

Mgr inż. Marcin Idczak, dr inż. Aleksander Panek
 Politechnika Warszawska, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji

Koncepcja budynku samowystarczalnego energetycznie

W obliczu narastających problemów spowodowanych zmniejszaniem się zasobów paliw, wzrostem ich cen, a także pogorszeniem stanu środowiska naturalnego, stawiamy sobie pytanie o przyszłość energetyki. Dysponujemy już dziś technologiami wykorzystującymi energię źródeł odnawialnych, przyjaznych środowisku, które z powodzeniem mogą zastąpić konwencjonalne źródła energii. Źródła odnawialne wykorzystują energię słoneczną w sposób bezpośredni (jak w kolektorach słonecznych czy ogniwach fotowoltaicznych) lub też zakumulowaną (biomasa) czy przetworzoną jej postacią (energia wiatru, wody).

Celem artykułu jest przedstawienie wyników pracy magisterskiej mgr inż. Marcina Idczaka napisanej pod kierunkiem dr. inż. Aleksandra Panka na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, w Instytucie Ogrzewnictwa i Wentylacji. Praca polegała na doborze, zwymiarowaniu i oszacowaniu efektywności, także ekonomicznej, odnawialnych źródeł energii – kolektorów słonecznych, pompy ciepła i ogniw fotowoltaicznych – dla potrzeb typowego budynku jednorodzinny. Dobór wielkości systemów, ich efektywność zostały wyznaczone za pomocą dokładnych metod inżynierskich. Odnawialne źródła energii są natomiast najczęściej analizowane przy pomocy bardzo przybliżonych szacunkowych metod obliczeniowych.

Na potrzeby pracy została także przygotowana polska wersja programu GSHP2000, wchodzącego w skład pakietu RETScreen. Jest to program w formacie Excel służący do wstępnego wymiarowania kosztów inwestycyjnych i efektywności ekonomicznej instalacji z pompą ciepła.

Charakterystyka budynku

Do pracy wybrano projekt budynku jednorodzinny. Założono jego lokalizację w strefie podmiejskiej Warszawy. Lokalizacja jest istotna ze względu na parametry klimatyczne, takie jak: obliczeniowa temperatura zewnętrzna, dane dotyczące promieniowania słonecznego czy też właściwości gruntu. Rozpatrywany budynek to budynek wolno stojący, piętrowy, niepodpiwniczony, przeznaczony dla rodziny z dwojgiem dzieci. Dom został zaprojektowany tak, by w pomieszczeniach w jak najlepszy sposób wykorzystać światło naturalne oraz aby możliwe było pozyskiwanie energii słonecznej w sposób pasywny. Aby spełnić te założenia, został usytuowany na działce tak, by elewacja frontowa była elewacją wschodnią.

Zaprojektowana masa akumulacyjna konstrukcji ma sprzyjać regulacji mikroklimatu wnętrza. Część północna spełnia funkcję buforową (garaż, pomieszczenie techniczne, pracownia). Do budynku doprowadzone są wszelkie media.

Tabela 1
Dane ogólne

Wyszczególnienie	Parametry
Powierzchnia działki	1000 m ²
Powierzchnia budynku netto	150,0 m ² (+17,1 m ² garaż)
Powierzchnia zabudowy	149,2 m ²
Kubatura	421 m ³

Tabela 2
Przegrody budynku

Przegroda	Współczynnik przenikania ciepła U(W/m ² K)
Ściany zewnętrzne	0,231
Stropodach	0,148
Okna	2,000

Tabela 3
Dane klimatyczne

Wyszczególnienie	Parametry
Temperatura obliczeniowa dla ogrzewania	20°C
Szerokość geograficzna	52,28°N
Grunt	głina piaszczysta
Głębokość przemarzania gruntu	1,0 m
Średnia roczna temperatura gruntu	9,0°C
Średnia roczna amplituda temperatury gruntu	14,0°C
Współczynnik przewodzenia ciepła dla gruntu	1,4 W/mK
Dyfuzyjność gruntu	0,0065 cm ² /s
Gęstość gruntu	2000 kg/m ³

Zapotrzebowanie na energię

Założono, że budynek będzie zasilany wyłącznie energią elektryczną. W celu oszacowania jej zapotrzebowania na cele grzewcze dokonano obliczeń zgodnie z normą PN-B-02025 „Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynków mieszkalnych”. Obliczono także zapotrzebowanie na energię elektryczną na cele bytowe. W obliczeniach nie uwzględniono kuchni, zakładając, że w budynku zainstalowana zostanie kuchnia gazowa.

Wentylacja w budynku będzie realizowana za pomocą lokalnych zestawów nawiewno-wywiewnych RylkAir z odzyskiem ciepła. Dodatkowo w garażu, łazienkach i kuchni powietrze będzie usuwane grawitacyjnie przez kratki wywiewne. Zainstalowanie odzysku ciepła pozwoli na ograniczenie strat energii na ogrzanie powietrza wentylacyjnego o 49%.

Straty ciepła dla budynku wyniosą 6,9 kW, zaś sezonowe zapotrzebowanie na ciepło 10 300 kWh.

Zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową ustalono na 50 litrów na dzień, na osobę. Dla czterech mieszkańców, przy podgrzewaniu wody od 10°C (temperatura wody w wodociągu) do 55°C (temperatura wody w baterii czerpalnej) wymagana ilość energii to 13,75 GJ na rok.

W tabeli 4 przedstawiono szczegółowo przewidywane sezonowe zużycie energii elektrycznej. Założono, że budynek jest wyposażony w oświetlenie i inne urządzenia elektryczne wysokiej jakości, charakteryzujące się niskim zużyciem energii elektrycznej. Założono pewien profil użytkownika budynku przez czteroosobową rodzinę oraz standardowe wyposażenie budynku i na tej podstawie wyznaczono zużycie energii. W obliczeniach wzięto pod uwagę pracę instalacji grzewczej opartej na pompie ciepła i instalacji solarnej, co ma wpływ na wartość zużycia energii elektrycznej. Moc szczytowa prądu elektrycznego wynosi 13 kW, obliczeniowe natężenie prądu 20 A. Obliczenia zostały wykonane zgodnie z normą PN-IEC 60364-1:2000 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Zakres, przedmiot i wymagania podstawowe”.

Tabela 5

Zużycie energii elektrycznej w poszczególnych kategoriach

Miesiąc	CO, kWh	Oświetlenie, kWh	CWU, kWh	Pozostałe, kWh	Energia, kWh
Styczeń	537	84,4	51,3	244	917
Luty	443	74,5	40,3	244	802
Marzec	360	59,6	23,1	244	687
Kwiecień	184	49,7	14,2	244	493
Maj	9	39,7	1,8	244	295
Czerwiec	0	39,7	0	244	284
Lipiec	0	39,7	0	244	284
Sierpień	0	49,7	0	244	294
Wrzesień	10	59,6	14,4	244	329
Październik	199	69,5	42,8	244	556
Listopad	349	79,5	48,5	244	721
Grudzień	479	84,4	53,6	244	861
Razem	2570	730	290	2932	6523

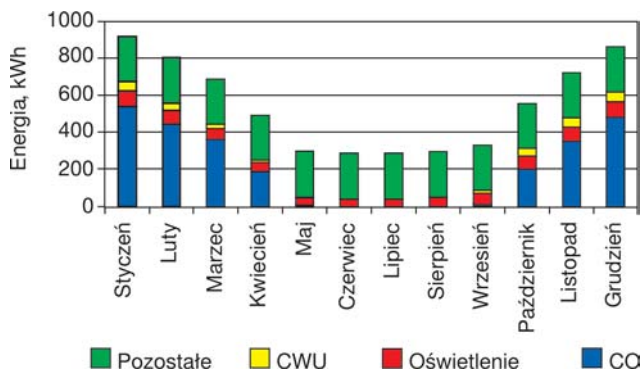
Należy zauważyć, że największy udział w zużyciu energii ma praca pompy ciepła na potrzeby ogrzewania. Dzięki zastosowaniu kolektorów słonecznych zapotrzebowanie na energię na potrzeby ciepłej wody użytkowej jest stosunkowo niewielkie.

Zużycie energii elektrycznej w budynku charakteryzuje duża sezonowość, co jest związane z intensywną pracą instalacji grzewczych w zimie, mniejszym natężeniem promieniowania słonecznego, krótszym dniem, co wpływa na słabszą wydajność kolektorów i dłuższą pracę oświetlenia.

Tabela 4

Zużycie energii elektrycznej

Urządzenie	Pobór mocy, W	Liczba, szt.	Czas pracy, h/d	Czas pracy, h/tyg.	Czas pracy, h/mies.	Czas pracy, h/rok	Energia, kWh/rok
Czajnik	600	1	0,5				109,5
Grzejnik/suszarka	170	3				300	153,0
Komputer	100	1	5				182,5
Kosiarka	400	1				6	2,4
Lampa na biurko	20	3	3				65,7
Lampa stojąca	25	2	0,5				9,1
Lampka nocna	20	4	0,5				14,6
Lodówka	100	1	24				876,0
Lokówka	12	2	0,25				2,2
Magnetowid	20	1		2			2,1
Odkurzacz	500	1		1			26,0
Opiekacz	300	1		0,2			3,1
Oświetlenie	400	1	6				876,0
Piła	600	1				2	1,2
Pompa ciepła	2091	1					2594,5
Pompa CO	25	2				5328	266,4
Pompa CWU	15	2				8760	131,4
Pompa cyrkulacyjna	25	1				8760	219,0
Pralka	1900	1		3			296,4
Radio	10	3	5				54,8
Robot kuchenny	150	1		0,3			2,3
Suszarka do włosów	300	2	0,25				54,8
Telewizor	40	4	1,75				102,2
Regeneracja	3	7				8760	184,0
Wiertarka	300	1			0,5		4,5
Zestaw radiofoniczny	50	1	1				18,3
Zmywarka	1000	1	1				365,0
Żelazko	500	1		2			52,0
Razem							6522,8 kWh/rok



Rys. 1. Zużycie energii elektrycznej w poszczególnych kategoriach

Poniżej zaprezentowane zostaną poszczególne systemy zainstalowane w budynku – system grzewczy i zasilania w energię elektryczną.

System grzewczy

Funkcją centrali grzewczej spełnia w budynku pompa ciepła. Pompa ciepła to urządzenie, które za pomocą cyklu przemian termodynamicznych podnosi potencjał termiczny energii czerpanej ze źródła niskotemperaturowego (0°–10°C) – w tym przypadku jest nim grunt – na wyższy poziom (30°–60°C), możliwy do wykorzystania w ogrzewnictwie. Dolne (niskotemperaturowe) źródło ciepła stanowią sondy pionowe. Sonda pionowa – to rura polietylenowa z zakończeniem U-kształtowym, o średnicy od 20 do 50 mm, wpuszczona w odwiert, który jest następnie wypełniany. Wewnątrz rury krąży czynnik odbierający ciepło gruntu i przekazujący je do pompy ciepła. Dobór sond został przeprowadzony na podstawie metody obliczeniowej podanej przez IGSHPA. Zostały zaprojektowane trzy sondy o średnicy 25 mm i długości 79 m. W porównaniu z kolektorami poziomymi, sondy pionowe dają bardziej stabilną temperaturę dolnego źródła ciepła i wymagają mniejszej powierzchni działki.

Pompa ciepła będzie zasilana ogrzewaniem niskotemperaturowe – podłogowe o parametrach pracy 45/35°C. Możliwe jest także zastosowanie innego typu ogrzewania niskotemperaturowego, jak na przykład ogrzewania ściennego czy instalacji z grzejnikami pojemnościowymi. Im niższa temperatura czynnika grzejnego, tym większy współczynnik wydajności pompy ciepła COP (ϵ). Współczynnik ten określa ilość uzyskanej energii cieplnej na jednostkę energii zużytej na pracę pompy ciepła.

W rozpatrywanym budynku pompa ciepła będzie pracowała ze średnim rocznym współczynnikiem wydajności COP o wartości 4,3.

$$\epsilon = \frac{\text{moc grzewcza}}{\text{moc napędowa}} = \frac{(\text{energia otoczenia} + \text{moc napędowa})}{\text{moc napędowa}}$$

Ciepło na potrzeby ciepłej wody użytkowej dostarczą płaskie, cieczowe kolektory słoneczne. Są to urządzenia absorbujące energię promieniowania słonecznego, jako energię cieplną, następnie wykorzystywaną do ogrzania czynnika krążącego w instalacji solarnej.

Odbiera on ciepło z powierzchni kolektora, przekazując je wodzie w zasobniku. Zainstalowane zostaną 4 kolektory o łącznej powierzchni 6,8 metrów kwadratowych. Kolektory będą usytuowane obok budynku, od strony południowej na standardowych stelażach tak, by uniknąć zacienienia. Kolektory będą nachylone pod kątem 45 stopni. To pozwoli na pokrycie zapotrzebowania w około 60% w ciągu roku. Resztę ciepła dostarczy pompa ciepła współpracująca z instalacją ciepłej wody użytkowej na zasadzie priorytetu CWU. Dodatkowo zasobnik CWU (o pojemności 150 litrów) będzie wyposażony we wkład grzewczy służący do dezynfekcji termicznej zbiornika.

Kolektory pracują ze średnią roczną sprawnością około 35%. Instalacja solarna powinna pokryć zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową w 66% w ciągu roku.

Tabela 6

Dane energetyczne zainstalowanych kolektorów słonecznych

Miesiąc	Zapotrzebowanie, kWh/ /miesiąc	Promieniowanie, kWh/ /dobę	Energia wytworzona, kWh/ /miesiąc	Bilans, kWh/ /miesiąc	Wydajność, %
Styczeń	324,6	1,37	93,72	-230,85	29
Luty	293,2	1,73	111,92	-181,24	38
Marzec	324,6	2,94	220,43	-104,14	68
Kwiecień	314,1	3,26	250,10	-64,00	80
Maj	324,6	3,85	316,43	-8,14	97
Czerwiec	314,1	4,23	341,60	27,50	109
Lipiec	324,6	4,11	340,70	16,13	105
Sierpień	324,6	4,30	345,91	21,34	107
Wrzesień	314,1	3,36	249,11	-64,99	79
Październik	324,6	1,79	132,07	-192,50	41
Listopad	314,1	1,41	95,67	-218,43	30
Grudzień	324,6	1,22	83,38	-241,19	26
Razem	3821,6	-	2581,03	-1305,48	66

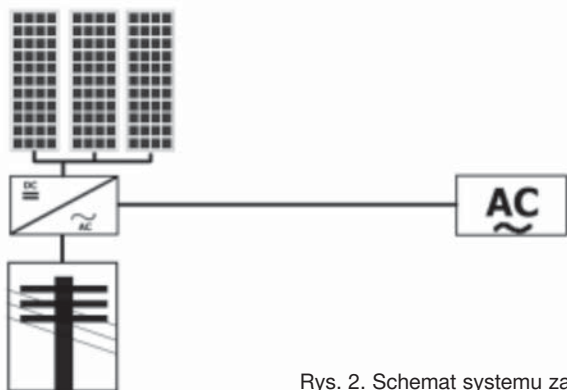
W miesiącach letnich kolektory są w stanie pokryć całkowicie zapotrzebowanie na ciepłą wodę, natomiast w zimie jedynie na poziomie poniżej 30%.

System zasilania w energię elektryczną

Zasilanie w energię elektryczną będzie realizowane za pomocą modułów fotowoltaicznych. Moduł fotowoltaiczny to zespół ogniw fotowoltaicznych. Ogniwa natomiast to złącza półprzewodnikowe typu n-p, które pod wpływem promieniowania słonecznego wytwarzają pomiędzy sobą barierę potencjału, która po zamknięciu obwodu zamieniana jest na przepływ prądu.

Ogniwa fotowoltaiczne wytwarzają prąd stały z energii słonecznej będąc najczystszy znanym obecnie źródłem energii. Modułami fotowoltaicznymi zostanie pokryta cała możliwa do wykorzystania część dachu. Na południowych połaciach dachu nachylonych pod kątem 25 i 35 stopni zostaną umieszczone 53 metry kwadratowe modułów fotowoltaicznych. Będą to moduły polikrystaliczne pracujące ze sprawnością w standardowych warunkach testowych na poziomie 17%. Takie usytuowanie modułów jest nieco gorsze od optymalnego kąta 45 stopni, lecz straty tym spowodowane sięgną jedynie około 0,2%.

Moduły będą połączone do falowników przetwarzających wytwarzany prąd stały na prąd zmienny wykorzystywany w budynku. System fotowoltaiczny będzie wpięty do sieci. Energia z sieci będzie pobierana tylko wtedy, gdy zapotrzebowanie na nią przewyższy jej produkcję w ogniwach. Akumulatory w takim systemie nie są potrzebne, gdyż sieć jest w stanie przyjąć całą energię wyprodukowaną przez system fotowoltaiczny.



Rys. 2. Schemat systemu zasilania

Tabela 7

Energia wytwarzana przez system fotowoltaiczny

Miesiąc	Wytworzona ilość energii, kWh
Styczeń	123,1
Luty	238,1
Marzec	405,4
Kwiecień	560,3
Maj	752,7
Czerwiec	676,1
Lipiec	720,5
Sierpień	653,3
Wrzesień	448,2
Październik	316
Listopad	149,6
Grudzień	84,6
Razem	5127,9

W okresie letnim fotowoltaika będzie w stanie pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną z nadwyżką. Nawet wtedy jednak, w okresach zwiększonego poboru energii bądź zwiększonego zachmurzenia, będą występowały chwilowe niedobory energii. W okresie zimowym natomiast ilość wytwarzanej energii będzie niewielka. Niedobory energii będą zjawiskiem bardzo częstym.

Bilans energii

Niedobory energii będą uzupełniane z sieci energetycznej, a jej nadwyżki tam odprowadzane. Rozliczenie z dostawcą energii będzie prowadzone za pomocą cyfrowego licznika energii. Zasady i taryfy rozliczeń są ustalane przez dostawcę energii na podstawie obowiązujących przepisów. Zgodnie z rozporządzeniem ministra infrastruktury zakłady energetyczne mają obowiązek zakupu energii ze źródeł odnawialnych wedle ustalonej stawki.

W opracowaniu tym założono, że w rozliczeniu z zakładem energetycznym obowiązuje zasada, że koszt jednostkowy energii zakupionej jest równy kosztowi jednostkowemu energii sprzedanej. W rozpatrywanym budynku wyprodukowana przez system fotowoltaiczny energia nie przewyższy zużycia energii w ciągu roku. Można zatem w rozliczeniu z zakładem energetycznym odjąć ilość oddanej do sieci energii od energii pobranej. Uzyskana różnica to energia elektryczna, za którą uiszcza się opłatę według standardowej taryfy.

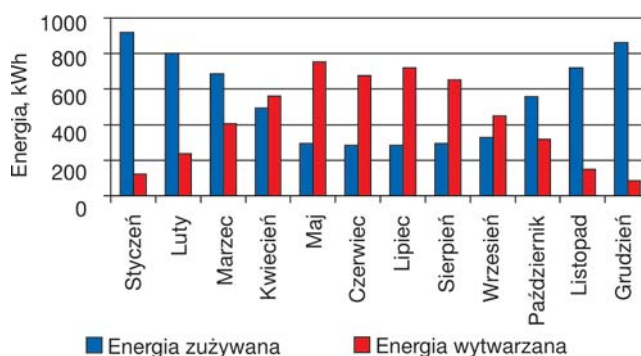
Dodatkowym kosztem dla odbiorcy energii jest koszt za instalowania niestandardowego licznika energii. Takie przepisy obowiązują w wielu krajach między innymi w Danii czy w Kalifornii w Stanach Zjednoczonych. W Niemczech, w myśl rządowego programu „100 000 dachów”, zakłady energetyczne miały obowiązek kupowania energii wytworzonej przez systemy fotowoltaiczne za cenę znacznie wyższą od ceny energii wyprodukowanej w elektrowniach konwencjonalnych.

Obecnie w Polsce, w myśl obowiązującej taryfy, koszt energii sprzedawanej do sieci ze źródła odnawialnego jest znacznie niższy od kosztów energii zakupionej w zakładzie energetycznym.

W ciągu roku system fotowoltaiczny dostarczy 5127,9 kWh energii, zaś potrzeby budynku wyniosą 6523 kWh/rok. Fotowoltaika jest więc w stanie pokryć 78% całkowitego zapotrzebowania na energię. Zapotrzebowanie na energię jest szczególnie wysokie w zimie, kiedy pracuje pompa ciepła i korzystamy więcej z oświetlenia, a także innych urządzeń (telewizor, radio). W zimie natężenie promieniowania słonecznego jest szczególnie niskie, a dzień krótki. Lato będzie natomiast okresem, gdzie odnotowane zostaną nadwyżki produkcji energii. Jest to okres, w którym zużywa się mniej energii, częściej przebywa poza domem, natężenie promieniowania słonecznego jest wysokie, a dzień długi.

Na rysunku 3 i w tabeli 8 przedstawiono bilans produkcji i zużycia energii w ciągu roku.

Rozpatrywany budynek zużywa dzięki zastosowanemu systemowi grzewczemu o 75% mniej energii. Jeśli weźmiemy pod uwagę własną produkcję energii elektrycznej w panelach fotowoltaicznych osiąga się o 95% niższe zużycie energii w ciągu roku w stosunku do typowego budynku.

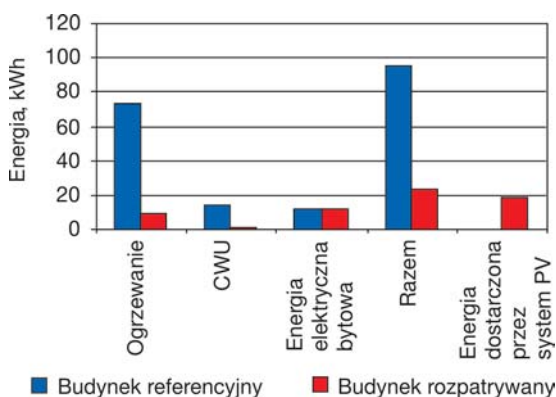


Rys. 3. Bilans energii

Tabela 8

Bilans energii

Miesiąc	Produkcja, kWh	Zużycie, kWh	Bilans, kWh
Styczeń	123,1	917	-794
Luty	238,1	802	-564
Marzec	405,4	687	-282
Kwiecień	560,3	493	68
Maj	752,7	295	458
Czerwiec	676,1	284	392
Lipiec	720,5	284	436
Sierpień	653,3	294	359
Wrzesień	448,2	329	120
Październik	316	556	-240
Listopad	149,6	721	-571
Grudzień	84,6	861	-777
Lato (V-IX)	3250,8	1486	1765
Zima (X-IV)	1877,1	5037	-3160
Razem	5127,9	6523	-1395



Rys. 4. Porównanie zużycia energii

Przeprowadzono analizę spodziewanej redukcji emisji gazów cieplarnianych. Gazy cieplarniane to przede wszystkim dwutlenek węgla, metan i dwutlenek azotu. Powodują one tak zwany „efekt cieplarniany”, czyli zwiększanie się średniej temperatury na ziemi wskutek nadmiernej absorpcji promieniowania słonecznego w atmosferze. W ciągu roku należy się spodziewać ograniczenia emisji gazów cieplarnianych dzięki rozpatrywanej inwestycji o 6,5 tony CO₂. Wyniki takiej analizy mogą zostać wykorzystane w przypadku wprowadzenia programów wspomagających inwestycje ograniczające emisję.

Przyjmując, że średni koszt ograniczenia emisji CO₂ w Polsce wynosi 40 USD za tonę, przy okresie eksploatacji wynoszącym 30 lat, uzyskano by dodatkową kwotę 7800 USD, która zwiększyłaby zyski inwestora.

Analiza ekonomiczna

Celem analizy ekonomicznej jest zwymiarowanie relacji nakładów inwestycyjnych do efektów inwestycji. Koszty inwestycyjne instalacji fotowoltaicznej są na tyle wysokie, że trudno się spodziewać otrzymania satysfakcjonujących wartości wskaźników ekonomicznych.

Przedstawiona analiza polega na porównaniu zaprezentowanych rozwiązań z rozwiązaniami konwencjonalnymi. Budynek referencyjnym (odniesienia) jest budynek identyczny z rozpatrywanym. Budynek ten jest zasilany w energię elektryczną jedynie z sieci. System grzewczy w budynku referencyjnym wyposażono w kocioł kondensacyjny, gazowy pracujący na potrzeby ogrzewania i ciepłej wody użytkowej.

Koszty inwestycyjne (w zł) przedstawiają się następująco:

Koszt systemu fotowoltaicznego	196 000
Koszt instalacji solarnej	22 900
Koszt instalacji z pompą ciepła	42 500
Koszt instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła	8 000
Koszt typowej instalacji grzewczej z kotłem gazowym	27 700
Różnica nakładów	240 500

Roczne oszczędności (w zł) wyniosą natomiast:

Opłata za gaz zużyty w budynku referencyjnym	2 388
Opłata za energię elektryczną zużyta w budynku referencyjnym	1 383
Opłata za energię elektryczną zużyta w rozpatrywanym budynku	588
Oszczędność	3 183

Prosty czas zwrotu:

$$SPBT = \frac{K}{O} = \frac{240\,500}{31\,830} = 76 \text{ lat}$$

Należy zauważyć, że oszczędności uzyskane są głównie dzięki zainstalowaniu odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego. Efekt ekonomiczny pompy ciepła, kolektorów słonecznych czy paneli fotowoltaicznych jest dużo mniejszy przy wielokrotnie wyższych nakładach inwestycyjnych.

Można stwierdzić, że zaprezentowana inwestycja nie jest ekonomicznie uzasadniona. Zainwestowane środki nie gwarantują oszczędności na odpowiednio wysokim poziomie.

Podsumowanie

W projekcie przedstawionym w niniejszym artykule uwzględniono jedynie niektóre aspekty koncepcji budynku samowystarczalnego energetycznie. Konieczna jest dalsza praca i dalsze dokładniejsze analizy uwzględniające szersze spektrum zagadnień. Należałoby się zastanowić nad samą koncepcją architektoniczną budynku, którego konstrukcja pozwoliłaby na dalsze zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło poprzez zwiększenie izolacyjności przegród, optymalizację zysków słonecznych, maksymalne wykorzystanie naturalnego oświetlenia, dostosowanie dachu i pomieszczeń gospodarczych do potrzeb projektowanych instalacji. Należy także poprawić koncepcję wentylacji budynku, przeanalizować kwestię odzysku ciepła z wody szarej. Ważne jest odpowiednie wkomponowanie budynku w otoczenie z wykorzystaniem specyfiki lokalnych uwarunkowań. Istotna jest także akumulacyjność cieplna otoczenia czy możliwość wykorzystania naturalnych warunków jako osłony przed nadmierną infiltracją wiatru (np. drzewa).

Zbudowanie badawczego obiektu zgodnie z przedstawioną koncepcją pozwoliłoby na sprawdzenie poprawności doboru wielkości urządzeń, zbadanie zużycia i produkcji energii w różnych warunkach pogodowych i przy różnym profilu użytkownika budynku. Dzięki temu w przyszłości powstawałyby nowe, lepsze projekty. W Polsce badania budynków niskoenergetycznych, wykorzystujących także źródła energii odnawialnej ograniczają się jednak najczęściej do rozważań teoretycznych.

W naszym kraju nie ma także programów wspierających w odpowiednim stopniu inwestycje proekologiczne. Obecna relacja cen za towary, usługi i energię powoduje, że nie są one uzasadnione ekonomicznie. W perspektywie kilku lat należy się jednak spodziewać wzrostu cen energii ze źródeł konwencjonalnych, zwiększenia wydajności kolektorów słonecznych, ogniw fotowoltaicznych, pomp ciepła przy jednoczesnym spadku kosztów ich produkcji.

Praca magisterska przedstawiona w opracowaniu, a także wspomniany program GSHP2000, będą udostępnione na stronie internetowej www.budynekpasywny.pl. Jest to strona grupy badawczej zajmującej się zagadnieniami budownictwa pasywnego, zrównoważonego i odnawialnymi źródłami energii, której członkiem jest autor.

LITERATURA

- [1] Brodowicz K., Dyakowski T.: Pompy ciepła. PWN, Warszawa 1990
- [2] Cane D., Forgas D.: Modeling of ground-source heat pump performance. ASHRAE Transactions, 1991
- [3] Dzierzgowski M., Rabjasz R.: Ogrzewanie podłogowe. Poradnik. COIB, Warszawa 1995
- [4] Jarzębski Z.: Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna. PWN, Warszawa 1990
- [5] Panek A, Jędrzejewska-Ścibak T.: Ewolucja kryteriów wartościowania jakości obiektów budowlanych. IX Konferencja naukowo-techniczna pt. Fizyka budowli w teorii i praktyce, Łódź, 10–13 czerwca 2003
- [6] Panek A.: E-audyt metoda oceny oddziaływania na środowisko obiektów budowlanych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa grudzień 2002
- [7] Rubik M.: Pompy ciepła – poradnik. Agencja Wydawnicza Jacek Santorski, Warszawa 1999
- [8] Smolec W.: Fototermiczna konwersja energii słonecznej. PWN, Warszawa 2000
- [9] Zalewski W.: Pompy ciepła. IPPU MASTA, Warszawa 2001
- [10] Fotowoltaika Polska <http://www.pv.pl>, 2003
- [11] Wytyczne projektowe firmy *Viessmann* „Systemy pomp ciepła”, 2003
- [12] Wytyczne projektowe firmy *Viessmann* „Systemy solarne”, 2003