe znaczenie mają pianki. Spienianie tworzywa następuje w reakcji dodanej wody z grupą izocyjanianową. Powstaje ditlenek węgla spieniający poliuretan.

Do otrzymania pianek użyto polioli i diizocyjanian. Liczba izocyjanianów i grup hydroksylowych tych związków jest tak dobrana, że reagują w stosunku masowym 1:1. Sumaryczna masa obu substratów dopasowana została doświadczalnie, aby powstała pianka wypełniła formę i niewielki jej nadmiar wypłynął na zewnątrz. Do polioli, który w swoim składzie zawiera wodę i katalizator aminowy dodawano diizocyjanian. W momencie pojawienia się pierwszych pęcherzyków gazu wylewano całą zawartość pojemnika do formy, w której uprzednio rozmieszczone zostały łodygi miskanta. Piankę równomiernie rozlewano po całej powierzchni łodyg. Następnie formę zamykano płytą i skręcano formę śrubami do czasu utwardzenia. Po około 15-20 minutach rozkręcano formę i wyciągano z niej gotową płytę. Wszystkie jej powierzchnie były gładkie, za wyjątkiem fragmentu, przez który wypływał nadmiar pianki. Tą część odcinano nożykiem do tapet. Gotowe płyty można poddać badaniom lub nanieść na nie warstwę mineralną (gips, cement).

W tabeli 1 przedstawione zostały udziały ilościowe pianki i miskanta otrzymanych kompozytów.



Fot. 1. Sposób ułożenia miskanta w formie

Photo 1. Method of the miscanthus composition in the form

Tabela 1. Udział masowy składników płyt

Table 1. Mass-participation of the panels components

Numer płyty	Masa miskanta [g]	Masa pianki [g]	Udział procentowy miskanta [%]
1	110	72	60,44
2	110	82	57,29
3	160	97	62,25
4	131	93	58,48
5	32*	60	34,78

* - liście miskanta

2.4. Pokrycie płyt warstwą mineralną

Tworzywa piankowe mają bardzo rozwiniętą powierzchnię styku z powietrzem. Dlatego są bardzo podatne na zapalenie. Rozkład tworzywa następuje w temperaturze powyżej 260°C z wydzieleniem trujących gazów (HCN, CO). Zmniejszenie podatności na palność można osiągnąć przez wbudowanie do struktury grup opóźniających palenie lub pokrycie powierzchni pianki izolacją [4]. Wzmocnione miskantem płyty pokrywano warstwą gipsu lub zaprawą cementową [5]. Zmniejsza to zdecydowanie podatność na zapalenie i dodatkowo nadaje walory estetyczne. Powierzchnię można pomalować na dowolny kolor.

3. WYNIKI BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH I STATYSTYKA

Łodygi oraz liście miskanta poddane zostały badaniom wytrzymałości na rozciąganie oraz zbadano uderalność łodyg na aparacie Charpy. Następnie zbadano wytrzymałość na ściskanie gotowych płyt i porównano wyniki z płytą bez wzmocnienia miskantem. Otrzymane wyniki poddano ocenie statystycznej.

3.1. Wytrzymałość na rozciąganie łodyg i liści miskanta

Badanie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell 5kN.

Tabela 2. Wytrzymałość na rozciąganie łodyg miskanta

Table 2. Strength on extension of the miscanthus stems

Nr próbki	Długość początkowa L_0 [mm]	Przekrój próbki S_0 [mm ²]	Wytrzymałość na rozciąganie σ_M [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu ε_B [%]	Napężenie przy zerwaniu σ_B [MPa]
1	150	70,88	53,74	18,11	53,19
2	150	62,21	44,76	18,37	44,39
3	150	52,81	31,28	14,02	28,88
4	140	69,4	38,29	20,89	31,43
5	100	24,63	58,79	16,88	57,43



Fot. 2. Łodygi miskanta po badaniu wytrzymałości na rozciąganie
Photo 2. Miscanthus stems after the strength on extension tests

Z powyższych wyników obliczono średnią arytmetyczną \bar{x} oraz odchylenie standardowe s:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

x_i – wartość kolejnego pomiaru,

\bar{x} - średnia arytmetyczna,

n – liczba pomiarów

Tabela 3. Ocena statystyczna wytrzymałości na rozciąganie łodyg

Table 3. Statistical estimation of the stems strength on extension

Seria n=5	Wytrzymałość na rozciąganie σ_M [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu ϵ_B [%]	Naprężenie przy zerwaniu σ_B [MPa]
\bar{x}	45,37	17,65	43,07
s	11,17	2,5	12,72

Tabela 4. Wytrzymałość na rozciąganie liści miskanta

Table 4. Strength on extension of the miscanthus leafs

Nr próbki	Długość początkowa L_0 [mm]	Przekrój próbki S_0 [mm ²]	Wytrzymałość na rozciąganie σ_M [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu ϵ_B [%]	Naprężenie przy zerwaniu σ_B [MPa]
1	150	15	12,78	1,61	12,46
2	150	10	7,39	2,70	7,39
3	150	9,6	6,66	2,74	6,25

Tabela 5. Ocena statystyczna wytrzymałości na rozciąganie liści

Table 5. Statistical estimation of the leafs strength on extension

Seria n=3	Wytrzymałość na rozciąganie σ_M [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu ϵ_B [%]	Naprężenie przy zerwaniu σ_B [MPa]
\bar{x}	8,94	2,35	8,70
s	3,34	0,34	3,31

3.2. Badanie udarności łodyg

Badanie łodyg wykonano na młocie do badania udarności metodą Charpy. Zastosowano młot 4J. Przygotowano łodygi o długości 80mm i obliczonym przekroju eliptycznym. Pole przekroju S obliczono ze wzoru:

$$S = \frac{\pi * a * b}{4} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3)$$

a, b – grubości łądyg mierzone jako dwie osie elipsy (krótsza i dłuższa) [cm]

Udarność U obliczona została ze wzoru:

$$U = \frac{L}{S} \text{ [J/cm}^2\text{]} \quad (4)$$

L – praca zużyta na zniszczenie próbki [J],

S – pole przekroju poprzecznego [cm²]

Tabela 6. Udarność łądyg miskanta

Table 6. Impact resistance of miscanthus stems

Numer próbki	Wymiary przekroju eliptycznego [cm]	Pole przekroju [cm ²]	Praca [J]	Udarność [J/cm ²]
1	0,766 – 0,823	0,4948	2,38	4,81
2	0,731 – 0,793	0,4550	1,85	4,06
3	0,787 – 0,871	0,5381	2,33	4,33
4	0,811 – 0,887	0,5647	2,71	4,80
5	0,820 – 0,905	0,5825	2,48	4,26

Tabela 7. Ocena statystyczna udarności

Table 7. Statistical estimation of the impact resistance

Seria n=5	Udarność [J/cm ²]
\bar{x}	4,45
s	0,285

3.3. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Badanie przeprowadzone zostało na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell 5kN. Ustalono prędkość ściskania 5mm/min. Badaniom poddane zostały próbki płyty wzmocnionej miskantem oraz dla porównania płyty bez wzmocnienia. Próbki miały wymiary kostki 5cmx5cmx5cm i ściskane były do osiągnięcia grubości 20mm.

Tabela 8. Wytrzymałość na ściskanie pianki wzmocnionej

Table 8. Strength of compression of the heavy-duty foam

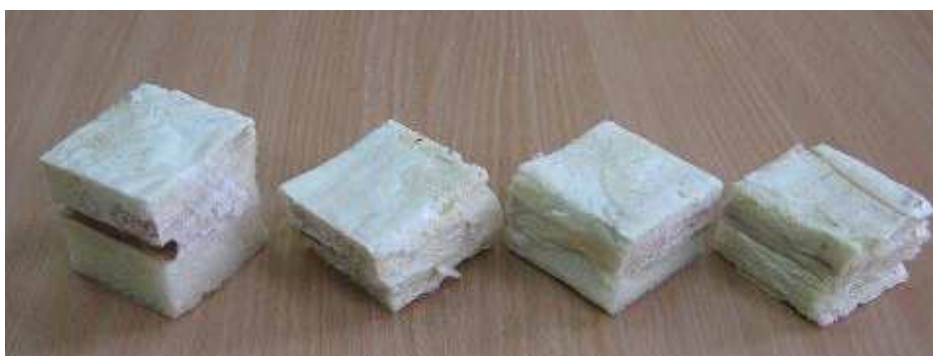
Numer próbki	Wytrzymałość na ściskanie σ _{fM} [MPa]
1	1,50
2	1,31
3	1,16

Tabela 9. Wytrzymałość na ściskanie pianki bez wzmocnienia
Table 9. Strength of compression of the foam without the strengthening

Numer próbki	Wytrzymałość na ściskanie $\sigma_f M$ [MPa]
1	0,39
2	0,39
3	0,45

Tabela 10. Ocena statystyczna wytrzymałości na ściskanie
Table 10. Statistical estimation of the strength of compression

Seria	Parametr	Wytrzymałość na ściskanie $\sigma_f M$ [MPa]
Pianka wzmocniona Seria n=3	\bar{x}	1,32
	s	0,17
Pianka bez wzmocnienia Seria n=3	\bar{x}	0,41
	s	0,03



Fot. 3. Próbki płyt przed i po ściskaniu
Photo 3. Samples of the panels before and after the compression

4. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że płyty z pianki poliuretanowej wzmocnionej łożdżkami miskańta są znacznie wytrzymalsze od zwykłych płyt z samej pianki. Łożdżki miskańta powodują usztywnienie struktury płyt. Płyty takie można wykorzystać w budownictwie do izolacji cieplnej oraz akustycznej (ekrany). Dzięki dużemu udziałowi procentowemu miskańta można ograniczyć ilość polimeru w kompozycie i uzyskać poprawę własności wytrzymałościowych. Dodatkowo po naniesieniu na płytę zaprawy cementowej lub gipsowej, zyskuje się gładką powierzchnię. Dzięki piance poliuretanowej oraz zróżnicowaniu składników, na granicy ich faz zachodzi efektywne pochłanianie dźwięków.

Wzrost zainteresowania miskantem, rozwój plantacji i łatwość uprawy oraz zbioru powinien stać się atutem skłaniającym do wykorzystania tej rośliny do produkcji powyższych kompozytów.

5. LITERATURA

- [1] Ł. Olejnik, Małe potrzeby olbrzyma, *Agroenergetyka*, kwartalnik, nr 1 (31), 2010
- [2] W. Kotowski, „Słodka trawa”, *Agroenergetyka*, kwartalnik, nr 2 (24), 2008
- [3] J. Pieluchowski, A. Puszyński, *Technologia tworzyw sztucznych*, WNT, W-wa, 2003
- [4] Z. Wirpsza, *Poliuretany. Chemia, technologia, zastosowanie*, WNT, W-wa, 1991
- [5] J. Karasiewicz, K. Dolata, „Wykorzystanie trawy chińskiej *Miscanthus x giganteus* jako biopaliwa i materiału konstrukcyjnego”, *Praca dypl. inż. PWSZ Gniezno* 2008.

POLYURETHANE GYPSUM BOARDS STRENGTHENED WITH MISCANTHUS GIGANTEUS STALKS AS CONSTRUCTION MATERIAL

SUMMARY

The present work demonstrates the obtention of boards made of polyurethane foam and strengthened with miscanthus stalks. A layer of gypsum or cement was applied onto ready-made boards to reduce susceptibility to catch fire and to improve an aesthetic appeal. The study presents the results of durability tests performed on miscanthus stalks and leaves as well as on strengthened polyurethane boards.

Aleksander A. STARAKIEWICZ, dr inż.

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

EKSPLOATACJA INSTALACJI C.W.U. Z KOLEKTORAMI SŁONECZNYMI W BUDYNKU MIESZKALNYM

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań doświadczalnych zużycia ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) w budynku jednorodzinnym oraz jej ogrzewania w instalacji z kolektorami słonecznymi.

1. WPROWADZENIE

Ciepła woda użytkowa (c.w.u.) w budynku mieszkalnym stanowi jedną z podstawowych potrzeb bytowych jego mieszkańców. Do jej przygotowania wykorzystuje się różne urządzenia zlokalizowane: w miejscu poboru wody, w budynku lub poza nim. Urządzenia te mogą stanowić: podgrzewacze przepływowe, kotły stałotemperaturowe jedno- lub dwufunkcyjne, podgrzewacze akumulacyjne, kompaktowe węzły cieplne, pompy ciepła czy kolektory słoneczne. Natomiast energia zasilająca te urządzenia pochodzi zwykle z takich źródeł, jak: energia elektryczna, gaz ziemny lub płynny, węgiel, koks, drewno, olej opałowy, energia geotermalna, biopaliwo czy słońce. Każda z wymienionych energii obciążona jest kosztem wytworzenia. Ponoszone przez mieszkańców wysokie koszty zużycia energii na przygotowanie c.w.u. zależą od liczby i wieku mieszkańców, poziomu wyposażenia (ilości sprzętu zużywającego ciepłą wodę), klasy urządzeń, źródła pochodzenia energii zasilającej, świadomości i przyzwyczajeń mieszkańców związanych z oszczędzaniem energii. Użytkownik natomiast zainteresowany jest ponoszeniem jak najniższych lub zerowych kosztów z tego tytułu. Inaczej mówiąc, najbardziej interesuje go darmowe przygotowanie c.w.u. w dowolnej ilości. Takie wymagania może zaspokoić, przez wiele miesięcy w roku, instalacja z kolektorami słonecznymi.

W referacie przedstawiono rzeczywiste zużycie c.w.u. w budynku jednorodzinnym, w okresie kilkunastu miesięcy oraz ilość pozyskanej przez kolektory słoneczne energii cieplnej.

2. OBLICZANIE ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ NA POTRZEBY PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Obliczanie zapotrzebowania na energię końcową na potrzeby przygotowania c.w.u. można wykonać posługując się algorytmami z „Metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową, nie wyposażoną w instalację chłodzenia” [1].

Zapotrzebowanie na energię końcową oblicza się ze wzoru:

$$Q_{K,W} = \frac{Q_{W,nd}}{\eta_{W,tot}} \left[\frac{kWh}{mies.(rok)} \right] \quad (1)$$

$$\eta_{W,tot} = \eta_{W,g} \cdot \eta_{W,d} \cdot \eta_{W,s} \cdot \eta_{W,e} \quad (2)$$

gdzie:

$Q_{W,nd}$ – zapotrzebowanie ciepła użytkowego do podgrzania ciepłej wody; kWh/rok;

$\eta_{W,g}$ – średnia sezonowa sprawność wytwarzania nośnika ciepła z energii dostarczanej do granicy bilansowej budynku (przyjęto 0,78);

$\eta_{W,d}$ – średnia sezonowa sprawność transportu (dystrybucji) ciepłej wody w obrębie budynku (przyjęto 0,7);

$\eta_{W,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepłej wody w elementach pojemnościowych systemu ciepłej wody (przyjęto 0,845);

$\eta_{W,e}$ – średnia sezonowa sprawność wykorzystania (przyjmuje się 1,0);

Zapotrzebowanie ciepła użytkowego do podgrzania ciepłej wody oblicza się ze wzoru:

$$Q_{W,nd} = \frac{V_{CW,i} \cdot L_i \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot (\theta_{CW} - \theta_o) \cdot t_{UZ}}{3600} \left[\frac{kWh}{mies.(rok)} \right] \quad (3)$$

gdzie:

$V_{CW,i}$ – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej przyjmowane na podstawie dokumentacji projektowej, pomiarów zużycia w obiekcie istniejącym lub danych normowych (Tablica 15 w [1]), $dm^3/j.o.\cdot doba$;

L_i – liczba jednostek odniesienia, osoby;

c_w – ciepło właściwe wody, przyjmowane jako $4,19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$;

ρ_w – gęstość wody, przyjmowana jako $1,0 \text{ kg/dm}^3$;

θ_{CW} – temperatura ciepłej wody w zaworze czterpalnym (przyjęto 40°C), $^\circ\text{C}$;

θ_o – temperatura zimnej wody, na podstawie pomiarów lub przyjmowana jako średnia roczna równa 10°C ;

t_{UZ} – czas użytkowania (miesiąc, rok), doby.

3. WYNIKI BADAŃ ZUŻYCIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ OGRZEWANEJ ENERGIĄ Z KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

W każdym gospodarstwie domowym używana jest energia do podgrzewania ciepłej wody użytkowej w celu zaspokojenia potrzeb bytowych jego mieszkańców. W rozważanym budynku jednorodzinnym c.w.u. przygotowywana jest centralnie i kumulowana w zasobniku biwalentnym o pojemności 300 litrów. Zasobnik posiada dodatkową grzałką oraz dwie węzownice, gdzie dolna zasilana jest z instalacji słonecznej a górna (w razie potrzeby) z instalacji c.o. Instalacja słoneczna składa się z dwóch kolektorów o łącznej, czynnej powierzchni absorbera 4,70 m². Kolektory skierowane są na południe i ustawione pod kątem 55° do poziomu.

Tablica 1. Zużycie energii do przygotowania c.w.u. w budynku jednorodzinnym.
Table 1. Consumption of energy to prepare hot water in residential building.

Lp.	Miesiąc/rok	Zużycie ciepłej wody	Temperatura zimnej wody θ_{cw}	Energia końcowa dla przygotowania c.w.u. - $Q_{k,w}$	Energia z instalacji słonecznej Q_{sol}	Pokrycie energii dla c.w.u. przez kolektory
		m ³	°C	kWh	kWh	%
1.	styczeń	8,85	6	759,1	14	1,8
2.	luty	9,66	7	804,2	32	4,0
3.	marzec	8,89	8	717,7	40	5,6
4.	kwiecień	9,40	9	735,1	650	88,4
5.	maj	8,60	10	650,9	583	89,6
6.	czerwiec	8,04	12	567,9	561	98,8
7.	lipiec	9,46	14	620,5	640	103,1
8.	sierpień	10,45	14	685,4	871	127,1
9.	wrzesień	9,97	12	704,2	799	113,5
10.	październik	7,18	10	543,4	280	51,5
11.	listopad	7,30	8	589,3	108	18,3
12.	grudzień	8,60	6	737,6	32	4,3
	Rok 2009	106,4	10	8052,4	4610,0	57,3
13.	Styczeń2010	7,10	6	609,0	53	8,7
14.	Luty 2010	7,06	7	587,7	241	41,0
15.	Marzec2010	6,86	8	553,8	559	100,9
16.	Kwiecień2010	6,63	9	518,5	641	123,6

Sterowanie instalacją umożliwia zaprogramowanie dowolnej temperatury na absorberze kolektora (czynnika roboczego na wylocie z absorbera) w zakresie od 0÷99°C oraz różnicy temperatur ΔT (między absorberem i dolną częścią zasobnika) w zakresie od 4÷20°C. Uruchomienie instalacji słonecznej następuje po osiągnięciu jednego z dwóch zaprogramowanych parametrów: temperatury absorbera lub temperatury grzewczej (tem-

peratura wody w dolnej części zasobnika + ΔT). Wyłączenie instalacji słonecznej następuje po obniżeniu się temperatury czynnika roboczego przepływającego przez absorber o 5°C lub $2/3 \Delta T$. Czas pracy instalacji słonecznej zależy od natężenia promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię absorbera, temperatury otoczenia oraz zaprogramowanych parametrów krążącego czynnika roboczego (temperatury absorbera i ΔT). Układ sterujący w czasie pracy instalacji oblicza chwilową moc kolektorów w Watach oraz ilość pozyskanej energii w kWh. Układ rejestrujący podaje aktualne sumaryczne wartości (dla dnia, tygodnia, miesiąca, roku i lat), takich parametrów jak: czas pracy kolektorów w godzinach; pozyskana energia w kWh, średnia temperatura ΔT (średni przyrost temperatury czynnika roboczego).

Wyniki badań zużycia ciepłej wody użytkowej w budynku jednorodzinnym, pozyskanej energii z instalacji słonecznej oraz procentowego pokrycia energii końcowej dla przygotowania c.w.u. przez instalację słoneczną przedstawiono w tablicy 1. Do obliczeń energii końcowej przyjęto temperaturę ciepłej wody w zaworze czerpalnym równą 40°C . Temperatura zimnej wody θ_{cw} została przyjęta jako średnia miesięczna wartość na podstawie pomiarów własnych. Całkowita sprawność układu przygotowującego c.w.u. (instalacja słoneczna, zasobnik, instalacja wewnętrzna budynku) - $\eta_{\text{w,tot}} = 0,461$ – została obliczona na podstawie przyjętych sprawności cząstkowych z [1,2] a odpowiadających urządzeniom i instalacjom występujących w analizowanym budynku jednorodzinnym.

4. PODSUMOWANIE

Zużycie ciepłej wody użytkowej na potrzeby bytowe 6-cio osobowej rodziny w kolejnych kilkunastu miesiącach kształtowało się od $6,63 \div 10,45 \text{ m}^3/\text{mies.}$ Średnie miesięczne zużycie c.w.u. wynosiło $8,38 \text{ m}^3/\text{mies.}$, dobowe $0,275 \text{ m}^3/\text{dobę}$ a jednostkowe dobowe zużycie wynosiło $45,8 [\text{dm}^3/(\text{j.o.})\cdot\text{doba}]$ i mieściło się w przedziale wartości normowych dla budynków mieszkalnych $35 \div 48 [\text{dm}^3/(\text{j.o.})\cdot\text{doba}]$. Na zróżnicowane zużycie ciepłej wody w budynku miała wpływ liczba przebywających w danym czasie domowników o czym świadczą miesiące wakacyjne i okresy świąteczne.

Natomiast zapotrzebowanie na energię końcową do przygotowania c.w.u. w rozpatrywanym okresie kształtowało się w przedziale od $518,5 \div 804,2 \text{ kWh/mies.}$ Największe zapotrzebowanie na tę energię występuje w miesiącach największego zużycia i najniższej temperatury wody zimnej (zasilającej). Roczne zapotrzebowanie na tę energię wyniosło $8052,4 \text{ kWh}$, przy pozyskanej energii z kolektorów wynoszącej 4610 kWh . Średnioroczne pokrycie niezbędnej energii przez kolektory wyniosło $57,3\%$. W trzech miesiącach (VII-IX) było to pełne pokrycie w kolejnych trzech (IV-VI) 90% pokrycie. Pełne pokrycie energii w danym miesiącu nie oznacza pełnego pokrycia w każdym dniu. W każdym miesiącu, o pełnym pokryciu energii przez kolektory, występuje od 3-7 dni pochmurnych kiedy przygotowanie c.w.u. musi nastąpić z lokalnego źródła ciepła.

Pojawia się zatem pytanie, jak efektywnie pozyskiwać energię w dni pochmurne i w okresie zimowym? Z doświadczenia eksploatacyjnego wynika, że w tym okresie kolektory powinny pracować częściej, osiągając stosunkowo niską temperaturę absorbera, tj. od $4-6^{\circ}\text{C}$ wyższą od temperatury wody w dolnej części zasobnika. Niska temperatura absorbera powoduje minimalne straty ciepła do środowiska zewnętrznego i wysoką jego sprawność.

Kolejnym, często zadawanym pytaniem jest: jak chronić instalację słoneczną przed przegrzaniem w letnie słoneczne dni? Ten problem występuje w okresie letnim przy braku rozbioru ciepłej wody. W tym przypadku postępowanie jest odwrotne. Kolektory powinny pracować sporadycznie, osiągając bardzo wysoką temperaturę absorbera, tj. ok. 80-90°C. Wysoka temperatura absorbera powoduje bardzo duże straty ciepła do środowiska zewnętrznego (różnica temperatur między absorberem a środowiskiem zewnętrznym może wynosić od 50-60°C) co powoduje znaczące obniżenie sprawności kolektora.

5. LITERATURA

- [1] 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.[2] Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M., Kurowski K., Więcka A.; Kolektory słoneczne. Energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle, Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2008.

EKSPLOATATION OF HOT WATER INSTALATION WITH SOLAR COLLEKTORS IN RESIDENTIAL BUILDING

SUMMARY

The results of experimental investigations in report were introduced consumption hot water in residential building and her heating in installation with solar collectors.

Romuald SULIMA, dr inż.

Fundacja EkoFundusz
ul. Bracka 4
00-502 Warszawa

PROMOCJA ENERGETYKI SŁONECZNEJ W PROJEKTACH EKOFUNDUSZU

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono efekty działalności Fundacji EkoFundusz w zakresie wdrażania i rozpowszechniania w Polsce rozwiązań wykorzystujących energię słoneczną. W oparciu o dane z wielu zrealizowanych projektów słonecznych odniesiono się do wybranych zagadnień, istotnych przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych przez przyszłych użytkowników instalacji słonecznych.

Referat stanowi dopełnienie analogicznego opracowania zaprezentowanego na Konferencji SOLINA 2008.

1. WPROWADZENIE

Czynnikiem hamującym powszechne wykorzystanie energii słonecznej do celów gospodarczych jest wysoka cena instalacji słonecznych. W ostatnim 20-leciu cena ta zmalała kilkakrotnie, jednak osiągnięcie przez nią poziomu konkurencyjności w odniesieniu do rozwiązań konwencjonalnych (wykorzystujących paliwa kopalne) może nastąpić pod warunkiem dostatecznego rozwoju rynku urządzeń słonecznych. Mając tego świadomość szereg krajów Unii Europejskiej stosuje mechanizmy dopłat dla indywidualnych inwestorów. Efektem takich działań jest gwałtowny rozwój techniki słonecznej w tych krajach. Przykładem są Niemcy, gdzie w ostatnich latach instalowano corocznie ponad milion m² kolektorów słonecznych termicznych a obecnie ich łączna powierzchnia osiągnęła poziom rzędu 10 mln m². W Czechach wprowadzono system wsparcia dla podmiotów inwestujących w słoneczne źródła energii elektrycznej. W efekcie łączna moc zainstalowana elektrowni fotowoltaicznych wzrosła tam w ciągu roku 2009 z 54 MW do 411 MW a do końca 2010 r. przekroczy 1000 MW.

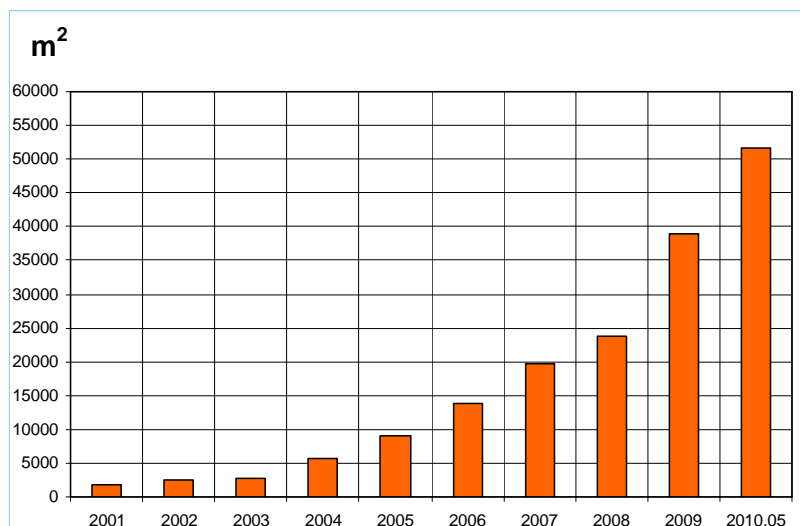
W Polsce łączna powierzchnia zainstalowanych kolektorów słonecznych termicznych jest wielokrotnie niższa, rzędu kilkuset tys. m². W celu poprawy sytuacji w tej dziedzinie w naszym kraju, EkoFundusz od początku swojej działalności promuje inicja-

tywy inwestycyjne związane z gospodarczym wykorzystaniem traconej dotychczas energii słonecznej - poprzez udzielanie bezzwrotnych dotacji na realizację instalacji słonecznych.

2. PROJEKTY Z UDZIAŁEM EKO Funduszu

Pierwszy projekt „słoneczny” z udziałem Fundacji został zrealizowany w 1997 r. na terenie szkoły w Bliznem, na Rzeszowszczyźnie. W 2005 roku działania promocyjne Fundacji zostały wzmocnione poprzez wprowadzenie dopłat w wysokości 1000 złotych za metr kwadratowy powierzchni czynnej kolektora. Jednocześnie rozpatrywanie wniosków o dotację dla projektów słonecznych zostało skrócone i uproszczone poprzez zastosowanie tzw. „szybkiej ścieżki dotacji”.

Takie działania spowodowały znaczny wzrost liczby inwestycji słonecznych. O ile w latach 1997-2005 zrealizowano z udziałem EkoFunduszu instalacje z kolektorami słonecznymi o łącznej powierzchni czynnej około 9 tys. m², to po zastosowaniu „szybkiej ścieżki”, w okresie 2006-2010 r., powierzchnia ta wzrosła o ponad 42 tys. m².



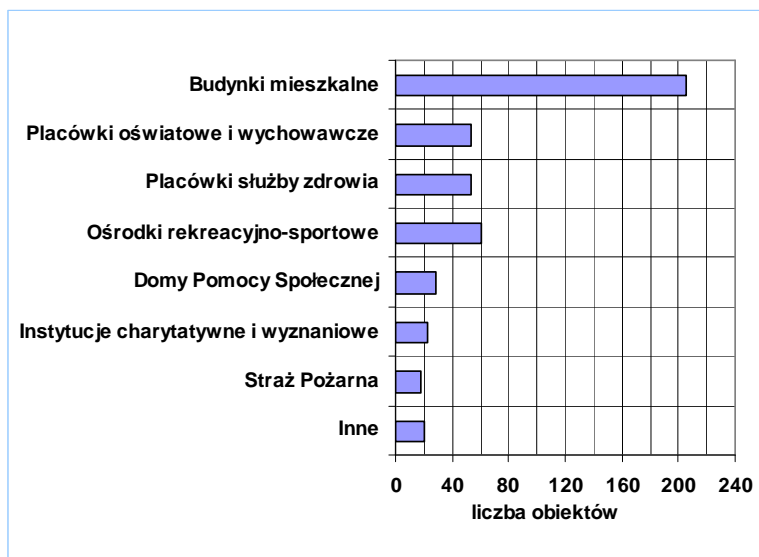
Rys. 1. Powierzchnia czynna kolektorów słonecznych dofinansowanych przez EkoFundusz w okresie do 2010 r. (narastająco)

Fig. 1. Effective area of the solar collectors subsidized by EcoFund until 2010 (cumulative)

Łącznie do roku 2010 EkoFunduszu dofinansował 215 projektów, w ramach których zbudowano 462 instalacje słoneczne z kolektorami o łącznej powierzchni 51,6 tys. m². Na realizację tych instalacji EkoFundusz przeznaczył bezzwrotne dotacje w łącznej kwocie około 50 mln zł. Efektem zrealizowanych z udziałem EkoFunduszu projektów słonecznych jest redukcja emisji dwutlenku węgla o ponad 10 tys. ton CO₂ rocznie.

Zrealizowane przy wsparciu EkoFunduszu projekty dotyczyły wykorzystania energii słonecznej głównie do produkcji ciepłej wody użytkowej oraz do podgrzewania wody w basenach i kąpieliskach. W każdym przypadku kolektory słoneczne współpracują

z podstawowym źródłem ciepła, którym jest zwykle kocioł opalany biomasą lub gazem a ostatnio, coraz częściej, pompa ciepła.



Rys. 2. Obiekty wyposażone w instalacje słoneczne dofinansowane przez EkoFundusz

Fig. 2. Facilities outfitted with solar installations subsidized by EkoFund

Systemy słoneczne zainstalowane zostały w obiektach należących do placówek oświatowych, służby zdrowia, spółdzielni mieszkaniowych, instytucji charytatywnych i wyznaniowych, straży pożarnej, ponadto w ośrodkach rekreacyjno-sportowych i innych obiektach użyteczności publicznej. Gospodarze tych obiektów, beneficjenci EkoFunduszu, z reguły dysponują środkami finansowymi ograniczonymi w istotnym stopniu. W takiej sytuacji są oni zainteresowani kolektorami słonecznymi umożliwiającymi obniżenie kosztów wytwarzania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), których koszty eksploatacyjne są znikome - wielokrotnie mniejsze od jakiegokolwiek innego źródła energii dla c.w.u.

Województwo	Liczba projektów	Województwo	Liczba projektów
małopolskie	48	wielkopolskie	11
śląskie	32	dolnośląskie	8
łódzkie	19	opolskie	5
mazowieckie	18	świętokrzyskie	3
podkarpackie	18	kujawsko-pom.	2
lubelskie	13	lubuskie	2
warm.-mazurskie	12	podlaskie	2
zach.pomorskie	11		
pomorskie	11	Razem:	215

Rys. 3. Lokalizacja inwestycji słonecznych dofinansowanych przez EkoFundusz

Fig. 3. Location of the solar projects subsidized by EkoFund

Największy projekt słoneczny zrealizowany przy udziale EkoFunduszu dotyczy systemu obejmującego kilkadziesiąt budynków spółdzielni mieszkaniowej w Łodzi. Jest to największy obecnie w Polsce, i jeden z największych w Europie, układ z kolektorami słonecznymi o łącznej powierzchni czynnej 7460 m².

Koszt projektu wyniósł ponad 16 mln zł z czego EkoFundusz dofinansował, w formie dotacji, zakup kolektorów słonecznych wraz z konstrukcją wsporczą o łącznej wartości ok. 5,5 mln zł.

Dziedzina produkcji energii elektrycznej przy wykorzystaniu ogniw fotowoltaicznych (PV) jest reprezentowana w EkoFunduszu przez jeden tylko projekt dotyczący utworzenia na Politechnice Warszawskiej Centrum Fotowoltaiki.

W ramach tego projektu powstała pierwsza w Polsce instalacja PV zintegrowana z budownictwem, o istotnym znaczeniu użytkowym (moc 60 kW na powierzchni modułów PV ok. 600 m²), na fasadzie Gmachu Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Zakres projektu objął ponadto stworzenie laboratorium solarnego dla celów dydaktycznych i badawczych.

3. ANALIZA ZEBRANYCH DOŚWIADCZEŃ

Doświadczenia EkoFunduszu, wynikające z zaangażowania w promocję wdrażania kolektorów słonecznych, pozwalają odnieść się do szeregu wybranych zagadnień, istotnych przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych przez przyszłych użytkowników instalacji słonecznych. Należą do nich:

- Wybór rodzaju kolektora
- **Uzyski energetyczne kolektorów**
- Koszt projektów słonecznych
- Wiarygodność urządzeń do pomiaru ilości ciepła
- Jakość wykonawstwa i wybór wykonawców
- Wpływ inwestycji słonecznych na wizerunek inwestora

3.1. Wybór rodzaju kolektora

Zrealizowane przy udziale EkoFunduszu instalacje posiadają z reguły kolektory płaskie a jedynie w kilku przypadkach zastosowano rurowe kolektory próżniowe. Główną przyczyną znikomego udziału kolektorów próżniowych w projektach słonecznych jest ich wysoka cena, znacznie wyższa od ceny kolektorów płaskich. Jak wskazują rzeczywiste dane uzyskane z eksploatacji kolektorów, różnica tych cen nie znajduje odzwierciedlenia w osiągnięciach kolektorów próżniowych w stosunku do płaskich w skali całego roku.

Prezentowane w materiałach reklamowych uzyski energetyczne kolektorów próżniowych są nawet o kilkadziesiąt procent wyższe od kolektorów płaskich, co jednak nie uzyskało dotychczas potwierdzenia w instalacjach zrealizowanych przy udziale EkoFunduszu.

3.2. Uzyski energetyczne kolektorów

Wielkością bardzo przydatną w ocenie energetycznej instalacji słonecznych jest roczny uzysk ciepła użytkowego, tj. wykorzystanego, odniesiony do jednostki powierzchni kolektora słonecznego, wyrażony np. w GJ/m²*rok.

Informacje uzyskane od użytkowników instalacji słonecznych, oparte na wskazaniach ciepłomierzy, są bardzo zróżnicowane i wskazują, że dla większości tych instalacji uzysk użyteczny nie przekracza $1,7 \text{ GJ/m}^2 \cdot \text{rok}$.

3.3. Koszt projektów słonecznych

W znacznej większości rozpatrywanych w EkoFunduszu projektów koszt inwestycyjny kompletnej instalacji odniesiony do 1 m^2 powierzchni czynnej kolektora słonecznego mieścił się w przedziale $1500\text{-}3000 \text{ zł/m}^2$. Wysokość tego kosztu wynikała z rozstrzygniętych przetargów na wykonawstwo instalacji, przeprowadzonych przez inwestorów zgodnie z ustawą „Prawo zamówień publicznych”.

Koszty eksploatacji prawidłowo użytkowanych instalacji słonecznych są bardzo niskie. Składa się na nie przede wszystkim koszt napędu pomp cyrkulacyjnych oraz koszt okresowej (co kilka lat) wymiany płynu w obiegu cieplnym instalacji. Przy niewłaściwym użytkowaniu instalacji koszty te mogą znacznie wzrosnąć. Dotyczy to np. niepożądanych przerw w odbiorze ciepła z kolektorów, prowadzących do awarii systemu.

Inwestorzy-beneficjenci EkoFunduszu (szkoły, szpitale, DPS-y) nie są zamożni i znikomy koszt eksploatacji sprzyja decyzji o zainstalowaniu kolektorów. Oczywiście wysokość dotacji i jej udział w kosztach inwestycji ma podstawowe znaczenie dla wdrażania projektów słonecznych. Przed rokiem 2005 początkowa oferta dotacji z EkoFunduszu w wysokości do 30% kosztu inwestycji spotkała się ze znacznie mniejszym zainteresowaniem niż po jej korekcie do poziomu 40% (Rys. 1). EkoFundusz nigdy jednak nie wspierał inwestorów indywidualnych dla których, zdaniem autora, warunkiem skutecznej promocji instalacji słonecznych jest min. 50% dotacja. Oznacza to zagrożenie fiaskiem każdego programu wsparcia dla osób fizycznych, który nie spełnia powyższego warunku.

3.4. Wiarygodność urządzeń do pomiaru ilości ciepła

Wspomniane powyżej bardzo duże zróżnicowanie danych dotyczących uzysków jednostkowych ciepła użytecznego (opartych na wskazaniach ciepłomierzy !) uzasadnia konieczność zwrócenia większej uwagi na zagadnienie wiarygodności przyrządów pomiarowych, uznawanych do tej pory za całkowicie obiektywne. Bez wiarygodnych pomiarów tracą sens wszelkie rozważania na temat oceny i porównań różnych rozwiązań solarnych.

W praktyce nie jest możliwe dotarcie do dokumentów potwierdzających prawidłowość wskazań ciepłomierzy. Uzdrawianie tej sytuacji jest możliwe poprzez zapisywanie w dokumentach przetargowych i w umowach z dostawcami/wykonawcami warunków dotyczących konieczności dostarczania inwestorom wraz z urządzeniami odpowiednich certyfikatów uprawnionych podmiotów wraz z wynikami pomiarów kalibracyjnych.

3.5. Jakość wykonawstwa i wybór wykonawców

Jakość wykonawstwa instalacji słonecznej ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia jej właściwego funkcjonowania w okresie wieloletnim (25-30 lat), co przekłada się na maksymalne uzyski energetyczne i minimalne koszty eksploatacyjne oraz skraca tym samym okres zwrotu nakładów inwestycyjnych. Nierzadko zdarza się, że wykonanie instalacji ściśle według dokumentacji projektowej wcale nie zapewnia jej właściwego

działania i w takich przypadkach tylko doświadczony wykonawca potrafi usunąć niedociągnięcia projektowe i ochronić inwestora przed ich kosztownymi skutkami.

Aby uniknąć poważnych kłopotów i rozczarowań, inwestor powinien bardzo wnikliwie sprawdzać referencje oferentów na etapie wyboru wykonawców oraz dopilnować, aby nikt nie eksperymentował jego kosztem. Każdy system solarny powinien być wykonany na podstawie projektu uwzględniającego konkretną lokalizację, usytuowanie kolektorów oraz wskazującego optymalne rozwiązanie instalacji wewnętrznej. Przedstawienie takiego projektu powinno być bezwzględnie i oficjalnie wymagane od oferentów i stanowić warunek ich udziału w przetargu. Obecnie takie postępowanie nie jest, niestety, rozpowszechnione.

3.6. Wpływ inwestycji słonecznych na wizerunek inwestora

Prawidłowo wykonana i funkcjonująca instalacja słoneczna stanowi dla inwestora wieloletnią "wizytówkę" na najwyższym poziomie. Dla lokalnego samorządu, urzędu lub firmy oznacza to dodatkowe korzyści, związane z poprawą wizerunku w kontaktach z partnerami (klientami). Poza tym niezwykle ważny jest aspekt edukacyjny, służący rozpowszechnieniu tej nowatorskiej metody produkcji energii.

4. PODSUMOWANIE

1. Działania EkoFunduszu spowodowały, że w wielu przypadkach realizacja instalacji słonecznych stała się możliwa, wpływając tym samym pozytywnie na rozwój rynku urządzeń słonecznych w Polsce.

2. Potwierdzono w praktyce skuteczność przyjętego przez EkoFundusz poziomu wsparcia dotacją określonych grup inwestorów „słonecznych”. Efektem tego jest inwestycyjny „rozbłysk słoneczny” w końcowym okresie działania Fundacji oraz znaczący udział instalacji dotowanych z EkoFunduszu w bilansie ogólnokrajowym.

3. Przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych przez przyszłych użytkowników instalacji słonecznych celowe jest zwrócenie większej uwagi na jakość wykonawstwa oraz wiarygodność danych dotyczących uzysków użytecznego ciepła słonecznego. Zagadnienia te powinny być uwzględniane w procedurach przetargowych oraz powinny stanowić ważny element negocjacji inwestorów z potencjalnymi wykonawcami instalacji słonecznych.

PROMOTION BY ECOFUND OF THE USE OF SOLAR ENERGY

SUMMARY

Results of EcoFund activities are presented related to implementation and promotion of solar technics in Poland. On the basis of data from many working solar systems selected issues are discussed that are important for potential users of solar installations when taking investment decisions.

Kamil SZKARŁAT, mgr inż.
Tomasz MRÓZ, dr hab. inż. prof. PP

Uniwersytet Adama Mickiewicza
Zakład Informatyki Stosowanej
ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań
e-mail: szkarlat@amu.edu.pl

Politechnika Poznańska
Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza
ul. Piotrowa 3a, 60-965 Poznań
e-mail: tomasz.mroz@put.poznan.pl

ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD OPTYMALIZACJI REGULACJI TEMPERATURY W BUDYNKU PASYWNYM NA PODSTAWIE WYZNACZENIA OBCIĄŻEŃ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono porównanie kilku zintegrowanych systemów wentylacyjno-ogrzewczych w budynku pasywnym. W badaniach skupiono się przede wszystkim na optymalizacji sterowania temperaturą, na podstawie wyliczonych obciążeń pomieszczeniowych. Przedstawione w referacie wyniki dotyczą zmian konfiguracji w samych układach technologicznych (centrala wentylacyjna wraz z systemem wentylacji), jak również w układach pomiarowo-regulacyjnych z różnymi algorytmami sterowania.

1. WSTĘP

Wraz z wprowadzeniem certyfikacji energetycznej budynków mającej przede wszystkim na celu ograniczenie zużycia energii w budownictwie coraz częściej zaczęto projektować i budować tzw. budynki niskoenergetyczne. Jednym z przykładów takich budynków spełniających restrykcyjne normy dotyczące m.in. strat ciepła przez przegrody zewnętrzne, czy też szczelności samego budynku, jest budynek pasywny. Duża redukcja zapotrzebowania na ciepło w takim budynku pozwala na rezygnację z tradycyjnego systemu ogrzewania statycznego – konwekcyjno-promieniowego, na rzecz ogrzewania powietrznego w zintegrowanych systemach wentylacyjno-ogrzewczych. Projektując budynek

ki w takim standardzie lub dokonując termomodernizacji prowadzącej do uzyskania założonych parametrów istniejących już obiektów, zapewnić należy zainstalowanie odpowiednich systemów instalacji wraz ze zoptymalizowanymi algorytmami sterowania. To człowiek i jego odczucia powinny być najważniejsze. Te z całą pewnością będą ściśle korelować z mikroklimatem istniejącym w pomieszczeniu. Optymalny mikroklimat, również w budynku pasywnym, czy nawet w pojedynczym jego pomieszczeniu, możliwy będzie do utrzymania tylko w pełni zintegrowanym systemie wyposażonym w odpowiednie sterowanie.

2. TEMPERATURA JAKO PODSTAWOWY PARAMETR KOMFORTU KLIMATYCZNEGO

Optymalizacja regulacji wymaga przede wszystkim dobrego zidentyfikowania samego obiektu. W przypadku pomieszczeń budynków pasywnych podstawowym zagadnieniem jest utrzymanie określonego występującego w nich mikroklimatu i uwzględnienie wszelkich zakłóceń zewnętrznych oraz wewnętrznych zmieniających parametry oraz dynamikę samego obiektu sterowania.

Jednym z podstawowych celów utrzymania komfortu klimatycznego jest niedopuszczenie do powstania tzw. syndromu chorego budynku (SBS). Będzie to jedynie możliwe przy ścisłej korelacji (również w sterowaniu) pomiędzy wszelkimi składowymi mającymi wpływ na dynamikę samego pomieszczenia, które pod kątem sterowania są obiektami regulacji. Jednym z głównych parametrów, bo będących składową samego komfortu termicznego, jest temperatura [7]. Wpływ na zmianę jej wartości ma wiele składowych, które w ogólnym modelu podzielić można na dwie grupy obciążeń:

- *obciążenia wewnętrzne*: pochodzące od ludzi, od oświetlenia, od maszyn i urządzeń oraz od przenikania z sąsiednich pomieszczeń,
- *obciążenia zewnętrzne*: pochodzące od przenikania przez przegrody nieprzezroczyste, od przenikania przez przegrody przezroczyste, od promieniowania słonecznego przez przegrody przezroczyste oraz wynikające z infiltracji powietrza zewnętrznego (szczelność budynku).

W systemie regulacji temperatury ważnym jest odpowiednie usytuowanie samego czujnika. Bezwzględnie unikać należy umiejscowienia czujnika w tzw. strefie martwej lub w strefie bezpośredniego oddziaływania zakłóceń. Powinien być on zlokalizowany w miejscu, w którym panują warunki reprezentatywne przy pomiarze danej temperatury. Pamiętać należy też o tym, że pomiar temperatury odbywać się może w różnych obwodach i układach. Wspomnieć tutaj można np. stabilizację temperatury tylko w kanale nawiewnym instalacji wentylacyjnej, stabilizację temperatury w odniesieniu do całego budynku, czy stabilizację temperatury w różnych strefach regulacji (w każdym pomieszczeniu osobno). Nie tylko sposób samego pomiaru, ale również regulatory i algorytmy sterowania mają wpływ na stabilność i utrzymanie temperatury na zadanym poziomie. Mogą być to układy regulacji dwustanowej (on/off), regulacji ciągłej (PI, PID), czy samoadaptacyjnej z wykorzystaniem sterowania niekonwencjonalnego (rozmytego, neuronowego).

3. OPIS RZECZYWISTEGO OBIEKTU

Rzeczywisty obiekt badawczy budynku pasywnego znajduje się na terenie kampusu Politechniki Poznańskiej. Jest on parterowym, wolnostojącym budynkiem z podpiwniczeniem, w którym została zainstalowana centrala wentylacyjna. Posiada on 5 pomieszczeń biurowych, łazienkę, toaletę oraz hall.

Poziom parteru po modernizacji samego budynku wykonany został w technologii budownictwa pasywnego, spełniając wszelkie wymagania związane z ociepleniem i uszczelnieniem. W tabeli nr 1 zestawione zostały podstawowe parametry techniczne badanego budynku pasywnego.

Tabela 1. Zestawienie parametrów technicznych badanego budynku pasywnego.

Table 1. The list of parameters of the studied passive building.

Przegrody zewnętrzne (ściany)		Przegrody zewnętrzne (okna)	
Orientacja	Współ. przen. [W/(m ² K)]	Typ okna	Współ. przen. [W/(m ² K)]
Północ	U = 0,10	Aluplast Passiv Haus 6000	U _g = 0,7
Zachód	U = 0,12	Rehau Klima – Design	U _g = 0,6
Południe	U = 0,11	Aluplast Passiv Haus 6000	U _f = 1,1
Wschód	U = 0,12	Rehau Klima – Design	U _f = 0,71
Szczelność budynku: n ₅₀ = 0,6			

4. OBLICZENIA OBCIĄŻEŃ

W przypadku analizy komfortu klimatycznego w budynku pasywnym punktem wyjścia do modelowania mogą być równania bilansu ciepła bazujące na obciążeniach. Zgodnie z VDI2078 obciążenie całego budynku będzie zgodne z równaniem nr 1.

$$\dot{Q}_{KR} = \sum_{j=1}^n \dot{Q}_{KRj}(t) \quad (1)$$

gdzie: \dot{Q}_{KRj} – obciążenia danego j-tego pomieszczenia,
n – ilość pomieszczeń w budynku.

Z kolei na obciążenia danego pomieszczenia składają się obciążenia wewnętrzne (\dot{Q}_I) oraz obciążenia zewnętrzne (\dot{Q}_A). Zależność tę przedstawia wzór nr 2.

$$\dot{Q}_{KR} = \dot{Q}_I + \dot{Q}_A \quad (2)$$

4.1. Obciążenia wewnętrzne

Obciążenia wewnętrzne związane są z wszelkimi procesami zachodzącymi wewnątrz pomieszczenia. Ich uproszczony skład zaadaptowany do potrzeb opisu pomieszczenia biurowego opisuje równanie nr 3.

$$\dot{Q}_I = \dot{Q}_P + \dot{Q}_B + \dot{Q}_M + \dot{Q}_R \quad (3)$$

gdzie: \dot{Q}_P – obciążenia pochodzące od ludzi,

\dot{Q}_B – obciążenia pochodzące od oświetlenia,

\dot{Q}_M – obciążenia pochodzące od maszyn i urządzeń (urządzenia biurowe),

\dot{Q}_R – obciążenia pochodzące od przenikania z poprzednich pomieszczeń,

4.1.1. Obciążenia wewnętrzne pochodzące od ludzi

Obciążenia te związane są z obecnością człowieka w danym pomieszczeniu. Tym samym z emitowaniem ciepła jawnego oraz ciepła utajonego. Współczynnik określający obciążenie pochodzące od ludzi zdefiniowany jest we wzorze nr 4.

$$\dot{Q}_p = n \cdot l_p \cdot q_p \cdot S_i \quad (4)$$

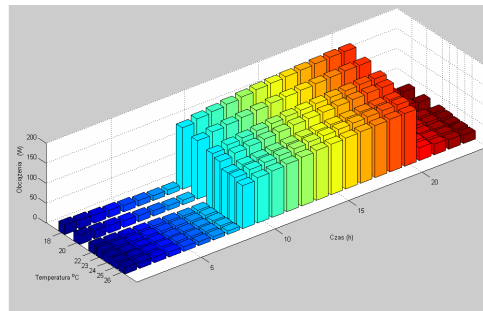
gdzie: n – ilość osób w pomieszczeniu,

l_p – współczynnik jednoczesności przebywania ludzi,

q_p – jednostkowe zyski ciepła od ludzi,

S_i – współczynnik akumulacji.

Przykładowy dobowy wykres symulujący obciążenia pochodzące od 2 osób przy obciążeniu pomieszczenia w godz. 8:00 do 20:00 dla różnych temperatur pomieszczenia przedstawiony jest na rysunku nr 1.



Rys. 1. Symulacja obciążeń pochodzących od ludzi.

Fig. 1. Simulation of load due to occupants.

4.1.2. Obciążenia wewnętrzne pochodzące od oświetlenia

Obciążenia te związane są ze sztucznym oświetleniem głównym oraz pomocniczym w danym pomieszczeniu. Współczynnik określający obciążenie pochodzące od oświetlenia zdefiniowany jest we wzorze nr 5.

$$\dot{Q}_B = P \cdot l \cdot \mu_B \cdot S_i \quad (5)$$

gdzie: P – moc oświetlenia zainstalowanego,

l – współczynnik jednoczesności (udział powierzchni w oświetleniu),

μ_B – współczynnik obciążenia pomieszczenia wynikający z oświetlenia,

S_i – współczynnik akumulacji.

4.1.3. Obciążenia wewnętrzne pochodzące od maszyn i urządzeń

Obciążenia te związane są użytkowaniem wszelkich urządzeń w pomieszczeniu i z emitowaniem ciepła podczas pracy. W analizie obliczeniowej przyjęto model uproszczony dla pomieszczeń biurowych związanych tylko z urządzeniami biurowymi. Dla urządzeń dużych (np. kserokopiarka) lub o dużych mocach (np. czajnik bezprzewodowy) w obliczeniach uwzględniono średnie dobowe zużycie energii (fizycznie zmierzonej tylko dla danego urządzenia). Przyjęte obliczenia tego obciążenia zdefiniowane są we wzorze nr 6.

$$\dot{Q}_M = l \cdot S_i \cdot \sum_{j=1}^n P_j \quad (6)$$

gdzie: P_j – znamionowa moc j-tego urządzenia [W],
 l – współczynnik równoczesności używania urządzeń,
 S_i – współczynnik akumulacji.

4.1.4. Obciążenia wewnętrzne od przenikania z sąsiadujących pomieszczeń

Współczynnik określający to obciążenie zdefiniowany jest we wzorze nr 7.

$$\dot{Q}_R = U_{sp} \cdot A_{sp} \cdot \Delta\theta \quad (7)$$

gdzie: U_{sp} – współczynnik przenikania ciepła dla danej przegrody,
 A_{sp} – powierzchnia danej przegrody,
 $\Delta\theta$ – różnica temperatur pomiędzy pomieszczeniami.

Z racji utrzymywania temperatury w każdym pomieszczeniu budynku pasywnego na tym samym poziomie współczynnik ten nie miał wpływu na całosciowe obciążenia.

4.2. Obciążenia zewnętrzne

Obciążenia zewnętrzne związane są z wszelkimi procesami zachodzącymi na zewnątrz i mającymi wpływ bezpośrednio lub z pewną inercją na dane pomieszczenia. Równanie nr 8 przedstawia wszystkie składowe obciążenia zewnętrznych.

$$\dot{Q}_A = \dot{Q}_W + \dot{Q}_T + \dot{Q}_S + \dot{Q}_{FL} \quad (8)$$

gdzie: \dot{Q}_W – obciążenia pochodzące od przenikania przez przegrody nieprzezroczyste,
 \dot{Q}_T – obciążenia pochodzące od przenikania przez przegrody przezroczyste,
 \dot{Q}_S – obciążenia pochodzące od promieniowania przez przegrody przezroczyste,
 \dot{Q}_{FL} – obciążenia wynikające z infiltracji powietrza zewnętrznego,

4.2.1. Obciążenia zewnętrzne pochodzące od przenikania przez przegrody nieprzezroczyste

Obciążenia te wynikają z przenikania przez zewnętrzne ściany danego pomieszczenia. Współczynnik opisujący zmienne składowe zdefiniowany jest we wzorze nr 9.

$$\dot{Q}_W = U_{pn} \cdot A_{pn} \cdot \Delta\theta_{aq} \quad (9)$$

gdzie: U_{pn} – współczynnik przenikania ciepła dla danej przegrody,
 A_{pn} – powierzchnia przegrody,
 $\Delta\theta_{aq}$ – równoważna różnica temperatur.

4.2.2. Obciążenia zewnętrzne pochodzące od przenikania przez przegrody przezroczyste

Obciążenia te wynikają z przenikania przez okna i ościeżnice danego pomieszczenia. Współczynnik opisujący zmienne składowe zdefiniowany jest we wzorze nr 10.

$$\dot{Q}_T = k_F \cdot A_M \cdot (\theta_{La} - \theta_{LR}) \quad (10)$$

gdzie: k_F – współczynnik przenikania ciepła przez okna,
 A_M – całkowita powierzchnia okna (otworu w ścianie),
 θ_{La} – temperatura powietrza zewnętrznego,
 θ_{LR} – temperatura powietrza w pomieszczeniu.

4.2.3. Obciążenia zewnętrzne pochodzące od promieniowania przez przegrody przezroczyste

Obciążenia te związane są promieniowaniem słonecznym wpadającym do pomieszczenia przez okna. Przyjęte obliczenia tego obciążenia zdefiniowane są we wzorze nr 11.

$$\dot{Q}_S = [A_l \cdot I_{\max} + (A - A_l) \cdot I_{\text{diff},\max}] \cdot b \cdot S_a \quad (11)$$

gdzie: A_l – nasłoneczniona powierzchnia przeszklona,
 A – całkowita powierzchnia przeszklona,
 I_{\max} – maksymalne natężenie promieniowania słonecznego całkowitego w miesiącu obliczeniowym dla danej orientacji geograficznej,
 $I_{\text{diff},\max}$ – maksymalne natężenie promieniowania słonecznego rozproszonego w miesiącu obliczeniowym,
 b – współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego przez okno, uwzględniające rodzaj szkła, liczbę szyb i zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne,
 S_a – współczynnik akumulacji ciepła w przegrodach otaczających.

4.2.4. Obciążenia zewnętrzne wynikające z infiltracji powietrza zewnętrznego

Współczynnik określający to obciążenie zgodnie z EnEV zdefiniowany jest we wzorze nr 12.

$$\dot{Q}_{FL} = \dot{V}_{\text{inf}} \cdot \rho_e \cdot c_{pL} \cdot (\theta_{La} - \theta_{LR}) \quad (12)$$

gdzie: \dot{V}_{inf} – strumień objętości powietrza infiltrującego,
 c_{pL} – ciepło właściwe powietrza,
 ρ_e – gęstość powietrza zewnętrznego,
 θ_{La} – temperatura otoczenia,
 θ_{LR} – temperatura powietrza w pomieszczeniu.

Z racji wentylacji mechanicznej istniejącej w badanym budynku strumień objętości powietrza nawiewanego jest równy strumieniowi powietrza wywiewanego. Z tego powodu strumień powietrza infiltrującego przyjmuje postać zgodną z równaniem nr 13.

$$\dot{V}_{\text{inf}} = V \cdot n_{50} \cdot e \quad (13)$$

gdzie: V – kubatura pomieszczenia/budynku,
 n_{50} – wskaźnik szczelności powłoki budynku,
 e – współczynnik osłonięcia budynku.

4.3. Obciążenia dla poszczególnych pomieszczeń i całego budynku pasywnego

Korzystając z metody obciążeń wyznaczono temperaturowy model matematyczny poszczególnych pomieszczeń oraz całego budynku pasywnego. W pkt. 4.1 oraz 4.2 zamieszczono jedynie podstawowe zależności bez szczegółowych i zaawansowanych symulacji, chcąc jedynie określić kierunek realizowanych badań. W obliczeniu danego modelu korzystano przede wszystkim z metody i danych liczbowych z [1], ale również z [2,3,4,5]. Wyznaczenie danych obciążeń umożliwiło z kolei określenie strumienia objętości nawiewu zgodnie z zależnością 14 [6].

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_k}{c \cdot \rho \cdot \Delta\theta} \quad (14)$$

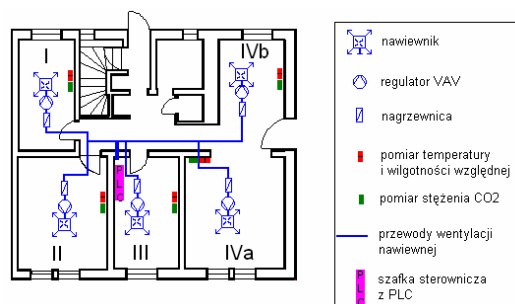
gdzie: \dot{Q}_k – obciążenie danego pomieszczenia, budynku,
 c – ciepło właściwe powietrza,
 ρ – gęstość powietrza.
 $\Delta\theta$ – różnica temperatur.

5. OPIS BADAŃ, WYNIKI POMIARÓW

Przeprowadzone w badaniach symulacyjnych wyznaczenie strumienia objętości nawiewu umożliwiło odpowiednie zaprogramowanie centrali wentylacyjnej. Badania pomiarowe kontroli i utrzymania na zadanym poziomie wartości temperatury przebiegły w dwóch różnych systemach wentylacyjnych:

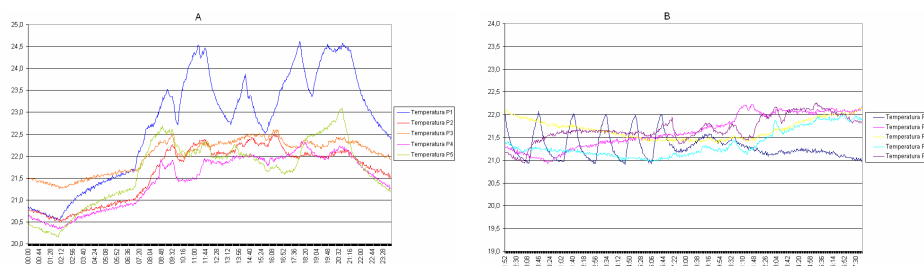
- *pierwszy przypadek* zrealizowany został poprzez ogólny pomiar temperatury w tzw. „miejscu kontrolnym” i następnie poprzez regulację temperatury powietrza nawiewanego do budynku,
- *drugi przypadek* zrealizowany został w systemie regulacji strefowej; budynek na poziomie parteru podzielony został zgodnie z pomieszczeniami biurowymi na 5 stref regulacji; w każdej strefie zainstalowano czujniki pomiarowe oraz lokalne nagrzewnice kanałowe, wraz z miejscowymi regulatorami VAV i nawiewnikami; całym systemem pomiarowo-regulacyjnym sterował odpowiednio zaprogramowany sterownik PLC S7-300; z racji możliwości algorytmicznych realizowano w tym układzie różne rodzaje regulacji miejscowej (dwustanowa, ciągła). Schemat opisywanego systemu przedstawiony jest w sposób symboliczny na rysunku nr 2.

Wyniki przebiegu zmienności temperatury dla przypadku pierwszego oraz drugiego (wraz z różnymi rodzajami regulacji) zamieszczone są odpowiednio na rysunku nr 3a i 3b.



Rys. 2. Sterowanie temperaturą w układzie regulacji strefowej.

Fig. 2. Temperature control in multi-zone control system.



Rys. 3a. Regulacja temperatury w układzie podstawowym.

Rys. 3b. Regulacja temperatury w układzie regulacji strefowej.

Fig. 3a. Temperature control of the primary system.

Fig. 3b. Temperature control in multi-zone control system.

6. PODSUMOWANIE

Celem referatu było przedstawienie możliwości realizacji optymalizacji sterowania temperaturą w pomieszczeniach budynku pasywnego. Zakreślono ogólny kierunek (pkt. 4) możliwości wyznaczenia modeli matematyczno-symulacyjnych bazujących na metodzie obliczania obciążeń, będących źródłem doboru optymalnych parametrów regulacji. Przeprowadzone pomiary walidacyjne dla różnych konfiguracji technologicznych samego systemu przedstawiono w pkt. 5. W układzie z regulacją temperatury tylko w obwodzie nawiewu na podstawie pomiaru temperatury w budynku (przebieg zmienności przedstawiony na rys.3a) niestety nie ma możliwości utrzymania temperatury na zadanym poziomie w każdej ze stref regulacji. Przy odizolowaniu danej strefy poprzez np. zamknięcie drzwi temperatura posiada znaczną histerezę regulacji (przedstawiona na rys.3a Temp. P1). Utrzymanie temperatury w określonym zakresie tolerancji możliwe jest jedynie w przestrzeniach biurowych „open-space” lub przy otwartych drzwiach danego pomieszczenia. W przypadku drugim sterowanie rozdzielono (zgodnie z rysunkiem nr 2) na poszczególne strefy regulacji z kanałowymi nagrzewnicami lokalnymi oraz regulatorami VAV. W układzie tym przeprowadzono pomiary z regulacją dwustanową (przykład na rys.3b, temp. P1 oraz przykładami regulacji ciągłej (np. rys.3b, temp. P3). Wyraźnie widać, że w układzie rozproszonym znacznie ustabilizowano regulację temperatury. Otrzymane

wyniki pomiarów są dobrym prognostykiem do dalszych badań i analiz związanych z optymalizacją utrzymania nie tylko regulacji samej temperatury, ale również komfortu klimatycznego z opisem w równaniach entalpicznych z uwzględnieniem dodatkowo czystości powietrza (np. poprzez pomiar stężenia CO₂).

7. LITERATURA

- [1] VDI-RICHTLINIEN, VDI2078, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln), Düsseldorf 1996,
- [2] Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja, Państwowe Wydawnictwo-Naukowe Warszawa 1980,
- [3] Pełech A.: Wentylacja i klimatyzacja - podstawy, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2008,
- [4] PN-76/B-03420 Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego,
- [5] PN-78/B-03421 Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi,
- [6] Recknagel, Sprenger, Honmann, Schramek: Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, Klimatyzacja, Ciepła woda, Chłodnictwo, Omni Scala, Wrocław 2008,
- [7] Szkarłat K., Mróz T.: Strategia optymalnego sterowania układami utrzymania komfortu klimatycznego w budynku pasywnym, INSTAL 6/2009

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF OPTIMIZATION OF THE TEMPERATURE CONTROL IN THE PASSIVE BUILDING BY THE CALCULATION OF LOAD

ABSTRACT

We present the comparison of some integrated systems of indoor climate control in the so-called passive building. We focus mainly on the optimization of temperature control on the basis of the calculated load. The presented results apply to configuration changes in the technological systems (air handling unit and ventilation system), together with changes in control systems (basic and multi-zone control) and control algorithms.

Robert TOMASZEWSKI¹, mgr;
Jan M. OLCHOWIK^{1,2}, prof. dr hab. inż.;
Jerzy ADAMCZYK^{1,2}, dr inż.

¹Państwowa Szkoła Wyższa
Im. Papieża Jana Pawła II
Instytut Informatyki
ul. Sidorska 95/97 Biała Podlaska
²Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka 38, 30-618 Lublin

ANALIZA KLIMATYCZNA POLSKI POŁUDNIOWO-WSCHODNIEJ A MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII SŁOŃCA.

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z klimatem południowo-wschodniej części Polski. Dokonano charakterystyki możliwości wykorzystania energii słonecznej, jako przyszłościowego źródła ciepła i prądu w warunkach Polski południowo-wschodniej. Analizę przeprowadzono w oparciu o opracowanie własne, jak i stan rozwoju energetyki słonecznej w Niemczech, gdzie panują podobne warunki klimatyczne.

1. WPROWADZENIE

Kończące się konwencjonalne źródła energii zmuszają ludzkość do poszukiwania nowych form pozyskiwania energii, zarówno cieplnej jak i elektrycznej. Różnorodność niekonwencjonalnych źródeł pozyskiwania energii, jak i problemy techniczno-środowiskowe zmuszają do wnikliwej analizy możliwości technicznych wykorzystania poszczególnych jej rodzajów. Wnikliwa analiza klimatyczna i porównanie z już istniejącymi rozwiązaniami w świecie pozwalają dobrać optymalne rozwiązania techniczne dla konkretnych regionów Polski. Energia Słońca - jako najbardziej pierwotna forma energii - jest również najczystsza ekologicznie, co czyni ją najbardziej przyszłościowym źródłem.

2. ANALIZA KLIMATYCZNA POLSKI POŁUDNIOWO WSCHODNIEJ

Polska południowo wschodnia cechuje się klimatem umiarkowanym ciepłym, przejściowym - między morskim i kontynentalnym. Taki typ klimatu wynika z położenia naszego kraju w umiarkowanych szerokościach geograficznych - między 49° a 54° , 5° szerokości geograficznej północnej, w zachodniej części kontynentu Eurazji [1]. Cechy przejściowe wynikają z przemennych wpływów morskich z zachodu i kontynentalnych od wschodu. Klimat w Polsce wykazuje duże zróżnicowanie regionalne, wynikające nie tylko z wpływów oceanicznych i kontynentalnych, ale uzależnione także jest od wpływu ukształtowania powierzchni [1].

W celu scharakteryzowania zasobów energii słonecznej w Polsce przeanalizowano trzy składowe klimatu lokalnego, a mianowicie natężenie promieniowania słonecznego, usłonecznienie i zachmurzenie.

Główne składowe klimatu Polski, mające wpływ na efektywne wykorzystanie energii słonecznej przedstawiają się następująco [2]:

Wiatry – występuje przewaga wiatrów zachodnich, południowo i północno - zachodnich (ok.60%) nad wiatrami wschodnimi, wiatry te powodują napływ wilgotnych, morskich mas powietrza. Im dalej na wschód tym większy wpływ na warunki klimatyczne mają wiatry wschodnie (powietrze kontynentalne znad wschodniej Europy i Azji). W rejonach górskich przeważają tzw. wiatry fenowe (porywiste wiatry wiejące od wierzchołków gór ku dolinom). Wybrzeże z kolei pozostaje pod wpływem bryz (wiatry nadmorskie powstające w wyniku wymiany mas ciepłego i zimnego powietrza między lądem i morzem).

Zachmurzenie - jest ściśle uzależnione od wiatrów, najmniejsze zachmurzenie notuje się zazwyczaj we wrześniu a największe na przełomie jesieni i zimy czyli w listopadzie i grudniu, ilość dni pochmurnych (czyli dni w których średnie zachmurzenie obejmuje około 80% nieba) waha się od 120 (niziny w środkowej części Polski) do 160 dni (góry i pojezierza),

Usłonecznienie, czyli czas bezpośredniego oddziaływania promieni słonecznych na powierzchnię ziemi (zależy od długości dnia i wielkości zachmurzenia), kształtuje się różnie w różnych porach roku, najdłuższy czas usłonecznienia notowany jest w czerwcu, a najkrótszy w grudniu,

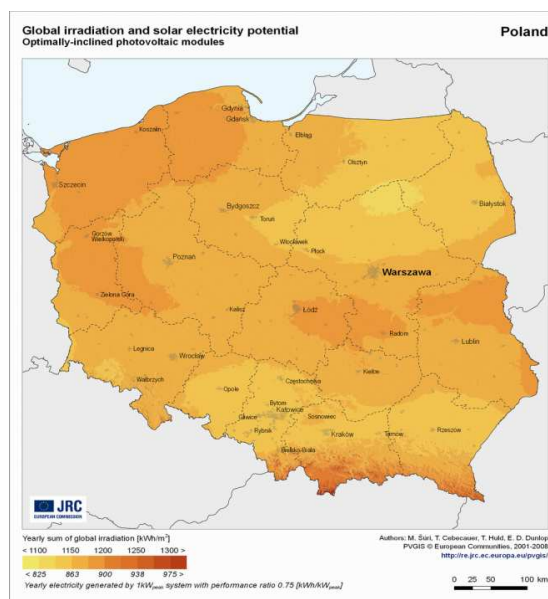
Temperatura - średnia roczna temperatura, z pominięciem chłodnych rejonów górskich, wynosi w Polsce od 6° do 8°C , najcieplejszym miesiącem jest lipiec z temperaturami średnimi rzędu 16° - 19°C , najzimniej jest w styczniu -6° do 0°C ,

Opady - są dosyć zróżnicowane w poszczególnych regionach, średnia roczna wielkość opadów dla całej Polski wynosi około 600 mm, najniższa wartość notowana jest na Kujawach i w części Wielkopolski (poniżej 500 mm), największe opady występują na wyżynach (700 - 800 mm) i w górach (800-1000mm).

W Polsce wyodrębnia się 6 klimatycznych pór roku, zróżnicowanych głównie ze względu na wysokość średnich temperatur Są to: zima, przedwiośnie, wiosna, lato, jesień, przedzimie [2].

Region południowo-wschodniej Polski cechuje się jednymi z najlepszych poziomami nasłonecznienia i usłonecznienia. Średnie roczne zachmurzenie na Lubelszczyźnie jest najniższe w skali kraju i wynosi mniej niż 65%. Ilość promieniowania bezpośredniego

w całkowitym promieniowaniu wynosi średniorocznie na Lubelszczyźnie 52-54%, a w okresie zimowym 40-44%. Średnia roczna temperatura dla Lublina wynosi $7,3^{\circ}\text{C}$, a czas trwania zimy 80-100 dni [2]. Ze względu na małe uprzemysłowienie regionu zanieczyszczenia powietrza utrzymuje się na niskim poziomie. Dzięki wysokiemu poziomowi nasłonecznienia nasz region cechuje się najlepszymi warunkami do wykorzystania energii słonecznej. Można z całą pewnością przyrównać warunki naszego regionu do warunków uśłonecznienia Niemiec, gdzie energetyka słoneczna rozwija się najintensywniej. Nowoczesne technologie, coraz bardziej popularne technologie budownictwa pasywnego, stwarzają zapotrzebowanie na nowe formy dostarczania czystej ekologicznie energii. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w budownictwie ma swoje uzasadnienie ekologiczno-ekonomiczne. Funkcjonowanie takich rozwiązań jest uwarunkowane wielkością zapotrzebowania na energię w obiektach, w których są zastosowane. Zminimalizowane straty energii i określenie dokładnej jej ilości pozwala zastosować odpowiednie rozwiązanie technologiczne. W regionie Polski południowo-wschodniej istnieją dobre warunki klimatyczne do wykorzystania wszystkich form konwersji energii Słońca [3]. Rys.1 przedstawia rozkład nasłonecznienia i potencjału wykorzystania energii Słońca na obszarze Polski.



Rys.1. Rozkład nasłonecznienia i możliwości wykorzystania energetyki solarnej na terenie Polski [3].

Fig.1. Insolation distribution and possibilities of using solar energy on terrains of Poland [3].

Określenie przydatności poszczególnych regionów Polski dla potrzeb energetyki słonecznej opiera się na takich kryteriach jak: liczba godzin ze słońcem, sumy miesięczne

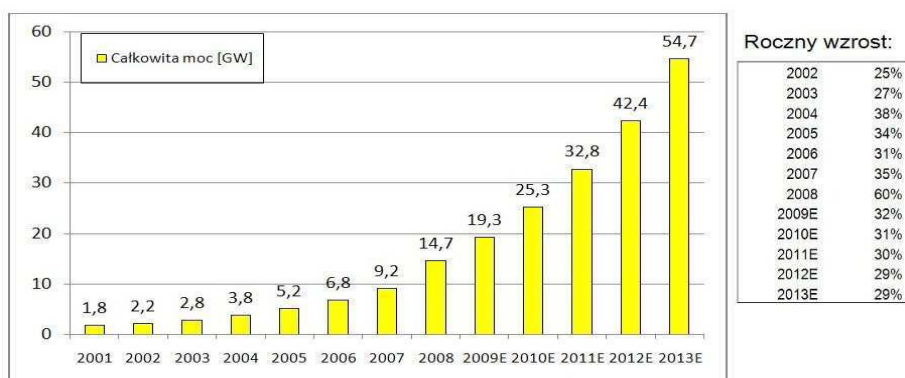
i roczne promieniowania całkowitego, przezroczystość atmosfery (w tym wpływy antropogeniczne), albedo podłoża, długość i czas wystąpienia nieprzerwanych okresów dopływu bezpośredniego promieniowania Słońca oraz ocena warunków lokalnych.

Energia słoneczna ma szereg zalet:

- powszechna dostępność;
- brak negatywnych konsekwencji dla środowiska podczas eksploatacji;
- instalacje fotowoltaiczne (PV) nie starzeją się, po 20-30 latach pracy praktycznie nie obserwuje się wyraźnego spadku mocy;
- minimalny koszt eksploatacji;
- zmniejsza uzależnienie od dostawców energii.

Energię słoneczną można wykorzystywać na wiele sposobów, zarówno do ogrzewania, jak i do produkcji prądu elektrycznego. Wykorzystuje się zarówno pasywną konwersję fototermiczną jak i konwersję fotowoltaiczną [4]. Technologia ogniw słonecznych pozwala na przetwarzanie promieniowania słonecznego bezpośrednio na energię elektryczną. Obecnie ogniwa fotowoltaiczne wykonuje się głównie z półprzewodników. Są to głównie fotoogniwa na bazie krzemu. Charakteryzują się one stabilnością pracy, długą żywotnością oraz niezawodnością. Nawet ogniwa zainstalowane 30 lat temu nie wykazują zwykle znaczącego spadku mocy, produkując ponad 90% pierwotnie wytwarzanej energii.

Obecnie energia słoneczna jest marginalnym źródłem energii w Polsce, ale odnotowuje się bardzo szybki przyrost mocy produkowanych ogniw słonecznych głównie w Europie. Do roku 2006 było to 30% rocznie, w 2007 roku, na fali wzrastających cen paliw kopalnych, moc zainstalowanych paneli słonecznych wzrosła nawet o 60% [5]. W czasie obrad 23 Europejskiej Konferencji Fotowoltaicznej, która odbyła się na początku września 2008 r. w Walencji, postawiono za cel osiągnięcie 12% poziomu produkcji energii elektrycznej z modułów fotowoltaicznych w Europie w roku 2020 [7], co odpowiada 210÷420 TWh (175÷350 GW zainstalowanej mocy w systemach PV). Rys.2 pokazuje dynamikę przyrostu mocy fotowoltaicznej od roku 2001 [8].

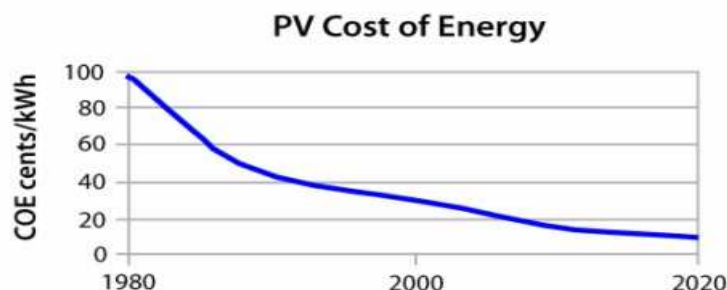


Rys.2. Całkowita moc zainstalowanych systemów PV na świecie w latach 2001 – 2013 (od roku 2009 – prognoza) [8].

Fig.2 The total installed power of PV systems in the world in the years 2001 – 2013 (from the year 2009 – forecast) [8].

Odpowiednia polityka podatkowa państwa może sprzyjać rozwojowi energii produkowanej ze źródeł odnawialnych. Dobrym przykładem są tu Niemcy, które taką politykę zapoczątkowały, wprowadzając tzw. taryfę stałą (feed-in-tariff). Moc zainstalowanych w Niemczech elektrowni fotowoltaicznych wzrosła ze 100 MW w roku 2000 do 4150 MW w roku 2007 (porównywalne z mocą największej polskiej elektrowni w Bełchatowie) [6]. W 2007 roku w Niemczech ogniwa fotowoltaiczne wyprodukowały 3.5 TWh prądu (czyli 0,6% z całkowitych 636 TWh). Polska produkuje 159 TWh prądu rocznie, czyli niemieckie ogniwa dałyby dla Polski około 2,2% całkowitej produkcji energii elektrycznej) [5]. Klimat Polski nie jest tak sprzyjający, jak w krajach południowych, ale warunki pogodowe są bardzo zbliżone do występujących w Niemczech, a korzystniejsze niż w Skandynawii. Z ekologicznego punktu widzenia energia promieniowania słonecznego jest najbardziej atrakcyjną spośród energii odnawialnych. Jej pozyskiwanie nie powoduje żadnych efektów ubocznych, szkodliwych emisji, czy zubożenia zasobów naturalnych, a instalowanie urządzeń głównie na obiektach architektonicznych czy terenach marginalnych, nie wpływa zasadniczo na krajobraz.

Wraz z postępem technologii i wzrostem wolumenu produkcji spadają ceny ogniw. W roku 1970 cena 1 kWh energii z paneli słonecznych wynosiła 8 dolarów, w roku 2001 było to już 40 centów, a w 2007 cena spadła do poziomu 20-25 centów, co obrazuje Rys.3 [6].



Rys.3 Koszt produkcji energii elektrycznej z modułów fotowoltaicznych od roku 1980 do (szacunkowo) roku 2020 [6].

Fig.3 The cost of electricity production from photovoltaic modules from 1980 to 2020.

Obecnie produkcja energii ze Słońca jest 2-3 krotnie droższa od paliw kopalnych. Szacuje się, że ogniwa słoneczne staną się ekonomicznie konkurencyjne w energetyce po 2020 roku i od tego czasu zaczną się ich intensywny wzrost jako źródła energii na skalę przemysłową. Spadający koszt produkcji energii fotowoltaicznej jest olbrzymią szansą zastosowania tego źródła szczególnie w Polsce południowo-wschodniej. Wzrost zainteresowania nowymi technologiami może spowodować jeszcze szybszy rozwój. Najprostszym rozwiązaniem są efektywniejsze sposoby użycia materiałów fotowoltaicznych, np. zainstalowanie systemu zwierciadeł obrotowych, które nastawiają się automatycznie, tak aby skupić światło na małych panelach słonecznych i w ten sposób wykorzystać jak najwięcej energii słonecznej przy niskim koszcie samych paneli. Obecnie bardzo rokująco przedstawiają się układy hybrydowe (połączenie kolektorów z fotomodułami). Takie

rozwiązanie jest stosowane w Instytucie Fizyki Politechniki Lubelskiej już od roku 2004. Hybrydowe połączenie kolektorów słonecznych i paneli fotowoltaicznych przynosi korzyść dla obu rodzajów konwersji energii słonecznej [9].

Z punktu widzenia ekologiczno – ekonomicznego najkorzystniejsze jest wykorzystywanie kolektorów w systemach przygotowania ciepłej wody użytkowej i ogrzewania wody w basenach kąpielowych. Inne zastosowania to pielęgnacja zwierząt, podlewanie roślin w szklarniach, przygotowanie pasz i wody technologicznej w małych zakładach przetwórstwa rolno - spożywczego czy ogrzewanie wody w stawach rybnych. Poza kolektorami cieczowymi istnieją także kolektory słoneczne powietrzne. Są one budowane zwykle sposobem gospodarczym i z tego względu umykają statystykom. Ich główne zastosowanie, to suszenie roślin, ziarna, drewna i materiałów budowlanych, a niekiedy też regulacja mikroklimatu w przechowalniach produktów rolnych, ogrzewanie pomieszczeń inwentarskich, hal, magazynów, szklarni, tuneli foliowych i budynków mieszkalnych. Szczególnie korzystnie kolektory słoneczne wypadają przy połączeniu z technologią budynków pasywnych.

Obecnie w Polsce wykorzystanie konwersji fototermicznej, a tym bardziej fotowoltaicznej jest ciągle na bardzo niskim poziomie. Warunki klimatyczne pozwalają na znaczny wzrost zastosowania tego czystego źródła pozyskiwania energii zarówno cieplnej jak i elektrycznej. Dodatkowo zgodnie ze stanem środowiska małe zanieczyszczenie powietrza w strefie województwa lubelskiego przyczynia się do lepszych możliwości efektywniejszego wykorzystania zarówno kolektorów, jak i modułów fotowoltaicznych.

W celu określenia optymalnych warunków konwersji energii Słońca, w naszych badaniach prowadzony jest ciągły monitoring składu atmosfery zarówno w pobliżu eksperymentalnego systemu hybrydowego konwersji promieniowania słonecznego, jak i w regionie Lubelszczyzny, jako szczególnego miejsca do stosowania tego typu rozwiązań. Stan atmosfery zasadniczo dzieli się na 3 klasy czystości [2]:

- klasa A – jeżeli stężenia substancji na terenie strefy nie przekraczają odpowiednio poziomów dopuszczalnych, poziomów docelowych, poziomów celów długoterminowych;
- klasa B – jeżeli stężenia substancji na terenie strefy przekraczają poziomy dopuszczalny lecz nie przekraczają poziomów dopuszczalnych powiększonych o margines tolerancji;
- klasa C - jeżeli stężenia substancji na terenie strefy przekraczają poziomy dopuszczalny powiększony o margines tolerancji, w przypadku gdy margines tolerancji nie jest określony – poziomy dopuszczalny, poziomy docelowy, poziomy celów długoterminowych.

Poziom zanieczyszczeń w poszczególnych częściach województwa lubelskiego przedstawia Tab.1.

Stan zanieczyszczeń atmosfery poszczególnymi związkami waha się w zależności od pory roku. W okresie grzewczym wzrasta poziom zanieczyszczeń emitowanych z ciepłowni i domowych systemów grzewczych, w których wykorzystuje się głównie paliwa kopalne. Dokładniejszą analizę wybranych zanieczyszczeń i temperatury powietrza w pobliżu stanowiska badawczego przedstawia rys.4. Pomiary zostały wykonane przy użyciu stacji monitorującej szwedzkiej firmy „OPSIS AB”, która jest zamontowana na

teren Politechniki Lubelskiej. Stacja działa od 2006 roku i mierzy zanieczyszczenia w pobliżu eksperymentalnej instalacji hybrydowej energetyki słonecznej Politechniki Lubelskiej. Dzięki spektralnej analizie powietrza możliwe stało się dokładne oszacowanie wpływu czynników środowiskowych na wydajność układów fotowoltaicznych.

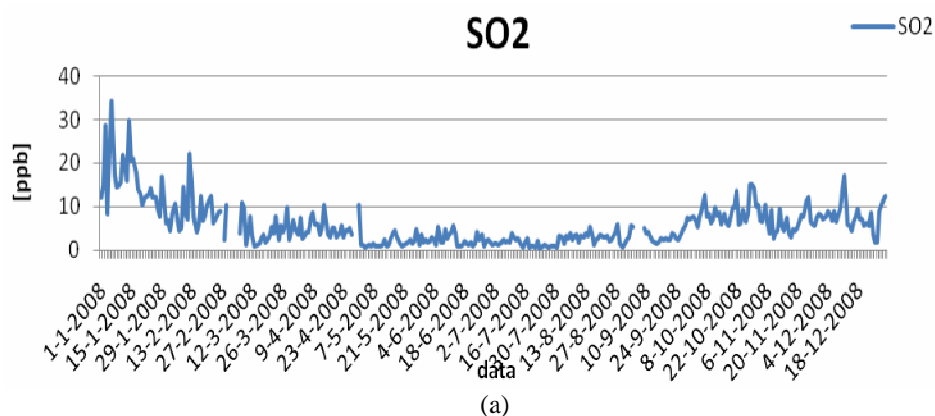
Tab.1. Stan powietrza w strefie Lubelszczyzny [2].

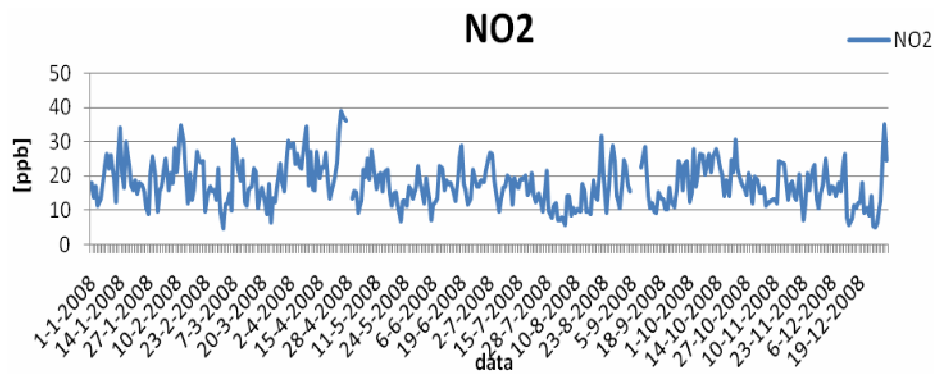
Tab.1. Air quality in the zone of Lublin region [2].

Lp	Nazwa strefy									
		C6H6	SO2	NO2	PM10	CO	Pb	Cd	Ni	B/ą/p
1	Aglomeracja lubelska	A	A	A	C	A	A	A	A	A
2	m. Biała Podlaska	A	A	A	C	A	A	A	A	A
3	m. Chełm	A	A	A	C	A	A	A	A	A
4	m. Zamość	A	A	A	C	A	A	A	A	A
5	białsko-radzyńska	A	A	A	A	A	A	A	A	A
6	biłgorajsko-zamojska	A	A	A	A	A	A	A	A	A
7	chełmsko-krasnostawska	A	A	A	A	A	A	A	A	A
8	lubelsko-puławska	A	A	A	A	A	A	A	A	A
9	łęczyńsko-włodawska	A	A	A	A	A	A	A	A	A

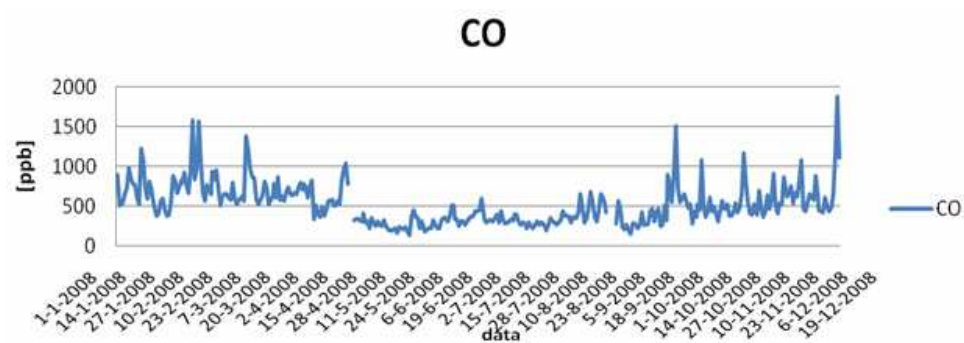
Strefy o klasie A – głównym celem działań jest utrzymanie jakości powietrza na tym samym lub lepszym poziomie,

Strefy o klasie C - niezbędne jest opracowanie i wdrażanie programu ochrony powietrza w zakresie danego zanieczyszczenia.

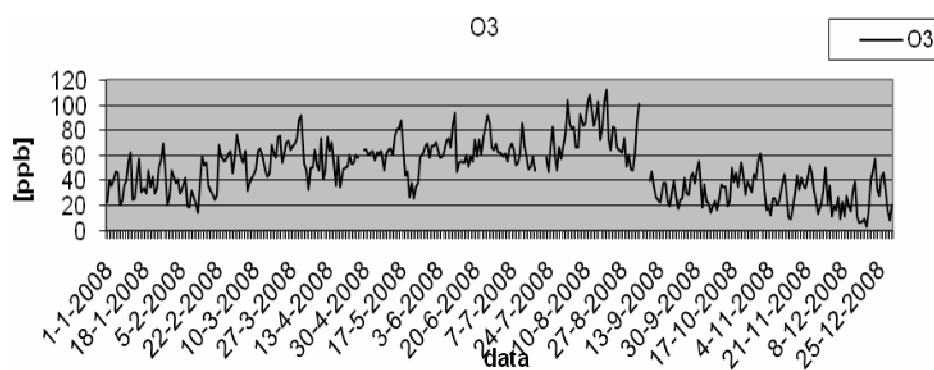




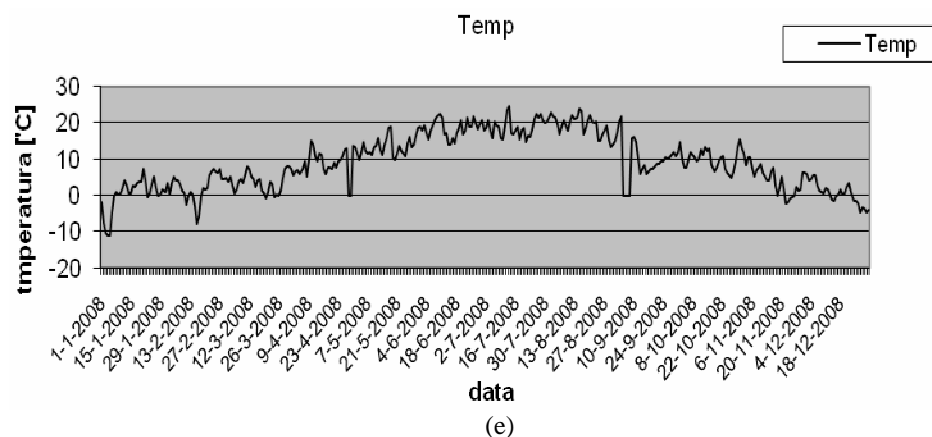
(b)



(c)



(d)



Rys.4. Zmiana poziomu zanieczyszczeń w 2008r. na podstawie pomiarów stacji OPSIS: a) – zawartość SO_2 w atmosferze, b) – zawartość NO_2 w atmosferze, c) – zawartość CO w atmosferze, d) – zawartość O_3 w atmosferze, e) – wahania temperatury w pobliżu stacji OPSIS.

Fig.4. Change in pollution level in 2008 developed on the measurements by OPSIS station: a) – SO_2 level in atmosphere, b) – NO_2 level in atmosphere, c) – CO level in atmosphere, d) – O_3 level in atmosphere, e) temperature oscillation near OPSIS station.

Niewielki poziom zanieczyszczeń nie zakłóca w znacznym stopniu widma promieniowania słonecznego docierającego do regionu Polski południowo – wschodniej, a stosunkowo duże nasłonecznienie wpływa pozytywnie na możliwość stosowania energii Słońca jako źródła energii przyszłości.

3. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie energii Słońca jest możliwe niemal na terenie całej Polski. Jednak region południowo – wschodni daje szczególnie dobre możliwości do wykorzystania tej formy energii niekonwencjonalnej. Spadek cen produkcji modułów i kolektorów słonecznych daje możliwość zastosowania ich na coraz szerszą skalę. Warunki klimatyczne tej części Polski, jak również małe zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego, pozwalają za przykładem Niemiec stosować energię fotowoltaiczną w szerokim zakresie. Zastosowanie układów hybrydowych dodatkowo zwiększa efektywność konwersji fototermicznej i fotowoltaicznej.

4. LITERATURA

- [1] Atlas klimatu Polski pod redakcją Haliny Lorenc, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2005.
- [2] Raport o stanie środowiska woj. lubelskiego w 2008 r.
- [3] <http://www.energialubelszczyzny.pl>
- [4] W. M. Lewandowski, Proekologiczne odnawialne źródła energii, 2006.
- [5] <http://ziemianarozdrozu.pl>

- [6] H. Laukamp, Get connected: PV on the grid, Renewable Energy World, January 2008.
- [7] D. Appleyard, Rising the Sun – PV sector shines in Spain, Renewable Energy World Magazine, Volume 11, Issue 6, November/December 2008.
- [8] EPIA – Press Realease „2008: an exceptional year for the Photovoltaic Market”, 20.03.2008.
- [9] J.M. Olchowik, S. Gułkowski, R. Tomaszewski, J. Adamczyk, G. Olchowik, K. Cieślak, Analiza 4-letniej eksploatacji solarnych układów hybrydowych Instytutu Fizyki Politechniki Lubelskiej, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 252, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z.47, 2008, s. 297.

CLIMATIC ANALYSIS OF SOUTH-EAST POLAND AND POSSIBILITIES OF USING SOLAR ENERGY

SUMMARY

This paper presents issues related to the climate of south-eastern Poland. Characteristics of possibilities of using solar energy has been conducted, as prospective heat and power source in south-eastern Poland conditions. The analysis was done on the basis of our own research and the state of development of solar energy in Germany, where climatic conditions are similar.

Zbigniew TURLEJ, dr inż.

Instytut Elektrotechniki

Zakład Techniki i Promieniowania Optycznego

ul. Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa

e-mail: z.turlej@iel.waw.pl

PROZDROWOTNE ŚRODOWISKO ŚWIETLNE WE WNĘTRZU

STRESZCZENIE

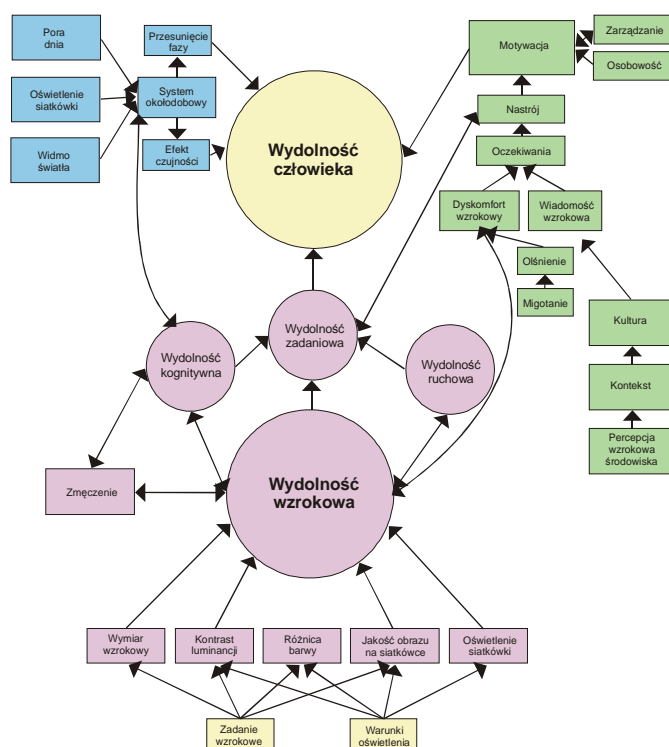
W referacie przedstawiono efekty biologicznego oddziaływania światła na ludzi oraz postęp w międzynarodowych pracach normalizacyjnych w tej dziedzinie. Następnie omówiono przykłady prozdrowotnych rozwiązań oświetlenia opracowane w Zakładzie NTS Instytutu Elektrotechniki. Są to innowacyjne rozwiązania, które mogą przyczynić się do przyszłego rozwoju przemysłu oświetleniowego w Europie.

1. WSTĘP

Gdy chcemy opisać biologiczne oddziaływania światła na ludzi to konieczne staje się kompleksowe ujęcie zagadnienia, tj. równoległe naszkicowanie problemów związanych z wydolnością widzenia, biologią i percepcją. Wówczas rola czynników biologicznych w oświetleniu staje się właściwie ujęta i lepiej zrozumiała. Takie ujęcie tematu przedstawia model (rys. 1) wpływu zadania wzrokowego i warunków oświetlenia na wydolność człowieka, wg [1]. W modelu wyodrębniono podstawowe bodźce i reakcje, wydolność wzrokową z elementami oraz trzy szlaki oddziaływań oświetlenia skoncentrowane wokół systemu wzrokowego, biologicznego i percepcyjnego. Szlaki te prowadzą do wydolności człowieka, rozumianej tutaj jako biologiczna zdolność organizmu człowieka do wykazywania skutecznej adaptacji do różnych zadań wzrokowych i warunków oświetlenia w środowisku. Opis ten, zawierający 34 oddziaływania i 7 interakcji, ma szczególne znaczenie dla rozwoju technik i systemów oświetlenia, ponieważ m.in. ujmuje kompleksowo nowe biologiczne podstawy techniki świetlnej. Podstawy te stają się przesłanką do kształtowania prozdrowotnego środowiska świetlnego we wnętrzu. Wybrane przykłady modelowych, prozdrowotnych rozwiązań opisano w punkcie trzecim.

2. SYSTEM BIOLOGICZNY

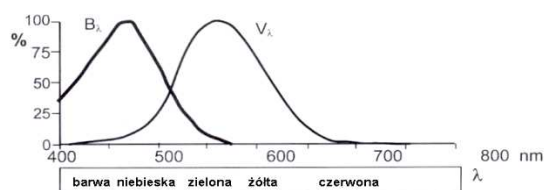
Podobnie jak system wzrokowy, system biologiczny rozpoczyna swoje funkcjonowanie w oku, jednakże nie przenosi informacji bezpośrednio do kory wzrokowej. Po opuszczeniu oka sygnały przechodzą przez RHT (retinohypothalamic tract) do SCN (suprachiasmatic nuclei), następnie przez PVN (paraventricular nucleus) i szczyjny zwój nerwowy do szyszynki.



Rys. 1. Model wpływu zadania wzrokowego i warunków oświetlenia na wydolność człowieka z wyodrębnionymi trzema szlakami oddziaływań i interakcji, skoncentrowanymi wokół systemu wzrokowego (centrum), biologicznego (lewa strona) oraz percepcyjnego (prawa strona). Strzałki jednokierunkowe oznaczają oddziaływanie od bodźca do efektu, natomiast strzałki dwukierunkowe oznaczają interakcje, wg [1].

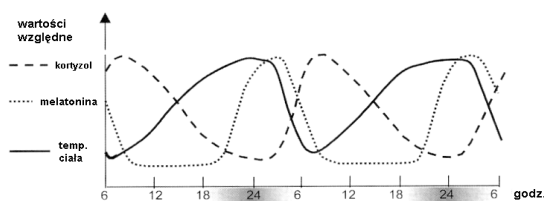
W ciemnościach szyszynka syntetyzuje dokrewny hormon snu – melatoninę. Anatomiczne połączenie między okiem i szyszynką określane jest jako oś RHP (retinohypothalamic-pineal). Położenie osi RHP w śródmózgowiu i w pniu mózgu przemawia za poglądem, że oś ta rozwinięta została we wczesnym stadium ewolucji człowieka i występuje również w znaczenie prostszych formach życia. Główna różnica między prostymi formami życia i naczelnymi, szczególnie ludźmi, polega na tym, że u prostszych form życia fotoreceptory światła mogą być rozmieszczone w wielu różnych

częściach ciała, również bezpośrednio w szyszynce. U ludzi odkryto niedawno nowe fotoreceptory w siatkówce, które przekazują sygnały do szyszynki (rys. 2). Fotoreceptory te wykazują maksymalną czułość na promieniowanie niebieskie w zakresie od 460 do 465 nm. Podczas tego przekazu nie zachodzi lokalizacja na siatkówce miejsca pochodzenia tych sygnałów. Zatem w tym przypadku siatkówka działa jak prosta fotokomórka.



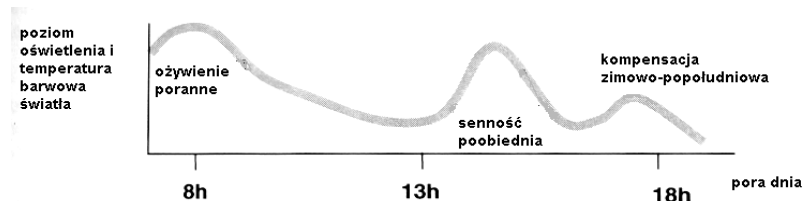
Rys. 2 Widmowe krzywe czułości: B_{λ} - nowe fotoreceptory, V_{λ} - czopki, wg [12]

Oznacza to, że bodźcami dla systemu okołodobowego są spektrum światła i oświetlenie siatkówki. Z kolei czynniki te ukształtowane są przez zewnętrzne warunki oświetlenia związane z widmem danego źródła światła, rozkładem światła, spektralnymi współczynnikami odbicia powierzchni w przestrzeni, spektralnymi współczynnikami przepuszczania środków optycznych oraz kierunkami obserwacji. Istotnym bodźcem dla systemu okołodobowego jest również stan hormonalny organizmu człowieka związany z porą dnia. System okołodobowy wpływa na dwa czynniki: przesunięcie fazy i efekt czujności oraz wchodzi w interakcje wydolnością kognitywną. Przesunięcie fazy polega na efekcie przyspieszenia lub opóźnienia rytmu okołodobowego poprzez ekspozycję człowieka na jasne światło w określonym czasie, natomiast efekt czujności związany jest z ograniczeniem melatoniny przy jasnym oświetleniu w nocy. Przesunięcie fazy i efekt czujności w znaczący sposób mogą oddziaływać na wydolność człowieka. Wiedza o tym jak warunki oświetlenia mogą wpływać na wydolność człowieka poprzez system okołodobowy została znacznie rozwinięta w ostatnich latach. Na rys. 3 przedstawiono zmiany kortyzolu, melatoniny i temperatury ciała w cyklu okołodobowym [12].



Rys. 3 Rytmy okołodobowe kortyzolu (hormonu stresu), melatoniny (hormonu snu) oraz temperatury ciała, wg [12].

Okołodobowy rytm zmian hormonalnych stał się przesłanką do tworzenia biodynamicznej koncepcji oświetlenia. Dotychczasowe zasady statycznego oświetlenia ustępują przed zasadami biodynamicznego oświetlenia, których charakter przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 Biodynamiczna koncepcja zmian poziomu oświetlenia i barwy światła we wnętrzu, wg[12]

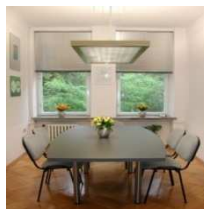
System okołodobowy u człowieka, ukształtowany ewolucyjnie, funkcjonuje w naturalnym rytmie dziennych zmian intensywności i barwy światła oraz dobowych zmian światła i ciemności. Ostatnio ważnym wydarzeniem związanym z funkcjonowaniem systemu biologicznego stało się opublikowanie dwóch dokumentów: CEN/TC 169 N 0784 [2] i DIN V 5031-100[3]. Pierwszy dokument jest propozycją opracowaną przez grupę roboczą FNL 27 przy DIN składającą się z przedstawicieli naukowych i przemysłowych organizacji oświetleniowych w Niemczech, Austrii, Szwajcarii i Holandii. Propozycja ta przygotowana jest dla Komitetu Normalizacyjnego CEN/TC 169 i dotyczy uwzględniania w normalizacji wpływu efektów światła na człowieka, które powstają w wyniku biologicznych oddziaływań poprzez „trzeci fotoreceptor” (intrinsic photosensitive ganglion cells). Naukowe dowody funkcjonowania trzeciego receptora zaowocowały licznymi wynikami badań. Chronobiologia, medycyna snu i nauki związane o człowieku ukazały w naukowy i nowy sposób, jak światło wpływa na życie codzienne ludzi w wielu codziennych sytuacjach. Jak dotychczas przemysł oświetleniowy nie podjął starań aby zdefiniować nowe wymagania dla instalacji oświetleniowych, które mogłyby funkcjonować równolegle z istniejącymi normami określającymi warunki widzenia i efektywność energetyczną. W opracowanej już normie DIN V 5031-100 Fizyka i technika świetlna promieniowania optycznego – Część 100: Wpływ nie wzrokowych efektów światła widzialnego na ludzi – Wielkości, symbole i widma działania podano i określono podstawowe charakterystyki nie-wzrokowych (biologicznych) efektów światła. W normie m.in. wyróżniono pięć typów nie-wzrokowych (biologicznych) efektów światła: nocna supresja melatoniny, przesunięcie fazy okołodobowej, zmiana amplitudy okołodobowej, aktywacja światłem, terapia sezonowego obniżenia nastroju (SAD). Aktualnie grupa FNL 27 podejmuje pracę nad kolejną normą DIN V 5031 101, której celem jest rozwój takich wymagań oświetleniowych dla opraw i ich zastosowań we wnętrzach, aby było możliwe uwzględnianie efektów nie wzrokowych (biologicznych) i wzrokowych równocześnie. Wówczas na większą skalę stanie się możliwe rozpowszechnianie wiedzy o roli prozdrowotnych systemów oświetlenia. Rozwiązania te będą miały podstawowy wpływ na przyszły rozwój przemysłu oświetleniowego w Europie. W rozdziale piątym przedstawiono wybrane modele oddziałujących biologicznie systemów oświetlenia, opracowanych w Instytucie Elektrotechniki.

3. ELEMENTY PROZDROWOTNEGO ŚRODOWISKA ŚWIETLNEGO

Literatura na temat elementów prozdrowotnego środowiska świetlnego jest dość bogata. W bibliografii podano jedynie kilka istotnych pozycji [1,2,6,10,11,12]. Niżej przedstawiono wybrane modelowe systemy oświetlenia z oddziaływaniami biologicznymi, które zostały opracowane w Instytucie Elektrotechniki. Systemy te dotyczą różnych aspektów oświetlenia: depresji, animacji, snu, orientacji i wieku człowieka.

3.1. PROFILAKTYKA DEPRESJI SEZONOWEJ

Współczesny człowiek cierpi na niedobór światła w ciągu dnia, szczególnie w sezonie jesienno-zimowym. Często w pracy ludzie przebywają w miejscach bez dostatecznego dostępu do światła dziennego, a zimą dojeżdżają i wracają, gdy jest ciemno. Sztuczne oświetlenie w pracy rzadko przekracza 500 luksów, gdy tymczasem dzienne oświetlenie na zewnątrz, wynosi od kilku do kilkudziesięciu tysięcy luksów. W ten sposób powstaje cywilizacyjny niedobór światła dziennego, który m.in. zakłóca naturalny okołodobowy rytm aktywności i snu człowieka. W przypadku cywilizacyjnego niedoboru światła, dzienne poziomy melatoniny stają się nadmiernie wysokie i to często staje się przyczyną złego nastroju oraz może inicjować proces depresji sezonowej. Oświetlenie antydepresyjne powstaje wtedy, gdy rano przez kilkadziesiąt minut, zapewnia się dostatecznie intensywne oświetlenie, co najmniej 1000 luksów na twarzy, które skutecznie ogranicza ilość melatoniny we krwi. Opracowano dwa modelowe systemy zlokalizowanego oświetlenia antydepresyjnego: zintegrowany ze stolikiem oraz zainstalowany nad stołem (zdj.1).



Zdj.1 Systemy oświetlenia antydepresyjnego: Feniks 85/SW zintegrowany ze stolikiem (z lewej) oraz Feniks R 858 nad stołem (z prawej). W obu przypadkach uzyskujemy co najmniej 1000 luksów na twarzy człowieka, wg [11]

3.2. ANIMACJE BARWNYM ŚWIATŁEM

Aktualnie definicja funkcji sztucznego oświetlenia w miejscu publicznym ulega znacznemu rozszerzeniu. Oprócz znanych i zdefiniowanych w normalizacji wymagań wzrokowych, pojawiają się animacje barwne. Dyskusyjne pozostają techniki pomiaru wrażeń (w tym emocjonalnych) wywoływanych przez oświetlenie. Niezależnie od problemów metodologicznych, badacze podzielają aktualnie pogląd, że niezmiennie sztuczne oświetlenie wywołuje niekorzystne wrażenia monotonii, natomiast pozytywne emocje wywołują animacje barwnym światłem jako uzupełniający czynnik w oświetleniu. Aktualnie, w związku z rozwojem systemów LED, obserwujemy na świecie jakby wysyp nowych propozycji animacji barwnym światłem we wnętrzach. Najbliższe lata rozstrzygną, które rozwiązania odniosą sukces.



Zdj. 2. System Wieża jest wolnostojącą konstrukcją przeznaczoną do animacji barwą we wnętrzach biurowych typu otwarta przestrzeń. Założono, że tutaj animacja ta zachodzi w strefie obwodowej wnętrza – dlatego opracowano system wolnostojący, który znajduje się w szerokim polu widzenia. Widoczne są trzy etapy podstawowych animacji barwnych (czerwona, zielona i niebieska), żółta i inne barwy powstają jako efekt mieszania barw, wg[11].

3.3. POPRAWA JAKOŚCI SNU

Dobra jakość snu w nocy jest możliwa tylko w pełnej ciemności. Ważne więc jest, aby światło z ulicy nie wnikało do naszej sypialni. Niestety, często zdarza się agresywne wnikanie światła sztucznego przez okna do wnętrz budynków mieszkalnych. Gdy wstajemy na chwilę i potrzebujemy oświetlenia do celów orientacji, to wystarczy nam łagodne, miodowe światło LED, które nie zakłóca snu, możliwa jest również terapia snu światłem niebieskim LED (zdj.3).



Zdj.3. Oprawa Feniks 85/LED (lewa strona) umożliwia korzystanie z białego antydepresyjnego oświetlenia lub łagodnego miodowego światła 530 nm, które nie zakłóca snu i umożliwia orientację w nocy. Urządzenie Bluedream (prawa strona) daje ok. 30 luksów niebieskiego światła 470 nm. Gdy późnym popołudniem światło to stosowane jest przez godzinę razem z normalnym oświetleniem - wówczas wzrasta się wydzielanie melatoniny w godzinach nocnych co poprawia sen, wg[11].

Nadmierna ilość sztucznego światła w nocy zakłóca sen i wówczas to może niekorzystnie wpływać na naszą aktywność dzienną, powodować rozdrażnienie, zaburzenia koncentracji, osłabienie pamięci, być przyczyną senności podczas dnia oraz zaburzać okołodobowy rytm aktywności i odpoczynku.

3.4. ORIENTACJA W PRZESTRZENI WNEȚRZA

Obecna, zurbanizowana cywilizacja (ponad 50% wszystkich ludzi mieszka w miastach) „zabija” naturalną potrzebę orientacji co do stron świata. Jakże często, np. w wielkich centrach handlowych, oderwani od kontaktu z naturalnym środowiskiem, czujemy się zdezorientowani i zagubieni. System orientacji w przestrzeni wneȚrz „Kompas” w prosty i czytelny sposób jest w stanie ten problem rozwiązać poprzez wprowadzenie barwnej orientacji co do stron świata. Wydaje się, że człowiek wkraczający do otwartej

przestrzeni wnętrza (mniej lub bardziej świadomie) zaczyna odczuwać potrzebę naturalnej orientacji przestrzennej. Najczęściej otwartą przestrzeń we wnętrzu zaczynamy odczuwać wówczas, gdy w polu widzenia zaczyna dominować widok powierzchni poziomych. Natomiast dominanta powierzchni pionowych w polu widzenia jest charakterystyczna dla przestrzeni zamkniętych we wnętrzu. Podstawowym warunkiem skutecznego funkcjonowania systemu Kompas jest jego właściwa orientacja barw względem stron świata oraz pełny (nieosłonięty) widok w otwartej przestrzeni wnętrza.



Zdj.4 System Kompas jest propozycją stworzenia sztucznej, barwnej orientacji przestrzennej określającej strony świata (niebieski - północ , żółty - południe, zielony - wschód i czerwony – zachód) we wnętrzach.

Rozpoznawalność systemu może być wzmocniona poprzez zastosowanie wielopunktowych (dyskretnych, a nie ciągłych) sygnałów barwnych. Wówczas efekt kontrastu wielopunktowej barwy z tłem jest jakby zwiększony w porównaniu z efektem barwy ciągłej. Dzieje się tak ponieważ oko częściej wraca od obserwacji kontrastu barwy wielopunktowej w porównaniu z barwą ciągłą.

3.5. CZYNNIK WIEKU

Osoby starsze potrzebują kilkakrotnie więcej światła niż młode. Dzieje się tak, ponieważ z wiekiem źrenica maleje, co redukuje ilość światła padającego na siatkówkę, mięśnie oczne stają się słabsze, soczewki tracą swą elastyczność - stąd zdolność ostrego widzenia szczegółów maleje. Soczewki żółkną, co ogranicza widzenie barw niebieskich. Stają się grubsze i mniej przezroczyste, co w efekcie wywołuje rozpraszanie światła w oku, nocną ślepotę oraz wzrost wrażliwości na oślnienie. Co można zrobić, aby wspomóc widzenie seniorom? Należy, przede wszystkim, zwiększyć intensywność oświetlenia, co najmniej do 1000 luksów na zadaniu wzrokowym i do 300 luksów w otoczeniu. Równocześnie należy zadbać o to, aby oświetlenie było ciepłe, łagodne i nie męczące. Dobre warunki oświetlenia dla seniora zapewnia oprawa z abażurem Feniks 85/P (zdj.5).



Zdj. 5. Oprawa Feniks 85/P z kompaktową świetlówką energooszczędną. Średnie natężenie oświetlenia pod oprawą na powierzchni 0,5 m x 0,5 m wynosi 1230 luksów, 3,5-krotnie więcej, niż przy żarówce 100 W, wg [11].

4. PODSUMOWANIE

Model wpływu zadania wzrokowego i warunków oświetlenia na wydolność człowieka ujmuje zależności, które ukazują nowe kierunki badań nad systemami oświetlenia. Na podstawie przedstawionej analizy można stwierdzić, że statyczny i nie motywujący stan sztucznego oświetlenia, reprezentowany przez dotychczasowe standardy, może być istotnie zmodyfikowany w zakresie oddziaływań biologicznych. Według autorów dokumentu [2] wiedza o tych oddziaływaniach będzie miała zasadniczy wpływ na rozwój systemów oświetleniowych w Europie. Społeczna waga zagadnienia skłania do popularyzacji wiedzy o prozdrowotnych efektach oddziaływań biologicznych światła na przykładzie praktycznych rozwiązań.

5. LITERATURA

1. Boyce Peter R.: *Lighting research for interiors: the beginning of the end or the end of the beginning*, 25th Session of the CIE, San Diego, 2003.
2. CEN/TC 169 N 0784 *Standardization request concerning the effects of light on human beings, mediated by intrinsic photosensitive ganglion cells- called“ the third photo-receptor“*
3. DIN V 5031-100 *Optical radiation physics and illuminating engineering – Part 100: Non-visual effects of ocular light on human beings - Quantities, symbols and action spectra*.
4. Figuero M.G.: *Research matters*. Lighting Design + Application. May, 2006.
5. Koolman J., Rohm K.H.: *Hormony. Biochemia*. Wyd. Lekarskie PZWL, 2005.
6. NSVV Committee on Light and Health.: *Light and Health in the Workplace*. November, 2003.
7. Rea M.S. et al.: *A model of phototransduction by the human circadian system*. Brain Research Reviews 50, 2005.
8. Turlej Z.: *Czynnik hormonalny w oświetleniu wnętrza*, II Konferencja POOMT'06 Promieniowanie optyczne, oddziaływanie, metrologia, technologie, Krasiczyn, 2006.
9. Turlej Z.: *New solutions for LED lighting systems*, Renewable Energy Innovative Technologies and New Ideas, Warszawa, 2008.
10. Turlej Z.: *Systemy oświetlenia biodynamicznego we wnętrzu*, XV Krajowa Konferencja Oświetleniowa „Technika Świetlna'06”, Warszawa, 2006.
11. Turlej Z.: *Systemy prozdrowotne w oświetleniu wnętrz*, XVIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa „Technika Świetlna'09”, Warszawa, 2009.
12. van Bommel WJM, van den Beld GJ: *Lighting for work: a review of visual and biological effects*, Lighting Research & Technology nr 4, 2004.

PROHEALTHY LUMINOUS ENVIRONMENT FOR AN INTERIOR

SUMMARY

The paper presents biological effects of the lighting on the peoples and progress in international standards works in this field. Then are given some examples for prohealthy lighting solutions studied in Electrotechnical Institute. These are innovative solutions which leads to future development of the lighting industry in Europe.

Henryk WACHTA, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: hwachta@prz.edu.pl

ILUMINOWANIE OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH

STRESZCZENIE

Referat zawiera omówienie stosowanych w praktyce metod wizualizacji iluminacji architektonicznych. Dokonano ich oceny pod kątem użyteczności w tworzeniu wielo-wariantowych koncepcji iluminacji architektonicznych oraz specyfikacji sprzętu oświetle-niowego. Podjęto także próbę wyodrębnienia kluczowych elementów wizualizacji iluminacyjnych obiektów zabytkowych, istotnych z punktu widzenia ochrony konserwa-torskiej oraz właściwej interpretacji wyników obliczeń oświetleniowych, realizowanych na bazie aplikacji graficznych.

1. WPROWADZENIE

W wyniku działań II Wojny Światowej Polska poniosła dotkliwe straty materialne. Należała bez wątpienia do grona tych europejskich państw, na terytorium, których poza regularnymi działaniami wojennymi, prowadzono konsekwentną politykę zacierania materialnego dziedzictwa kulturowego – np. żydowskiego. Na tym tle szczególna troska służb konserwatorskich o zachowaną substancję historyczną powinna być w pełni uzasadniona. Akcentowanie tego zadania jest istotne szczególnie współcześnie, gdyż intensywny napływ zewnętrznych środków inwestycyjnych do Polski obejmuje także sferę ochrony obiektów zabytkowych.

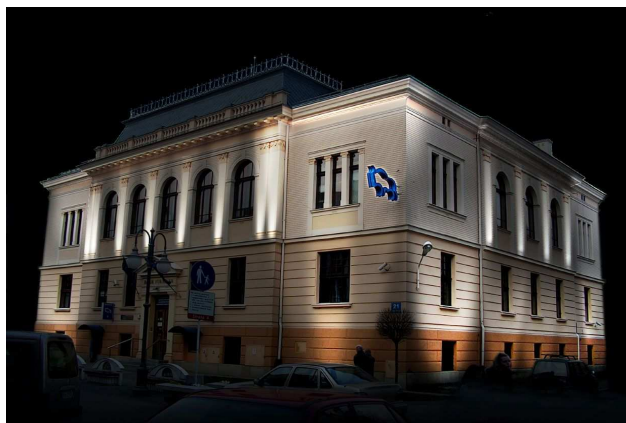
Stosunkowo często, w ramach np. programów rewitalizacyjnych, podejmuje się działania zmierzające do atrakcyjnego eksponowania obiektów zabytkowych, zlokalizowanych w obrębie realizowanych inwestycji – najczęściej przez ich renowację i ilu-minowanie. Ten słuszny cel nie zawsze jednak (na końcowym etapie iluminacji) zostaje osiągnięty. Zdaniem autora referatu dzieje się tak z dwóch powodów: pierwszym jest nie zawsze właściwa dbałość realizatora inwestycji o poziom estetyczny proponowanej iluminacji (iluminacja stanowi marginalną część środków wydatkowanych w ramach

przedsięwzięcia inwestycyjnego), zaś drugim jest nie zawsze odpowiednie przygotowanie służb konserwatorskich do podejmowania konstruktywnej polemiki w dziedzinie techniki świetlnej na etapie uzgodnień projektowych. Oczywiście nie stwarza to istotnej przeszkody w propagowaniu iluminacji jako bardzo skutecznego i sugestywnego środka eksponowania obiektów zabytkowych w porze wieczorno-nocnej [2].

Podstawą wspomnianej polemiki jest zdolność do właściwej oceny prezentowanych w projektach komputerowych wizualizacji proponowanych iluminacji. Wizualizacje te bez wątpienia powinny spełniać oczekiwania służb konserwatorskich w obszarze ściśle odpowiadającym ochronie konserwatorskiej obiektu (np. uwarunkowania związane z kwestią mocowania sprzętu oświetleniowego w rejonie obiektu itd.), nie wypaczać przestrzennego postrzegania obiektu oraz możliwie wiernie odwzorowywać późniejszą rzeczywistość realizację oświetlenia dekoracyjnego [4].

2. KOMPUTEROWE WIZUALIZACJE ILUMINACJI WYKORZYSTUJĄCE TECHNIKĘ RETUSZU FOTOGRAFICZNEGO

Formą wizualizacji iluminacji, wymagającą najmniejszego nakładu pracy i środków (bardzo krótki czas przygotowania wizualizacji) jest retusz fotograficzny zdjęcia obiektu zabytkowego. Bywa niekiedy, iż narzucony przez inwestora napięty harmonogram realizacyjny inwestycji iluminacyjnej lub poszukiwania obniżki kosztów przygotowania dokumentacji projektowej, skłania projektantów do stosowania metody retuszu jako elementu obrazującego proponowany efekt estetyczny oświetlenia obiektu. Trzeba zdecydowanie podkreślić, iż taka forma prezentacji wizualizacyjnej jest obciążona największym odejściem od ostatecznego – rzeczywistego rezultatu iluminacyjnego (niski poziom wiarygodności - orientacyjnie 40-50% zgodności z późniejszą realizacją instalacji iluminacyjnej) (rys.1).



*Rys. 1. Przykładowa wizualizacja iluminacji obiektu wykonana techniką retuszu
Fig. 1. The example of illumination the visualization of the object executed with
retouching technique*

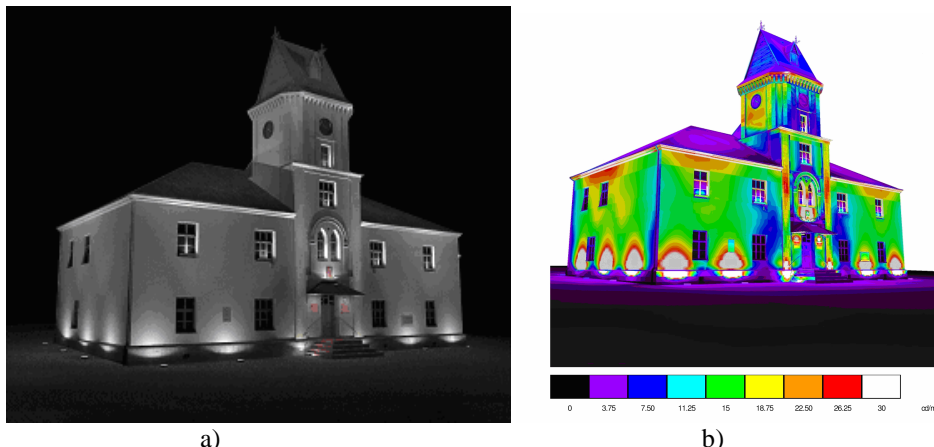
Można wyodrębnić dwa warianty retuszu: pierwszy polega na obróbce graficznej fotografii cyfrowej obiektu w oświetleniu naturalnym, który zostaje wstępnie jednolicie przyciemniony, a następnie za pomocą jednego z popularnych programów graficznych poddany zostaje zasadniczej modyfikacji. Polega ona na rozjaśnianiu, na podobieństwo oświetlenia iluminacyjnego, zaplanowanych rejonów fotografii. Wielkość i jasność owych plam świetlnych określana jest intuicyjnie, bez odniesienia do fizykalnych praw biegu promieni świetlnych w przestrzeni.

Wizualizacje takie dostarczają wiarygodnych informacji jedynie o przyjętej metodzie iluminacji oraz orientacyjnych miejscach lokalizacji sprzętu oświetleniowego. Tego typu retusz fotograficzny można dość łatwo zidentyfikować analizując otoczenie sfotografowanego obiektu (nienaturalny rozkład cieni innych obiektów rozmieszczonych w sąsiedztwie zabytku lub wyłączone oświetlenie uliczne).

Druga metoda retuszu polega na przygotowaniu zdjęcia obiektu w porze nocnej. W tym wypadku otoczenie uwiecznione na fotografii jest zgodne z rzeczywistością, niemniej wysoki poziom odwzorowania detalu może wskazywać na zastosowanie technik o których jest mowa wyżej. Bez specjalistycznego przygotowania można skutecznie tego typu wizualizacje iluminacji eliminować już na poziomie uzgodnień konserwatorskich.

3. METODY WIZUALIZACYJNE OPARTE NA CYFROWYCH MODELACH PRZSTRZENNYCH OBIEKTÓW

Podniesienie poziomu wiarygodności opracowywanych wizualizacji możliwe jest dzięki zastosowaniu oprogramowania graficznego typu freeware (rys.2).



Rys. 2. Przykładowa wizualizacja iluminacji wykonana w oparciu o komputerowy model obiektu oraz system modelowania rozsyłu strumienia świetlnego, a – rendering iluminacyjny, b – rozkład luminancji na oświetlonej elewacji obiektu [11]

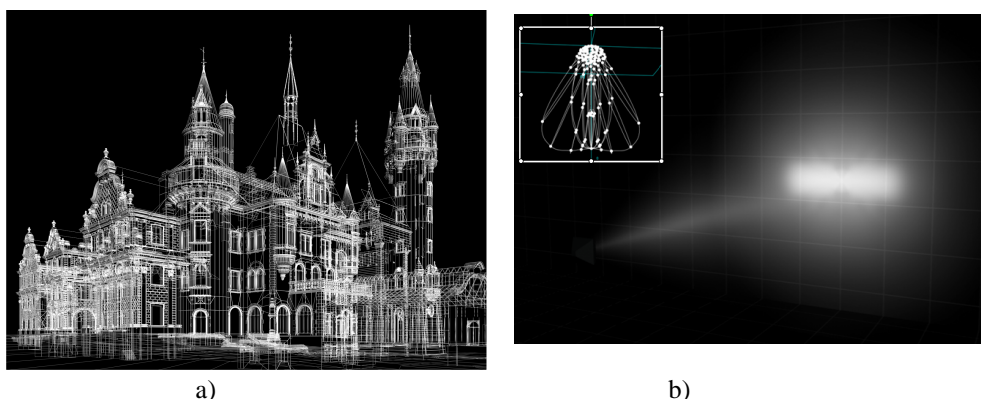
Fig. 2. The example of illumination the visualization executed in support of computer model of the object and the system of modeling the spread of light stream, a – the illuminating rendering, b - disposition of luminance on lighted up elevation of object [11]

Odwzorowywany jest tutaj geometrycznie obiekt architektoniczny, zdefiniowane są refleksyjne cechy jakościowe i ilościowe elewacji, określone są charakterystyki rozsyłu strumienia świetlnego modeli cyfrowych sprzętu iluminacyjnego, a także zaimplementowane fizyczne cechy biegu promieni świetlnych zgodne z prawem odwrotnych kwadratów. Najistotniejszą jednak zaletą tego typu oprogramowania jest możliwość tworzenia graficznych rozkładów luminancji na oświetlonych elewacjach obiektu [3].

Takie rozwiązanie daje szansę określenia dość precyzyjnie zgodności proponowanych rozwiązań oświetleniowych z obowiązującymi zaleceniami ilościowymi i zasadami iluminacji – zasadą wzmacniania wysokości, głębi itd [6]. Z punktu widzenia oceny pozaestetycznej rozkładu luminancji są bezwzględnie podstawą analizy proponowanego projektu iluminacji [1]. Niestety oprogramowanie tego typu jest w pełni użyteczne jedynie do tworzenia modeli geometrycznych obiektów historycznych o mało skomplikowanych kształtach. Próba zastosowania go w opracowaniu projektu iluminacji bardziej złożonego będzie skutkować koniecznością uproszczeń geometrii modelu obiektu, a tym samym wadliwą oceną rozkładu światłocieni na elewacjach. Orientacyjny poziom zgodności tego typu wizualizacji z rzeczywistością kształtuje się w przybliżeniu na poziomie 60 - 70%.

4. ZAAWANSOWANE, WSPÓŁCZESNE METODY WIZUALIZACYJNE OŚWIETLANIA ILUMINACYJNEGO

Najbardziej realistyczne odwzorowanie rzeczywistości (ok. 70-80%) można osiągnąć, korzystając z zaawansowanych aplikacji graficznych oraz odpowiednio skonfigurowanego sprzętu komputerowego (rys.3).

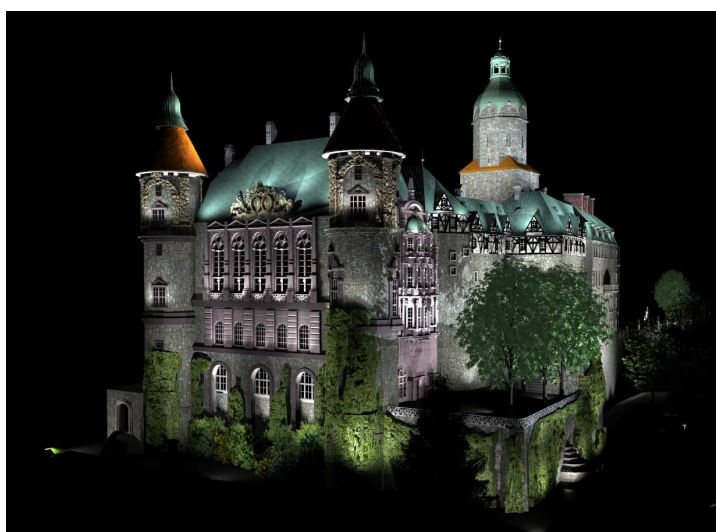


Rys. 3. Zasadnicze elementy współczesnej aplikacji wizualizacyjnej a – model siatkowy obiektu o dużym stopniu komplikacji geometrycznej, b – model cyfrowy bryły fotometrycznej oprawy oświetleniowej [8]

Fig. 3. The principal elements of present visualization application a - the reticular model of object with great stage of geometrical complication, b - the digital model of the photometric figure of lighting frame [8]

Oczywiście trudno uzyskać wyższy poziom „sprawności” tego typu oprogramowania, gdyż pozostają nierozwiązane problemy komputerowego modelowania wskaźnikowej rozpraszania (zasadniczo powierzchnie elewacji realizują właśnie odbicia lambertowskie), trudne są do optycznego odwzorowania tzw. obszary wypalania elewacji (z uwagi na dostępne niższe poziomy luminancji maksymalnych monitorów komputerowych), problematyka odbić wielokrotnych w obrębie powierzchni optycznie czynnych i inne mniejszej rangi [5]. Współcześnie dostępne profesjonalne oprogramowanie graficzne umożliwia odwzorowanie geometryczne obiektu historycznego z dokładnością odpowiednią do zadeklarowanych oczekiwań (rys.4).

a)



b)



c)



d)



Rys. 4. Przykładowe komputerowe wizualizacje iluminacji obiektów zabytkowych,
 a - Zamek w Książu, Polska, b – Sanktuarium Jasnogórskie w Częstochowie, Polska,
 c - Kapitol w Waszyngtonie, USA, d - Uniwersytet Lwowski, Ukraina [7,12,9,10]
 Fig. 4. The examples of computer visualizations of illumination of antique objects, a - the
 Castle in Książ, Poland, b - the Jasna Gora Shrine in Częstochowa, Poland, c - the Capitol
 in Washington, USA, d - the Lviv University, Ukraine [7,12,9,10]

Poza wymaganym do oceny rozkładem luminancji na oświetlanych elewacjach, możliwe jest implementowanie modeli brył fotometrycznych naświetlaczy iluminacyjnych. Jest to bardzo użyteczne, szczególnie w aspekcie wyceny ekonomicznej instalacji iluminacyjnej lub istniejących ograniczeń lokalizacyjnych sprzętu (łatwość kompletacji zamienników reflektorowych, pozwalających osiągnąć podobny rezultat oświetleniowy na

elewacji dla alternatywnego miejsca montażu). Tak więc, eliminując kosztowne i siłą rzeczy wycinkowe próby terenowe (do niedawna powszechnie stosowane), można analizować wielowariantowo rozwiązania iluminacyjne, poszukując koncepcji iluminacji, estetycznie najkorzystniejszej oraz dającej się zrealizować w praktyce.

Współcześnie dzięki zastosowaniu wydajnego sprzętu komputerowego można z powodzeniem opracowywać komputerowe wizualizacje iluminacji skomplikowanych geometrycznie obiektów (duża ilość zdobień elewacji konieczna do dokładnego modelowania z powodu czynnego udziału w grze światłocienia) a także zwartych, monumentalnych zespołów architektonicznych. Oczywiście jest to działanie bardzo absorbujące i czasochłonne, niemniej jako jedyne pozwala efektywnie zarządzać zestawami, liczonych w setki, modeli reflektorów.

5. PODSUMOWANIE

Można ostatecznie sformułować kilka wniosków końcowych, z których do najważniejszych należą:

1. Sondażowe próby terenowe iluminacji powinno prowadzić się w odniesieniu do obiektów zabytkowych o stosunkowo małych wymiarach zewnętrznych i nieskomplikowanej formie wystroju elewacji, zaś proponowana metoda iluminacji powinna mieć charakter zalewowy z użyciem niewielkiej ilości sprzętu oświetleniowego.

2. Dla rozwiązań iluminacyjnych, obejmujących lokalizację naświetlaczy w bezpośrednim sąsiedztwie elewacji obiektu zabytkowego, konieczne jest wykonanie prób terenowych oceny równomierności zewnętrznego otynkowania ścian.

3. Podstawą oceny projektu iluminacyjnego obiektu zabytkowego, realizowanego z wykorzystaniem wizualizacji komputerowej, powinny być wyniki obliczeń luminacyjnych, będące jedynym, w pełni miarodajnym wyznacznikiem stanu zewnętrznego oświetlenia dekoracyjnego.

4. Służby konserwatorskie powinny mieć szersze możliwości konsultacji i oceny proponowanych rozwiązań iluminacyjnych z niezależnymi specjalistami – oświetleńcami.

5. Planowanie iluminowania dużych zespołów zabytkowych powinno być bezwzględnie poprzedzone etapem koncepcyjnego, komputerowego projektu wizualizacyjnego.

6. Istnieją w toku projektowania iluminacji czynniki, których nie da się uwzględnić w pracach wizualizacyjnych, a które należy rozpatrzyć ze szczególną starannością np.: ewentualność pojawienia się smug świetlnych generowanych przez wąskostrumieniowe reflektory iluminacyjne czy brak możliwości lokalizacji doziemnego sprzętu oświetleniowego w sąsiedztwie zabytkowych obiektów sakralnych - z uwagi na możliwość istnienia tam nieewidencjonowanych, historycznych cmentarzy przykościelnych.

6. LITERATURA

- [1] CIE Technical Report No 94 – Guide for floodlighting.
- [2] Neumann D.: Architecture of the night. The illuminated building. Prestel. Berlin 2001.
- [3] R.H. Simon and A.R. Bean: Lighting Engineering. Applied calculation. MPG Books Ltd. Bodmin, Cornwall 2001.

- [4] The Illuminating Engineering Society of North America: Lighting Handbook. Reference and Application. Publications Department IESNA. New York 2000.
- [5] Wachta H.: Analysis of multiple light – ray reflections in light optical system with fluorescent light source. 3-rd International Conference of PHD Students. University of Miskolc. Hungary 2001.
- [6] Żagan W.: Iluminacja obiektów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.
- [7] Ferkaluk A., Wachta H.: Komputerowa Wizualizacja iluminacji Zamku Książ, Polska. Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki.
- [8] Kościsz K., Kuczaj D., Wachta H.: Komputerowy model bryłowy Zamku w Mosznej, Polska. Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki.
- [9] Marszałek R., Wachta H.: Komputerowa wizualizacja iluminacji Kapitolu w Waszyngtonie, USA. Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki.
- [10] Pydo J., Wachta H.: Komputerowa wizualizacja iluminacji Uniwersytetu Lwowskiego, Ukraina. Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki.
- [11] Szopniewski D., Wachta H.: Komputerowa wizualizacja iluminacji Ratusza w Sędziszowie, Polska.
- [12] Żagan W., Szopniewski D., Wachta H.: Komputerowa wizualizacja iluminacji Zespołu Klasztornego Paulinów na Jasnej Górze w Częstochowie, Polska. Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki.

ILLUMINATIONS OF ANTIQUE OBJECTS

SUMMARY

The paper contains the discussion of methods applied in practice of visualization architectural illuminations. The methods are reviewed with regard to usefulness in creating the multi-variant conceptions of architectural illuminations as well as in specification of lighting equipment. In this paper is also undertaken a study of singling out the main elements of visualization of the illuminations of antique objects, which are essential for the conservatory protection's point of view as well as for the proper interpretation of results of lighting calculations, realized on base of graphic applications.

Beata WILK-SŁOMKA, dr inż.

Politechnika Śląska
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice
e-mail: Beata.Wilk@polsl.pl

BUDYNEK JEDNORODZINNY NISKOENERGETYCZNY – PROPOZYCJA ZASTOSOWANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

STRESZCZENIE

W referacie rozważano zastosowanie odnawialnych źródeł energii w przykładowym budynku jednorodzinnym. W celu zbudowania modelu budynku niskoenergetycznego ograniczono się tylko do rozwiązań instalacyjnych, rozwiązania architektoniczno-budowlane przyjęto jako stałe.

1. WPROWADZENIE

Na świecie obserwujemy coraz większe zużycie energii. Jest ono spowodowane między innymi dużym przyrostem procentowym ludności oraz wzrastającym poziomem życia. Należy podkreślić fakt, iż przeważająca część energii pochodzi ze źródeł pierwotnych (kopalnych, konwencjonalnych) takich jak węgiel, gaz czy ropa naftowa. Poszukuje się zatem różnego rodzaju alternatywnych rozwiązań, których zadaniem jest zmniejszenie zużycia energii konwencjonalnej. Dodatkowo, ceny paliw kopalnych ulegają coraz częstszym wahaniom, a dostawy nośników energii ograniczeniom, zależnym od politycznych decyzji potentatów. W takiej sytuacji rośnie znaczenie problemu związanego z oszczędzaniem i ograniczeniem zużycia energii. Cel ten może być osiągnięty poprzez wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych w systemach aktywnych i pasywnych, stosowanie systemów odzysku ciepła oraz wprowadzanie niekonwencjonalnych metod pozyskiwania, przetwarzania i magazynowania energii.

W Polsce około 40% całkowitej energii używają budynki mieszkalne, biurowe, użyteczności publicznej, z czego 80% stanowią koszty ogrzewania. Działania zmierzające do ograniczenia zużycia energii to szeroko rozumiane "budownictwo energooszczędne". Energooszczędność w nowoczesnym budownictwie polega na stosowaniu najbardziej ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań, które mają na celu zmniejszenie zapotrzebowania

na energię oraz racjonalne jej wykorzystanie w trakcie eksploatacji obiektu budowlanego. Praktyczne znaczenie w promowaniu budownictwa energooszczędnego mają [6], [7], [8], [9]. Rozpoczęcie procesu integracji europejskiej, postawiło przed Polską zadanie wprowadzenia strategicznych i strukturalnych przemian w sektorze energetycznym, zapewniających zrównoważony rozwój kraju. Podstawowe wymagania Unii Europejskiej w zakresie wymagań dla budynków sformułowano w Dyrektywie [4] uzupełnionych Dyrektywą nowelizującą [5]. Wymaganie oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności cieplnej jest jednym z sześciu podstawowych wymagań stawianych budynkom zawartym w [7]. W praktyce opłacalne staje się wynoszenie budynków o niskim zużyciu energii, wykorzystujących energię pochodzącą ze źródeł niekonwencjonalnych (energia słońca, wiatru, wody, gruntu).

Głównym celem budownictwa niskoenergetycznego jest zmniejszenie zużycia energii konwencjonalnej. Dzięki wykorzystaniu energii ze źródeł odnawialnych w systemach aktywnych i pasywnych, stosowaniu odzysku ciepła oraz niekonwencjonalnych metod pozyskiwania i konwersji energii można ten cel osiągnąć. W budownictwie niskoenergetycznym dąży się do powiązania wymienionych powyżej trzech zasad stosowanych w budownictwie energooszczędnych z czwartą zasadą – wprowadzania niekonwencjonalnych metod pozyskiwania, przetwarzania i magazynowania energii.

2. GŁÓWNE CECHY BUDOWNICTWA NISKOENERGETYCZNEGO

Ogólnie można powiedzieć, że budynek energooszczędny to budynek zużywający mniej energii niż dom spełniający wymagania warunków technicznych [wt] (standardowy $90 \div 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$). Zapotrzebowanie na ciepło dla domu niskoenergetycznego kształtuje się na poziomie $30 \div 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Pozostaje zatem pytanie czy istnieje możliwość zbudowania budynku niskoenergetycznego bez uwzględnienia rozwiązań wykorzystujących odnawialne źródła energii?

Budownictwo niskoenergetyczne musi być zatem powiązaniem tradycyjnych technologii budowlanych i instalacyjnych oraz urządzeń, systemów czy elementów konstrukcyjnych i strukturalnych, które umożliwiają wykorzystanie energii odnawialnej. Jednakże zastosowanie danego rodzaju odnawialnego źródła energii jest determinowane przez różne czynniki. Są to między innymi takie aspekty jak: dostępność, możliwość magazynowania czy też korzyści ekonomiczne.

Budownictwo niskoenergetyczne wyróżnia trzy podstawowe grupy cech [1]:

- rozwiązania aktywne,
- rozwiązania pasywne,
- rozwiązania konstrukcyjno-architektoniczno-budowlane

Do najczęściej stosowanych rozwiązań w budynkach niskoenergetycznych można zaliczyć [1]:

- izolację cieplną, w tym izolację transparentną,
- okna o niskim współczynniku przenikania ciepła, pokryte powłoką niskoemisyjną,
- oświetlenie światłem dziennym,
- wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła,
- systemy grzewcze z pompą ciepła,
- ogniwa fotowoltaiczne,

- kolektory słoneczne,
- turbiny wiatrowe.
- pasywne i aktywne systemy słoneczne.

Stosowanie pasywnych systemów słonecznych sprowadza się najogólniej mówiąc do wykorzystania bryły budynku, co wiąże się z odpowiednim projektem budowlano-architektonicznym. W budownictwie niskoenergetycznym najważniejsza jest najprostsza forma, gdzie stosunek powierzchni przegród budowlanych do kubatury budynku będzie jak najmniejszy. Istotnym jest także, aby powierzchnia dachu była jak najmniejsza, co się z kolei wiąże z małą powierzchnią w rzucie. Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na zużycie energii jest usytuowanie budynku względem stron świata. Jedną z podstawowych zasad projektowania architektonicznego jest umieszczanie dużych powierzchni przesklonych od strony południowej. Natomiast od strony północnej powinny znajdować się pomieszczenia gospodarcze czy garaż. Właściwy układ pomieszczeń w budynku ma zatem ogromny wpływ na zmniejszenie zużycia energii. Ważną rolę we wspomnianym wcześniej zmniejszeniu zużycia energii odgrywają tzw. mostki termiczne czyli miejsca o zwiększonym przepływie ciepła. Do najbardziej narażonych na występowanie mostków termicznych w budynku należą łączenia ścian zewnętrznych z podłogą, stropem, otwory okienne i drzwiowe, balkony, dachy. Należy zatem dążyć do eliminacji mostków cieplnych poprzez prawidłowe i staranne wykonanie tych elementów budowlanych. Wykorzystanie struktury budynku jako kolektora energii promieniowania słonecznego lub magazynu energii poprzez zastosowanie odpowiednich zewnętrznych i wewnętrznych ścian akumulujących energię to kolejne rozwiązania stosowane w budownictwie niskoenergetycznym. Stosowanie tzw. przestrzeni buforowych, ogrodów zimowych zintegrowanych z fasadą południową to jeden ze sposobów wykorzystania elementów konstrukcyjno-materiałowych do oszczędzania energii. Aktywne systemy słoneczne z kolektorami cieczowymi i zbiornikami magazynującymi mogą być stosowane do podgrzewania wody użytkowej. Systemy grzewcze z pompą ciepła wykorzystujące jako dolne źródło ciepła energię zawartą w powietrzu atmosferycznym, wodach gruntowych, gruncie to rozwiązania wspomagające tradycyjne instalacje grzewcze [1], [2], [3].

3. PROPOZYCJA ZASTOSOWANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W BUDYNKU JEDNORODZINNYM

3.1. Charakterystyka rozwiązania wyjściowego

Do analiz przyjęto budynek jednorodzinny, niepodpiwniczony z poddaszem użytkowym, którego przegrody spełniają wymagania cieplno-wilgotnościowe wynikające z [11]. Poniżej przedstawiono ogólną charakterystykę przyjętego rozwiązania wyjściowego (W0) oraz wartości współczynników przenikania ciepła poszczególnych przegród.

Przyjęte założenia do obliczeń:

- powierzchnię o regulowanej temperaturze A_f obliczono po obrysie podłóg, $A_f=170,7 \text{ m}^2$;
- kubaturę wewnętrzną wentylowaną V obliczono jako iloczyn powierzchni A_f i wysokości pomieszczeń z uwzględnieniem spadków połaci dachowych,
- miejscowość: Opole;
- strefa klimatyczna: III;
- wymiary zewnętrzne: $9,6 \times 11,4 \times 5,85 \text{ m}$;

- ilość kondygnacji: 2;
- wysokość kondygnacji: 2,5 m;
- temperatury eksploatacyjne: zima/lato: 20/22°C;
- wskaźnik zwartości budynku $A/V_e=0,704$;
- nośnik energii końcowej CO: gaz ziemny, kocioł dwufunkcyjny
- nośnik energii końcowej CWU: gaz ziemny, kocioł dwufunkcyjny;
- rodzaj wentylacji: grawitacyjna;
- fundamenty i ściany fundamentowe żelbetowe;
- ściany: beton komórkowy; gr. 24 cm; styropian 18 cm;
- stropy: gęstożebrowe Teriva; gr. 24,0 cm
- konstrukcja dachu: płatwiowo-kleszczowa;
- pokrycie dachu: dachówka ceramiczna karpiówka; ocieplenie wełna mineralna 16,0 cm;
- kąt nachylenia dachu: 25°;
- okna: szyba zespolona dwukomorowa, wypełniona argonem, pokryta powłoką nisko-emisyjną, rama trzykomorowa PCV.

Współczynniki przenikania ciepła dla poszczególnych przegród wynoszą:

- ściana zewnętrzna: $U=0,15$ [W/m²K];
- dach: $U=0,23$ [W/m²K];
- podłoga na gruncie: $U=0,41$ [W/m²K];
- okna: $U=1,30$ [W/m²K];
- drzwi zewnętrzne: $U=2,60$ [W/m²K];

3.2. Opis wariantów oraz wyniki analiz

Dla rozwiązania wyjściowego opisanego w 3.1., wprowadzano kolejne propozycje rozwiązań instalacyjnych, przedstawionych w Tabeli 1. Obliczenia zapotrzebowania na energię pierwotną i końcową wykonywano po wprowadzeniu każdego z wariantów.

Tabela 1. Ogólna charakterystyka przyjętych wariantów
Table 1. General characteristic of analyzed variants

Oznaczenie rozwiązania	Opis rozwiązania
W_0	c.o. i c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (100%), gaz ziemny; wentylacja grawitacyjna
W_1	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny; (100%), c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (50%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (50%) wentylacja: grawitacyjna
W_2	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny; (100%), c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (40%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (60%) wentylacja: grawitacyjna
W_3	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny; (100%), c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: grawitacyjna

c.d. Tabeli 1.

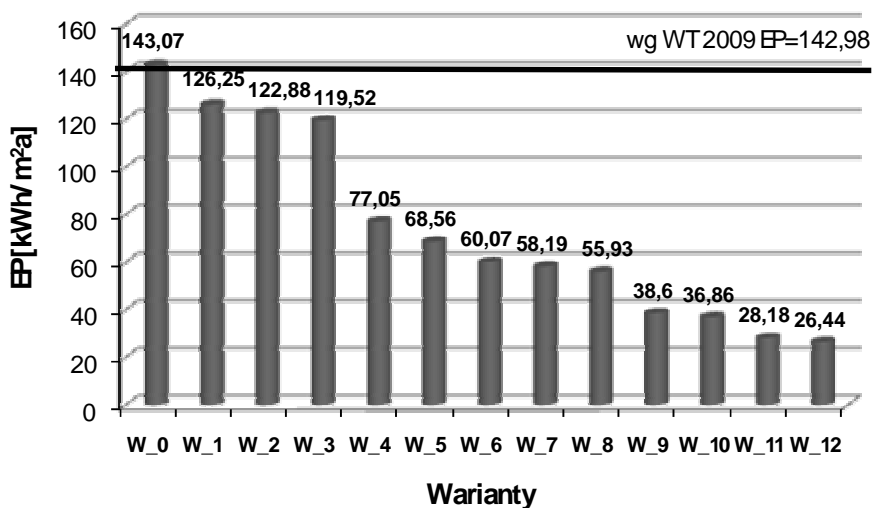
W_4	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny (50%), biomasa (50%); c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: grawitacyjna
W_5	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny (40%), biomasa (60%); c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: grawitacyjna
W_6	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny (30%), biomasa (70%); c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: grawitacyjna
W_7	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny (30%), biomasa (70%); c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: mechaniczna nawiewno-wywiewna
W_8	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, gaz ziemny (30%), biomasa (70%); c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: mechaniczna nawiewno-wywiewna z gruntowym wymiennikiem ciepła
W_9	c.o.: kocioł 1-funkcyjny, biomasa (100%); c.w.u.: kocioł 1-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: mechaniczna nawiewno-wywiewna
W_10	c.o.: kocioł 1-funkcyjny, biomasa (100%); c.w.u.: kocioł 1-funkcyjny (30%), gaz ziemny; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: mechaniczna nawiewno-wywiewna z gruntowym wymiennikiem ciepła
W_11	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, biomasa (100%); c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), biomasa; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: mechaniczna nawiewno-wywiewna
W_12	c.o.: kocioł 2-funkcyjny, biomasa (100%); c.w.u.: kocioł 2-funkcyjny (30%), biomasa; kolektor słoneczny (70%) wentylacja: mechaniczna nawiewno-wywiewna z gruntowym wymiennikiem ciepła

Dla przyjętego wariantu (W0) obliczono charakterystykę energetyczną zgodnie z procedurą podaną w [10]. Uzyskano następujące wyniki:

- zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną: $EP=143,07$ [kWh/m²a];
- zapotrzebowanie na energię końcową: $EK=130,07$ [kWh/m²a];
- roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system grzewczy i wentylacyjny: $Q_{P,H}=18677,13$ [kWh/a];
- roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system do podgrzewania ciepłej wody: $Q_{P,H}=5743,79$ [kWh/a].

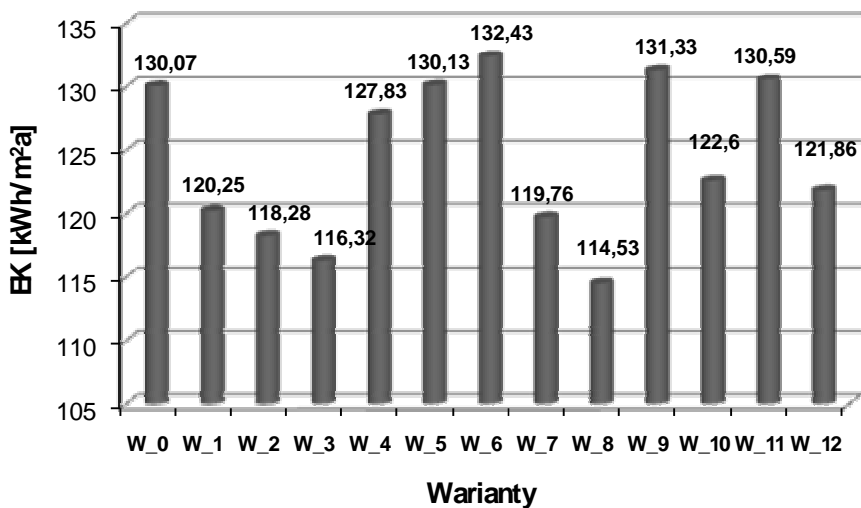
Zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla budynku nowego według [11]: wynosi $EP=142,98$ [kWh/m²a]. Można zatem stwierdzić, że dla tak przyjętych rozwiązań (W0) zostały spełnione wymagania stawiane budynkom nowym, zgodnie z [11]. Wymagany wskaźnik EP dla budynku nowego został przekroczony nieznacznie - o 0,09

[kWh/m²a]). Na rys. 1 i 2 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną oraz energię końcową dla poszczególnych wariantów.



Rys. 1. Wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną EP

Fig. 1. Values of EP index of analyzed variants.



Rys. 2. Wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową EK

Fig. 2. Values of EK index of analyzed variants.

Analizując otrzymane wyniki stwierdzono, iż wymagania dla budynku niskoenergetycznego spełnione są dla wariantów W_6÷W_12. Są to rozwiązania, dla których odnawialne źródła energii (biomasa, kolektor słoneczny, instalacja wentylacyjna z odzyskiem ciepła wspomagana gruntowym wymiennikiem ciepła) stanowią 70% pokrycia potrzeb na energię. Zauważono także, że pomimo zastosowania odnawialnych źródeł energii do wspomagania instalacji c.o. i c.w.u., ale przy istniejącej instalacji grawitacyjnej, nie jest możliwe uzyskanie zapotrzebowania na energię jak dla budynku niskoenergetycznego (W_2÷W_5) – przy rozwiązaniach budowlano-architektonicznych jak dla wariantu W_0.

Kierując się przy wyborze najlepszego wariantu kryterium najniższej wartości wskaźnika EP najkorzystniejszym wariantem jest W_10 – EP=36,86 [kWh/m²a]. Warianty W_11 i W_12 charakteryzują się niższą wartością wskaźnika EP niż jest wymagana dla budynków niskoenergetycznych. Biorąc jednak pod uwagę koszty eksploatacyjne czyli zapotrzebowanie na energię końcową – najniższą wartością wskaźnika EK charakteryzuje się wariant W_8: EK=114,53 [kWh/m²a]. Wartości wskaźnika EP rosną wraz ze wzrostem współczynnika nakładu energii pierwotnej [10]: gaz ziemny: $w_i=1,1$ (W_0), biomasa $w_i=0,2$, kolektor słoneczny $w_i=0,0$ – pozostałe rozwiązania. Natomiast wartości wskaźnika EK maleją ze wzrostem średniej sprawności instalacji c.o. oraz c.w.u.

4. PODSUMOWANIE

Zostało przeprowadzonych dwanaście analiz dla wariantów, w których zmieniano rodzaj paliwa (nośnik energii końcowej) oraz typ instalacji: centralnego ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej i wentylacji. Na podstawie analiz uzyskanych wyników stwierdzono, iż zapotrzebowanie na energię pierwotną jak dla budynku niskoenergetycznego (30÷60 [kWh/m²a]) występuje dla wariantów W_6÷W_12. Są to rozwiązania dla których przynajmniej w 70% zarówno dla instalacji c.o. i c.w.u. nośnikiem energii końcowej jest biomasa, instalacja c.w.u. jest wspomagana w 70% przez kolektor słoneczny, a instalacja wentylacyjna to system wentylacji mechanicznej nawiewno wywiewnej z odzyskiem ciepła, wspomaganej dodatkowo gruntowym wymiennikiem ciepła.

Mając na celu uzyskanie jak najniższej charakterystyki energetycznej budynku przy zachowaniu jednocześnie racjonalnych kosztów ekonomicznych, można stosować szereg nowoczesnych technologii i systemów wykorzystujących energię ze źródeł odnawialnych. Przed podjęciem decyzji co do ich zastosowania, z uwagi na znaczny koszt powinno się wykonać analizę ekonomiczną. Przyjmuje się, że czas zwrotu takiej inwestycji nie powinien przekraczać 15 lat. Autorka kierując się powyższymi przesłankami na dzień dzisiejszy zaproponowałaby zastosowanie wariantu W_7 lub W_8: instalacja c.o. gaz ziemny i biomasa, c.w.u.: gaz ziemny i kolektor słoneczny, instalacja wentylacji: mechaniczna z odzyskiem ciepła.

W myśl zasady zrównoważonego rozwoju, w obliczu obecnego stanu środowiska celem nadrzędnym wydaje się być oszczędność energii. Jednak pod rozwagę należy wziąć określenie granicy, w której energooszczędność powinna ustąpić miejsca racjonalnemu myśleniu, obejmującemu kwestię koniecznych do poniesienia nakładów pieniężnych, jak

również energetycznych i ekologicznych na produkcję, eksploatację, naprawę oraz utylizację systemów i technologii zapewniających niskie zużycie energii.

5. LITERATURA

- [1] Klemm P. i inni (praca zbiorowa): Budownictwo ogólne. Fizyka budowli, t. 2. Arkady, Warszawa 2005.
- [2] Kasperkiewicz K.: Zużycie energii w sektorze budowlanym – teraźniejszość i przyszłość. „Izolacje” 3/2007
- [3] Laskowski L.: Kształtowanie efektywności energetycznej biernego ogrzewania słonecznego przez racjonalizację rozwiązań strukturalno-materiałowych. Konferencja Naukowo-Techniczna. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź 1993, str. 164÷168
- [4] Dyrektywa Rady z dn. 21.12.1988 r. w sprawie zbliżenia przepisów prawnych i administracyjnych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych (89/106/EWG).
- [5] Dyrektywa Rady z dn.13.09.1993 r. mająca na celu ograniczenie emisji CO₂ przez podniesienie skuteczności energetycznej (93/76/EWG).
- [6] Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej z dn.16.12.2002 r. w sprawie jakości energetycznej budynków
- [7] Prawo Budowlane Dz. U. Nr 89 z dn.7.07.1994, poz. 414. z późniejszymi zmianami.
- [8] Ustawa o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych, Dz. U. Nr 162, poz. 1121., z późniejszymi zmianami
- [9] Rozporządzenie MSWiA z 30.04.1999 w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego (Dz. U. Nr 46, poz.59) z późniejszymi zmianami.
- [10] Rozporządzenie MI z dn. 6.11.2008 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania, Dz. U. Nr 201, poz. 1240
- [11] Rozporządzenie MI z dn. 12.03.2009 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

LOW ENERGY BUILDING – PROPOSAL OF USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

SUMMARY

In the following paper a few notions connected with low energy building will be presented. The low energy building is a connection of some building and installation technologies with special mechanisms, systems or elements of construction and structure elements which make the use of the recycled energy possible. The main aim of the mentioned efforts is to lower the use of conventional energy. This may be achieved by using the energy from the recycled sources in the active and passive systems and also by using the heat regaining systems and introducing unconventional methods of gaining, reusing and storing the energy.

Beata WILK-SŁOMKA, dr inż.

Politechnika Śląska
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice
e-mail: Beata.Wilk@polsl.pl

BADANIA PRZEPŁYWU CIEPŁA I MASY W PRZEGRODZIE HYBRYDOWEJ Z IZOLACJĄ TRANSPARENTNĄ

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wybrane parametry cieplne przegrody hybrydowej z izolacją transparentną. Analiza została przeprowadzona na podstawie pomiarów gęstości strumienia ciepłego, natężenia całkowitego promieniowania słonecznego oraz odpowiednich temperatur: powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody uzyskanych na stanowisku badawczym Katedry Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli.

1. WPROWADZENIE

Postępujące wyczerpywanie się konwencjonalnych zasobów energii takich jak węgiel, gaz czy ropa naftowa wymaga pozyskiwania nowych źródeł energii. Dodatkowo rozpoczęcie procesu integracji europejskiej postawiło przed Polską zadanie wprowadzania przemian w sektorze energetycznym, zapewniających zrównoważony rozwój kraju.

Obecnie wiele się mówi o energii z ekologicznych źródeł odnawialnych. Jednym ze sposobów wykorzystania odnawialnych źródeł energii jest zastosowanie przegród z izolacją transparentną. Izolacją transparentną (TI-transparent insulation) nazywa się strukturę, której konstrukcja umożliwia przenikanie promieniowania krótkofalowego (słonecznego), przy jednoczesnym ograniczeniu strat ciepła do otoczenia na drodze konwekcji i radiacji w zakresie promieniowania długofalowego (ciepłego) oraz przewodzenia.

Przy projektowaniu izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych oraz obliczeniach zużycia ciepła na cele grzewcze, izolacyjność cieplna przegrody jest z reguły wyrażona poprzez współczynnik przenikania ciepła U lub opór cieplny R . Sposób ich obliczania jest dość prosty, związany jest ze stałymi, znanymi własnościami materiałów przegrody. Jednakże nie zawsze znamy dokładną budowę przegrody oraz parametry

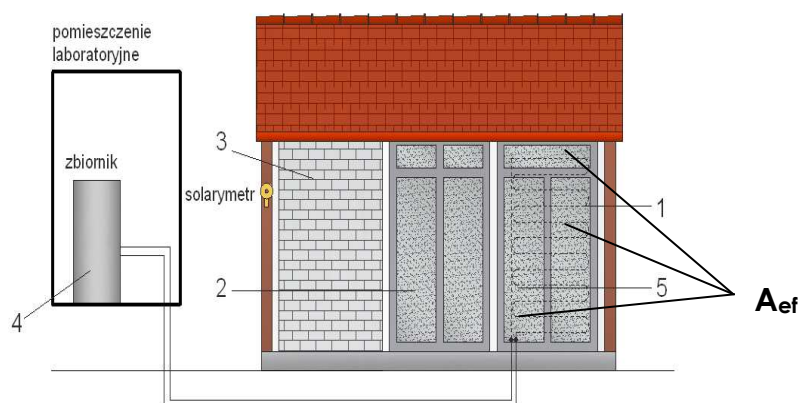
charakteryzujące dany materiał. Wówczas pozostaje nam wyznaczenie izolacyjności cieplnej metodą pomiarową. Ponadto metody obliczeniowe nie uwzględniają zmienności w czasie temperatury otoczenia oraz jej wpływu na przegrodę, co jest możliwe w przypadku pomiarowego wyznaczania charakterystyki cieplnej przegrody.

2. OPIS PRZEGRODY HYBRYDOWEJ ORAZ ANALIZOWANYCH PARAMETRÓW CIEPLNYCH

2.1. Charakterystyka przegrody hybrydowej

Przedmiotowa przegroda hybrydowa została zabudowana na stanowisku badawczym Katedry Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, o ekspozycji południowej. Przegroda ta składa się z następujących warstw:

- mur z cegły betonowej prasowanej o gr. 25,0 cm,
- węzownica z rur miedzianych o średnicy $\varnothing 15$ mm ułożona w warstwie tynku cementowo-wapiennego o grubości 2,0 cm, rozstaw rur wynosi 18,0 cm, długość węzownicy zabudowanej w przegrodzie wynosi 19,0 cm, długość węzownicy od przegrody do zbiornika 25,0 m;
- izolacja transparentna o strukturze kapilarnej [4], grubości 10,0 cm na zaprawie z dodatkami podwyższającymi zdolność przyjmowania ciepła.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – przegroda z izolacją transparentną (hybrydowa), 2 – przegroda z izolacją transparentną, 3 – tradycyjna ściana wielowarstwowa, 4 – zbiornik, 5 – węzownica

Fig. 1. Scheme of research stand: 1 – hybrid wall, 2 – partition with TI, 3 – traditional multi-layer partition, 4 – reservoir, 5 – cooper spiral

Zabudowana przegroda jest połączona ze zbiornikiem akumulacyjnym znajdującym się w pomieszczeniu laboratoryjnym Wydziału Budownictwa. Zbiornik oraz przewody miedziane między zbiornikiem a przegrodą zostały zaizolowane termicznie. Przepływ cieczy jest wymuszony przez pompę obiegową.

2.2. Charakterystyka parametrów cieplnych

Rejestracja pomiarów odbywała się co godzinę, do momentu ustabilizowania się danej wielkości. Aparatura pomiarowa, która została wykorzystana na stanowisku badawczym to:

- półprzewodnikowe czujniki temperatury typ DS 2438,
- czujniki gęstości strumienia ciepła typ MG-3.

W artykule analizowano następujące parametry cieplne przegrody hybrydowej:

- współczynnik przenikania ciepła przepływającego przez przegrodę U ,
- bezwymiarową temperaturę pomiarową TP ,
- bezwymiarową temperaturę powierzchni wewnętrznej f_{Rsi} ,

W referacie wykorzystano poniższe wzory [1], [2]:

$$q = U \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$TP = (v_i - v_e) / (t_i - v_e) \quad (2)$$

$$f_{Rsi} = (v_i - t_e) / (t_i - t_e) \quad (3)$$

gdzie:

t_i, t_e - temperatura odpowiednio powietrza wewnętrznego, zewnętrznego, [°C];

v_i, v_e - temperatura odpowiednio na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody; [°C];

q - gęstość strumienia ciepłego przenikającego przez przegrodę, [W/m²].

Ponadto wyznaczono sprawność chwilową przegrody hybrydowej. Współczynnik sprawności η określa iloraz użytecznej części strumienia ciepła pozyskanego z fototermicznej konwersji energii promieniowania słonecznego q_u do natężenia promieniowania słonecznego padającego na przegrodę I_c , i można go nazwać sprawnością pozyskiwania energii słonecznej. Współczynnik sprawności η wyznaczamy ze wzoru [1]:

$$\eta = q_u / I_c = Q_u / Q_d \quad (4)$$

gdzie:

Q_u - ciepło użyteczne, [W];

Q_d - ciepło dostarczone do powierzchni przegrody, [W]

Dla analizowanej przegrody na ciepło dostarczone składają się dwa strumienie, które wyznaczyć można z poniższych wzorów:

$$Q = Q_{u1} + Q_{u2} \quad (5)$$

$$Q_{u1} = m \cdot c_w \cdot (t_z - t_p) \quad (6)$$

$$Q_{u2} = A_c \cdot q \quad (7)$$

W obliczeniach rozważano dwa przypadki wyznaczenia ilości ciepła dostarczonego do przegrody: bez uwzględnienia właściwości radiacyjno-optycznych izolacji transparentnych (8) oraz z ich uwzględnieniem (9). Właściwości radiacyjno-optyczne są "charakteryzowane" przez współczynniki: pochłaniania promieniowania słonecznego powierzchni absorbera α oraz przepuszczania promieniowania słonecznego przez warstwę izolacji transparentnej τ .

$$Q_{d'} = I_c \cdot A_{ef} \quad (8)$$

$$Q_{d''} = I_c \cdot A_{ef} \cdot \tau \cdot \alpha \quad (9)$$

gdzie:

U_{Ti} – współczynnik przenikania ciepła izolacji transparentnej, [W/m²K];

A_c – całkowita powierzchnia przegrody,

A_{ef} – powierzchnia efektywna [m²];

t_a – temperatura powierzchni absorbera,

t_z, t_p – temperatura cieczy odpowiednio na zasilaniu i powrocie, [°C];

m – strumień masowy cieczy w węzownicy, [kg/s],

c_w – ciepło właściwe cieczy, [J/kg K];

α – współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego na powierzchni absorbera [-];

τ – współczynnik przepuszczania promieniowania słonecznego przez warstwę izolacji transparentnej [-];

I_c – natężenie całkowitego promieniowania słonecznego [W/m²].

W analizach przyjęto następujące dane [3]: $\tau=0,6$; $\alpha=0,98$; $U_{Ti}=1,03$ [W/ m²K]; $A_c=3,12$ [m²]; $A_{ef}=2,2$ [m²]; $m=0,096$ [kg/s]; $c_w=4,0$ [J/kg K].

Przez powierzchnię efektywną rozumiemy część przegrody pomniejszoną o elementy montażowe, zacinające itp. Na rys. 1 przedstawiono schemat stanowiska badawczego z zaznaczoną powierzchnią efektywną.

3. CHARAKTERYSTYKA METODOLOGII BADAWCZEJ

Analizowane parametry cieplne zostały wyznaczone dla trzech sytuacji energetycznych:

- (s1) osłona, pompa nie pracuje,
- (s2) brak osłony, pompa pracuje,
- (s3) brak osłony, pompa nie pracuje.

Wartości współczynnika przenikania ciepła uzyskano na drodze pomiaru temperatur wewnątrz komór, powietrza zewnętrznego oraz gęstości strumienia ciepła przepływającego przez daną przegrodę. Współczynnik przenikania ciepła wyznaczono po odpowiednich przekształceniach ogólnie znanego wzoru (1).

Przyjęta umownie w pracy [1], charakterystyka termoizolacyjności opracowana na podstawie pomiarów, przyporządkowuje określonemu przedziałowi TP odpowiednią klasę termoizolacyjności (KA-KE) oraz wartość współczynnika przenikania ciepła U. Przedsta-

wiona w tabeli 1 umowna klasyfikacja charakterystyk termoizolacyjności przegród została opracowana na podstawie poniższej zależności [1]:

$$U = \left[\frac{TP}{1-TP} R_{si} + (R_{si} + R_{se}) \right]^{-1} \quad (10)$$

gdzie:

R_{si} , R_{se} – opór przejmowania ciepła odpowiednio na wewnętrznej, zewnętrznej stronie przegrody, [m^2K/W]

Celem analiz było stwierdzenie czy proponowana klasyfikacja termoizolacyjności w pracy [1] znajduje zastosowanie przy określaniu charakterystyki termoizolacyjności przegrody hybrydowej z izolacją transparentną. Wartościom bezwymiarowej temperatury pomiarowej TP, obliczonej ze wzoru (2), przypisano odpowiednie wartości współczynnika przenikania ciepła U zgodnie z tabelą 1. Następnie wartości odczytane z tabeli 1 porównano z wynikami uzyskanymi według wzoru (1).

Jako wartość odniesienia dla wskaźnika f_{Rsi} przyjęto minimalną wartość podawaną dla budynków mieszkalnych – $f_{Rsi}=0,72$ [2].

Tabela 1. Umowna klasyfikacja charakterystyk termoizolacyjności przegród [1]
Table 1. Conventional description of thermal insulation of partitions [1]

Klasa termoizolacyjności	Charakterystyka TP	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m^2K]
K-A	$\geq 0,95$	$0,3 \div 0,5$
K-B	$0,95 \div 0,90$	$0,5 \div 0,8$
K-C	$0,90 \div 0,84$	$0,8 \div 1,2$
K-D	$0,84 \div 0,72$	$1,2 \div 1,5$
K-E	$< 0,72$	$1,5 \div 1,8$

4. WYNIKI ANALIZ

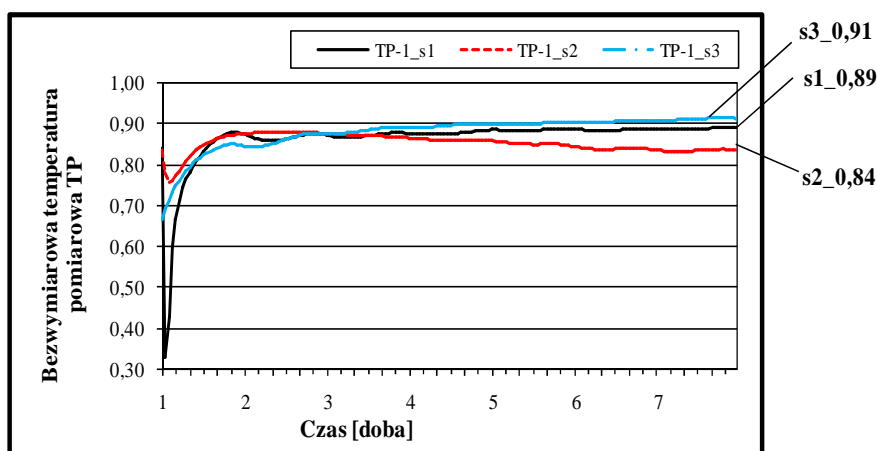
Przebiegi zmienności analizowanych parametrów przedstawiono jako średnie narastające w czasie. Wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 2÷5.

Stabilizacja wartości wskaźnika TP następuje po około 5 dniach. Wartości wskaźnika wyznaczone ze wzoru (2) wahają się w przedziale $TP=0,84 \div 0,91$, czyli przegrodę hybrydową można zaliczyć do klasy termoizolacyjności K-B i K-C, w zależności od analizowanej sytuacji energetycznej. Otrzymane wartości TP odpowiadają wartościom współczynnika przenikania ciepła w przedziale $U=0,5 \div 1,2 W/m^2K$.

Stabilizacja wartości współczynnika przenikania ciepła U następuje po około 5 dniach. Wartości współczynnika przenikania ciepła wyznaczone ze wzoru (1) wahają się w przedziale $U=0,74 \div 1,44 W/m^2K$, czyli przegrodę hybrydową można zaliczyć do klasy termoizolacyjności K-B, K-C oraz K-D, w zależności od analizowanej sytuacji energetycznej. W tabeli 2 zestawiono wyniki analiz, a kolorem szarym zaznaczono wiersze, dla których następuje zgodność wartości współczynnika przenikania ciepła U wyznaczona na podstawie wskaźnika TP oraz wzoru (1).

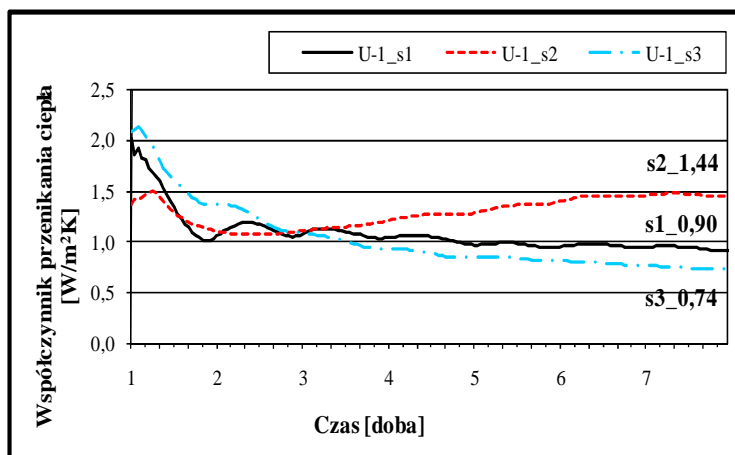
Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można zauważyć, iż przegroda hybrydowa charakteryzuje się najniższym współczynnikiem przenikania ciepła w sytuacji, gdy pompa jest wyłączona i nie ma osłony (s3). Przegroda pracuje wówczas jak element pasywny. Gdy pompa jest włączona następuje odbiór pewnej ilości ciepła z cyrkulującej w układzie cieczy, co powoduje wzrost wartości współczynnika przenikania ciepła (s2).

Stabilizacja wskaźnika f_{Rsi} następuje po około 6 dniach. Wartości wskaźnika f_{Rsi} wyznaczone ze wzoru (3) wahają się w przedziale $f_{Rsi} = 0,85 \div 0,92$. Można zatem zauważyć, iż wartości wskaźnika f_{Rsi} w każdej sytuacji energetycznej są wyższe od minimalnej ($f_{Rsi\ min} = 0,72$).



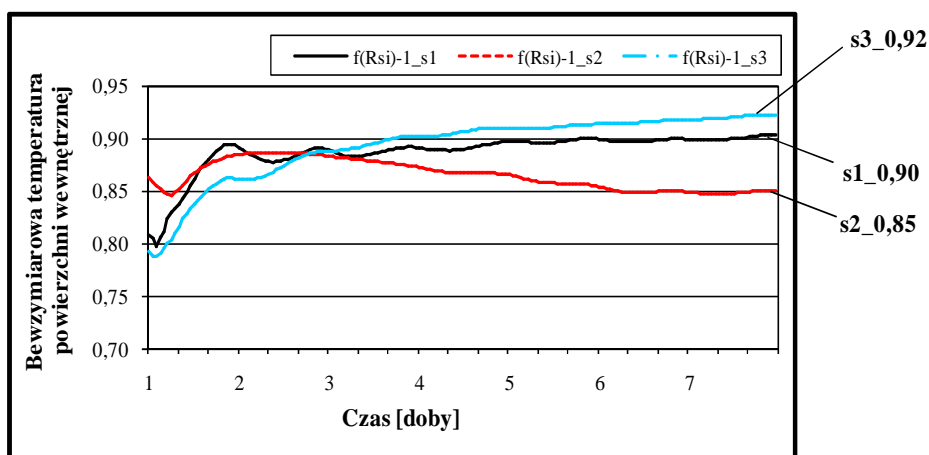
Rys. 2. Przebieg zmienności wskaźnika TP

Fig. 2. Variability of TP index determined as growing average in time.



Rys. 3. Przebieg zmienności współczynnika przenikania ciepła U

Fig. 3. Variability of heat transfer coefficient U determined as growing average in time.



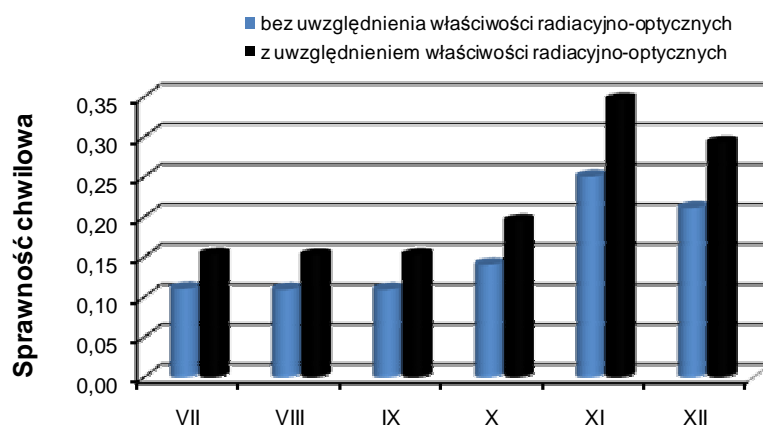
Rys. 4. Przebieg zmienności wskaźnika f_{Rsi} jako średnie narastające w czasie.

Fig. 4. Variability of f_{Rsi} index determined as growing average in time.

Tabela 2. Zestawienie wyników analiz dla przegrody hybrydowej

Table 2. Computation of calculation's results of hybrid wall

Sytuacja energetyczna	Charakterystyka TP	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m^2K]	
		według klasyfikacji [1]	według badań
s1	0,89	0,8÷1,2	0,90
s2	0,84	0,8÷1,2	1,44
s3	0,91	0,5÷0,8	0,74



Rys. 5. Sprawność chwilowa przegrody hybrydowej

Fig. 5. The temporary hybrid partition efficiency

Dla przegrody hybrydowej uzyskano sprawności w granicach $\eta_1=0,15\div0,35$ oraz $\eta_2=0,10\div0,25$ odpowiednio z uwzględnieniem i bez uwzględnienia właściwości radiacyjno-optycznych TI.

Zgodność obliczonego na podstawie badań własnych współczynnika przenikania ciepła U występuje dla przegrody w przypadku sytuacji energetycznej (s1) – tzn. gdy pompa była wyłączona, a przegroda była zasłonięta, oraz (s3) – tzn. gdy pompa była wyłączona, a przegroda była poddana bezpośredniemu działaniu promieniowania słonecznego. W przypadku włączenia pompy i odsłonięcia przegrody, uzyskano wyższą wartość współczynnika przenikania ciepła U , niż wynikałoby to z przyjęcia umownej klasyfikacji charakterystyk termoizolacyjności podawanej w pracy [1].

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono zadowalającą zgodność wartości współczynnika przenikania ciepła U obliczoną według wzoru (1) z umowną klasyfikacją charakterystyk termoizolacyjności podawaną w [1] w dwóch sytuacjach energetycznych: (s1) oraz (s3). Jednak w obu sytuacjach pompa była wyłączona, co nie jest istotą funkcjonowania analizowanej przegrody. Na podstawie przeprowadzonych analiz można zatem stwierdzić, iż szacowanie wartości współczynnika przenikania ciepła na podstawie wskaźnika TP dla przegród o złożonej strukturze z izolacją transparentną - hybrydowych, nie odzwierciedla prawidłowo właściwości termicznych badanej przegrody.

Uzyskane wyniki wskazują, iż wyższa sprawność chwilowa występuje w okresie jesiennym. Wydaje się to być prawidłowym, ze względu na położenie Słońca na nieboskłonie. Kąt padania promieni słonecznych na przegrodę pionową jest wówczas większy niż w okresie letnim. Wyznaczone wartości sprawności chwilowej należy traktować jako orientacyjne, gdyż autorka uważa okres badawczy za zbyt krótki. Należałoby prowadzić dalszą rejestrację parametrów pozwalających na wyznaczenie wiarygodnej sprawności analizowanych przegród.

6. LITERATURA

- [1] Krause H.: Podstawy temperaturowej diagnostyki izolacyjności cieplnej przegród budowlanych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 78. Gliwice 1993
- [2] Pogorzelski J.A. *Problemy obliczeń mostków cieplnych w przegrodach*. Energia i budynek, 1/2007, str. 11÷13.
- [3] Wilk-Słomka B. Określenie parametrów cieplnych wybranych modeli układów ścianowych w warunkach wpływów środowiskowych. Rozprawa doktorska, Gliwice 2007.

HEAT AND MASS FLOW THROUGH HYBRID WALL WITH TRANSPARENT INSULATION

SUMMARY

Collected measurement data during researches in Department of Building and Building Physics are the base for trial of selected thermal parameters of hybrid wall with transparent insulation description. This kind of insulation is one of the alternative for energy-saving buildings.

Anna M. WŁODARCZYK, dr inż. arch.

Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa
Katedra Budownictwa i Architektury
ul. Katowicka 48; 45-061 Opole
e-mail: aniastd@wp.pl

HISTORYCZNY KRAJOBRAZ EUROPY A ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE

STRESZCZENIE

Słońce w projektowaniu architektonicznym jest silnym bodźcem twórczym - od wieków odgrywa ono znaczącą rolę w kształtowaniu budynków i ich otoczenia. Obserwujemy przy tym potrzebę zastosowania już odkrytych wskazówek projektowych w praktyce pod względem użytkowym.

W artykule dyskutowany jest także czynnik estetyczny, którego rola wzrasta wraz z postępującym zaawansowaniem technicznym w architekturze od końca 20 wieku. Obiekty zarówno mieszkalne, jak i użytku publicznego wymagają dokładnej analizy uwzględniającej nie tylko aspekt funkcjonalny, ale także ich wygląd.

Architektura energooszczędna otwiera szerokie możliwości, w tym sensie artykuł prezentuje problematykę dostosowania nowej techniki do estetyki budynków istniejących.

1. WPROWADZENIE: BUDYNKI ISTNIEJĄCE – ICH MOŻLIWOŚCI ARCHITEKTONICZNE WZGLĘDEM UMIESZCZENIA ELEMENTÓW FOTOWOLTAICZNYCH

Budynki istniejące, liczące kilkadziesiąt, czy nawet kilkaset lat – w przypadku zabytków – posiadają wiele możliwości dla instalowania elementów fotowoltaicznych. Przykładem są ściany (elewacje) i dachy, wyeksponowane na kierunek południowy. Nawet niewielka ilość promieni słonecznych wystarczy do produkcji prądu. W krajach Skandynawii, gdzie procent nasłonecznienia jest niewielki, także proponuje się w wielu przypadkach stosowanie elementów fotowoltaicznych. Dzieje się tak, ponieważ nawet skromne naświetlenie naturalne daje namacalne efekty dla auto-produkcji prądu.

Stare zabudowania często wymagają renowacji. Jest to okazja do wymiany zniszczonych elementów na nowe, przy czym te nowe elementy powinny spełniać wymogi

aktywności. Co to oznacza. Element dodany ma funkcjonować zarówno, jako powierzchnia ścienna lub dachowa o podstawowej konstrukcji oraz funkcji, jak i energooszczędna.

Różnorodne wymiary i rodzaje pokryć dachowych mogą być stopniowo zastępowane tkanką aktywną energetycznie. Jest to możliwe dzięki postępowi technologicznemu, który obserwujemy w tej dziedzinie od roku 2000 w Niemczech oraz we Włoszech. Kraje te przodują (PV ACCEPT) w perfekcji technologicznej (Niemcy) jak i ciekawych rozwiązaniach estetycznych (Włochy).

Na zdjęciach (fot. 1 - 5) przedstawione są budynki o znaczącej wartości historycznej i także o małej wydajności energetycznej. Nie bierzemy tu pod uwagę grubości ścian, czy szczelności okien. Aspektem o należytych szacunku staje się w tym przypadku możliwość renowacji tych obiektów przy pomocy zainstalowania w odpowiednim miejscu (wyeksponowanym na południe) urządzeń solarnych. Ich kolor i faktura powinny być dopasowane do struktury istniejącego fragmentu zabudowy.



Fot. 1. Przestrzeń uliczna w zabudowie historycznej w Wittenberdze (Niemcy). Propozycja instalacji elementów fotowoltaicznych objąć może najwyżej położone powierzchnie dachowe o ciemnym zabarwieniu. Foto: Autorka

Fig. 1. The street space surrounded by the historical buildings in Wittenberg (Germany). The suggestion to install the photovoltaic elements refers to the roofs, which are placed at the very top of houses and of a dark colour. Photo: the author



Fot. 2. Budynek historyczny w Danii – na powierzchnię dachową oraz do fragmentów elewacji dodać można (z zachowaniem przepisów dotyczących zabytków) elementy fotowoltaiczne o ciemnym zabarwieniu podobnym do materiału istniejącego. Wzbogaci to bryłę estetycznie i zaktywizuje ją energetycznie. Foto: Autorka

Fig. 2. Historical building in Denmark – the photovoltaic elements may be added upon the roof surface and to parts of the facade (thereby the restrictions about the monumental protection must be obeyed). The new elements are to be of a dark colour and similar to the existing material. Such an esthetics would enrich the look of the shape of the house and it would activate it in the energetic sense. Photo: the auhtor



Fot. 3. Budynek należący do uniwersytetu w jednym z miast Portugalii nadaje się na zastosowanie elementów fotowoltaicznych: w dolnej części fotografii podłużna szeroka forma dachowa wykonana z betonu. Można na niej i do niej przymocować zestaw fotowoltaiczny, by zaktywizować obiekt energetycznie. Przy tym: warunki nasłonecznienia w tej szerokości geograficznej są wyjątkowo korzystne. Foto: Autorka

Fig. 3. The building belonging to the university in one of the Portuguese towns seems to be suitable for applying the photovoltaic elements: in the down part of the photo the long and wide form of the roof made of concrete. It would be possible to arrange on it a photovoltaic set, in order to activate the house in the energetic sense. Thereby: the sun conditions in this geographical latitude are uniquely advantageous. Photo: the author



Fot. 4-5. Dawne obiekty przemysłowe o ciemnym zabarwieniu dachów to propozycja dla wielkopowierzchniowych elementów fotowoltaicznych. W tym przypadku (fot.4: Szwecja, fot. 5: Dania) nowe struktury energetyczne nie będą ingerowały w istniejący wizerunek obiektów a jednocześnie zmodernizują dawną architekturę przemysłową. Foto: Autorka

Fig. 4-5. Former industrial buildings with roofs of a dark colour are suggested to be combined with the large-surfaced photovoltaic elements. In this case (fig.4: Sweden, fig.5: Denmark) new energetic structures will not interfere into the existing form of the houses and simultaneously they will renovate the old industrial architecture. Photo: the author



Fot. 6. Współczesny krajobraz przemysłowy w Danii oferuje szerokie możliwości ułożenia struktur fotowoltaicznych. Masywne bryły obiektów uatrakcyjnić można różnorodnymi kształtami form energooszczędnych (fotowoltaicznych). Foto: Autorka

Fig. 6. The modern industrial landscape in Denmark offers wide possibilities for placing photovoltaic structures. The massive shapes of buildings may be more attractive if composed with the diverse energy-saving elements (photovoltaics). Photo: the author

2. ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE – ICH STRUKTURA JAKO MOŻLIWOŚCI UNOWOCZEŚNIENIA BUDYNKÓW ISTNIEJĄCYCH

Budynki istniejące wymagają systematycznej modernizacji. Elementy fotowoltaiczne można kształtować w sposób umożliwiający wspomaganie tejże odnowy. Nadać im przy tym należy wymiar i barwę odpowiednią do struktury ściany lub dachu, na którym się te elementy umieszcza. Dostosowanie to daje nam poczucie jedności istniejącego fragmentu obiektu z fragmentem nowym.

Addycja ta powinna odbywać się spontanicznie, to znaczy w miarę upływu czasu stare części można zastępować nowymi lub dodawać je na dawną powierzchnię. Całość sprawia wtedy wrażenie zintegrowanej bryły, która jest po pierwsze unowocześniona, a po drugie także ożywiona, ponieważ zawiera już elementy aktywne energetycznie. W tym przypadku estetyka zyskuje na swej wartości i staje się bardziej nowoczesna, dostosowana do współczesnych kierunków twórczych w architekturze.

Przedstawione fotografie (fot. 6 i 8) to ilustracje obiektów, na których można instalować struktury fotowoltaiczne. Na budynku (fot. 7) zauważalna jest ciekawa forma

dachu, która jest uaktywniona nowym elementem o cechach energooszczędnych (fotowoltaicznych).



Fot. 7-8. Budynek sakralny w Rostock (Niemcy), przekształcony funkcjonalnie. Nowe użytkowanie to nowe potrzeby architektoniczne, dlatego też zainstalowano na dachu elementy fotowoltaiczne, które uatrakcyjnijają obiekt także estetycznie. Foto: Autorka
Fig. 7-8. A church in Rostock (Germany) re-used for new functions. New use means new architectural needs, therefore on the roof there are photovoltaic elements installed, which are also making the building more attractive. Photo: the author

3. STARE + NOWE = SIŁA ADAPTACJI

Integracja dawnych i współczesnych elementów to warunek utrzymania nowoczesnego wizerunku miasta. Współczesny postęp technologiczny wymaga zrównoważonego rozwoju tkanki budowlanej w mieście. Osiągnąć go można poprzez:

1. zastępowanie starych elementów nowymi na drodze renowacji obiektu,
2. dodanie tychże elementów do istniejącej części budynku,
3. dobudowę całego nowego fragmentu zabudowy, w postaci np. przeszklonej klatki schodowej/windy, ogrodu zimowego, strefy buforowej, etc.

Łączenie obiektów istniejących (lub ich części) z elementami (obiektami) nowymi to sposób na uaktualnienie architektoniczne (w tym estetyczne) brył budynków oraz uaktywnienie tkanki miejskiej w sensie energooszczędnym.

4. PODSUMOWANIE

Łączenie dziedzictwa architektonicznego z elementami fotowoltaicznymi jest sposobem na utrzymanie współczesności miejskiej.

Potrzeby mieszkańców miast stale się zmieniają i są różnorodne, ulegają wpływom nowoczesnych trendów technicznych. Chcąc stale ulepszać jakość ich życia należy wspólnie planować i działać na rzecz zrównoważonego rozwoju miast, nawiązując w istniejącej zabudowie (niezależnie od jej wieku) do najnowszych kierunków dzisiejszej techniki, utrzymując jej żywotność architektoniczną.

5. LITERATURA

- [1]. Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Rationelle Energieverwendung im Rahmen der Stadterneuerung. Forschungsprojekt BMBau RS II, Der Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Köln, 1981,
- [2]. Hermansdörfer I.: SolarDesign, Jovis Verlag, Berlin, 2005,
- [3]. Szponar A.: Fizjografia urbanistyczna, PWN SA, Warszawa, 2003,
- [4]. Włodarczyk A.: The adaptive re-use and re-integration of urban industrial areas. Case studies in Covilha (P), Zurich (CH), and Berlin (D), Wissenschaftlicher Verlag Berlin, Berlin, 2009.

HISTORICAL CITYSCAPE OF EUROPE AND PHOTOVOLTAIC ELEMENTS

SUMMARY

The sun is in architectural design a strong creative aspect – since ages it plays a meaning role in shaping the buildings and their surroundings. Thereby we observe a need of applying in practice already discovered designing clues.

The paper discusses as well esthetical aspect, of which role increases along with the advancement of technology in the architecture since the end of 20 century. Living houses and public buildings demand a precise analysis considering not only the aspect of use but also their appearance.

Energy-save architecture opens wide possibilities, and in this sense the paper presents the question of adaptation of new technique to the esthetics of existing buildings.