

## **Budynek samowystarczalny energetycznie**

### ***Wstęp***

Jednym z najważniejszych elementów polityki UE jest polityka energetyczna. W jej realizacji UE kieruje się zasadą zrównoważonego rozwoju. Dokumentami kształtującymi politykę energetyczną UE są: „Zielona Księga – strategia UE dotycząca zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego” oraz „Biała Księga – strategia rozwoju energetyki odnawialnej”. To z nich wynika szereg działań ustawodawczych mających na celu ograniczenie oraz racjonalizację zużycia energii takich jak choćby „Dyrektywa 2002/91/EC w sprawie charakterystyki energetycznej budynków”.

Motywacją do podejmowania działań na rzecz oszczędności energii są aspekty geopolityczne, ekonomiczne, prawne oraz środowiskowe. Światowe zasoby paliw stopniowo się wyczerpują. Ceny ropy i gazu, które są podstawowymi surowcami energetycznymi rosną, zaś bezpieczeństwo importu surowców energetycznych, od których gospodarka UE jest uzależniona, jest często zakłócanie przez konflikty polityczne. Spalanie paliw kopalnych wiąże się z emisją gazów cieplarnianych i pogorszeniem stanu środowiska naturalnego. Kraje Unii jako sygnatariusze Protokołu z Kyoto są zobowiązane do sukcesywnego zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych o określoną wartość w stosunku do poziomu wyjściowego z 1990 roku.

Obecnie najwięcej energii w UE pochłania sektor komunalny (około 41%). Większość tej energii jest przeznaczana na ogrzewanie pomieszczeń (57%) oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej (25%). Na pierwszy rzut oka widać więc, że to w tym obszarze należy szukać oszczędności.

Celem niniejszego artykułu jest zweryfikowanie technicznej możliwości oraz rozważenie ekonomicznej zasadności skonstruowania w warunkach polskich budynku samowystarczalnego energetycznie. Budynek, w którym zastosowane rozwiązania techniczne umożliwią znaczne ograniczenie zużycia energii w stosunku do budynku typowego, a zintegrowane z jego konstrukcją odnawialne źródła energii (moduły fotowoltaiczne, kolektory słoneczne, gruntowa pompa ciepła) będą w stanie pokryć niemal całkowicie zapotrzebowanie budynku na energię na potrzeby grzewcze i bytowe.

### ***1. Charakterystyka budynku***

Z uwagi na wysokie koszty inwestycyjne systemów energetycznych rozpatrywanych w niniejszym artykule, konieczne jest w pierwszym rzędzie ograniczenie zapotrzebowania na moc i energię w budynku. Dzięki temu możliwy będzie dobór mniejszych urządzeń o niższym koszcie. Na potrzeby analizy wybrano projekt budynku energooszczędnego. Założono jego lokalizację w strefie podmiejskiej Warszawy. Rozpatrywany budynek to budynek wolnostojący, piętrowy, niepodpiwniczony, przeznaczony dla rodziny czteroosobowej. Dom został zaprojektowany tak, by w pomieszczeniach w jak najlepszy sposób wykorzystać światło dzienne 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 rolę buforową (garaż, pomieszczenie techniczne, pracownia). Do budynku doprowadzone są wszelkie media.

Przegrody budynku charakteryzują się wysoką izolacyjnością cieplną (Tabela 2). Dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu detali konstrukcyjnych mostki ciepła zostały wyeliminowane ograniczając znacznie straty ciepła (o około 5%). Zastosowano

energooszczędne okna charakteryzujące się jednocześnie wysokim współczynnikiem przepuszczalności promieniowania słonecznego (63%). Zakłada się, że budynek zostanie wykonany w sposób staranny, a połączenia elementów konstrukcyjnych w tym montaż stolarki budowlanej przeprowadzony zostanie ze szczególną dbałością o szczelność połączeń. Dzięki temu ograniczone zostaną straty związane z pracą systemu wentylacji w budynku. W budynku zainstalowany zostanie system wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła na poziomie 90%.

Przyjęte rozwiązania zmierzające do uzyskania oszczędności zużycia energii w budynku są rozwiązaniami nietypowymi. Koszt ich realizacji przekroczy koszt budowy tego samego budynku wykonanego zgodnie z obowiązującymi normami o około 20-30%. Warto jednak zauważyć, iż koszty inwestycyjne zwrócą się w postaci oszczędności eksploatacyjnych w ciągu około 20 lat. Przyjmuje się, iż inwestor kierując się wynikami analizy ekonomicznej w cyklu życia budynku zdecydował się na podjęcie takich właśnie kroków. Tym samym w analizie ekonomicznej nie traktowano kosztów budowy budynku energooszczędnego jako kosztów „dodatkowych”.



Rysunek 1. Wizualizacja budynku (na pierwszym planie elewacja wschodnia).

**Tabela 1. Dane ogólne**

Powierzchnia działki	1000 m <sup>2</sup>
Powierzchnia całkowita	215,6 m <sup>2</sup>
Powierzchnia netto (ogrzewana)	160,0 m <sup>2</sup>
Powierzchnia zabudowy	149,2 m <sup>2</sup>
Kubatura	683,5 m <sup>3</sup>

**Tabela 2. Przegrody budynku**

Przegroda	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m <sup>2</sup> K]
Ściany zewnętrzne	0,10
Posadzka na gruncie	0,12
Stropodach	0,11
Okna	1,00

## 2. Zapotrzebowanie na energię cieplną

W celu oszacowania zapotrzebowania budynku na energię na cele grzewcze dokonano obliczeń za pomocą programu Audytor OZC, zgodnie z normą PN-B-02025 "Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynków mieszkalnych". Zapotrzebowanie na moc cieplną budynku na potrzeby ogrzewania wyniesie 3591 W. Roczne zużycie ciepła wyniesie 4324 kWh/a. Zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową przyjęto na 50 litrów na dzień, na jedną osobę. Dla 4 mieszkańców, przy podgrzewaniu wody od 10°C (temperatura wody w wodociągu) do 45°C (temperatura wody w baterii czerpalnej) wymagana ilość energii to 2971 kWh/a. Moc grzewcza wymagana na podgrzanie wody wynosi 1017 W. Zakłada się, że w budynku zostaną zainstalowane nowoczesne baterie czerpalne z perlatorami oraz termostatami, umożliwiające racjonalną gospodarkę wodą w budynku.

**Tabela 3. Wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię cieplną**

Obliczeniowa moc cieplna systemu grzewczego	3591 W
Wskaźnik mocy cieplnej systemu	22,4 W/m <sup>2</sup>
Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku	4324 kWh/a
Wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło	27,0 kWh/m <sup>2</sup> a
Obliczeniowa moc cieplna na przygotowanie CWU	1017 W
Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło na przygotowanie CWU	2971 kWh/a
Zapotrzebowanie na moc cieplną razem	4608 W
Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło razem	7295 kWh/a

## 3. System grzewczy

W analizie założono, że budynek będzie zasilany wyłącznie energią elektryczną, pochodzącą głównie ze źródeł odnawialnych (moduły fotowoltaiczne). Takie założenie implikuje dobór źródła ciepła. W celu osiągnięcia możliwie niewielkiego poboru mocy oraz zużycia energii elektrycznej na potrzeby grzewcze najrozsądniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie pompy 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 mm do 50 mm, wpuszczona w odwiert, który jest następnie wypełniany. Wewnątrz rury krąży czynnik odbierający ciepło gruntu i przekazujący je do pompy ciepła (Rubik, 1999). 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 do kolektorów poziomych, sondy pionowe umożliwiają osiągnięcie bardziej stabilnej temperatury dolnego źródła ciepła i wymagają mniejszej powierzchni działki. Pompa ciepła o mocy grzewczej 5 kW będzie zasilala ogrzewanie 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 wyższy współczynnik wydajności pompy ciepła COP ( $\epsilon$ ). Współczynnik ten określa ilość uzyskanej energii cieplnej na jednostkę energii zużytej na pracę pompy ciepła (Zalewski, 2001). W rozpatrywanym układzie pompa ciepła będzie pracowała ze średniorocznym współczynnikiem wydajności COP o wartości 3,3.

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

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 (Smolec, 2000). Zainstalowane zostaną 4 kolektory o łącznej powierzchni 6,0 m<sup>2</sup>. Kolektory zostaną usytuowane obok budynku, od strony południowej na standardowych stelażach w sposób gwarantujący swobodny dostęp promieniowania słonecznego. Kolektory będą nachylone do poziomu pod kątem 45°. Taka konfiguracja pozwoli na pokrycie zapotrzebowania na ciepło na potrzeby ciepłej wody użytkowej w około 66% w ciągu roku. W miesiącach letnich kolektory są w stanie pokryć całkowicie zapotrzebowanie na ciepłą wodę, natomiast w zimie jedynie na poziomie poniżej 30%. Resztę ciepła dostarczy pompa ciepła współpracująca z instalacją ciepłej wody użytkowej. Zasobnik CWU (o pojemności 150 litrów) będzie wyposażony w szczytową grzałkę elektryczną służącą do dezynfekcji termicznej zbiornika.

**Tabela 4. Wydajność energetyczna kolektorów słonecznych**

Miesiąc	Zapotrzebowanie	Energia wytworzona	Bilans	Wydajność
-	[kWh/miesiąc]	[kWh/miesiąc]	[kWh/miesiąc]	[%]
Styczeń	252,3	71,7	-180,7	28,4
Luty	227,9	85,6	-142,3	37,6
Marzec	252,3	168,6	-83,8	66,8
Kwiecień	244,2	191,3	-52,9	78,3
Maj	252,3	242,0	-10,3	95,9
Czerwiec	244,2	261,2	17,0	107,0
Lipiec	252,3	260,5	8,2	103,3
Sierpień	252,3	264,5	12,2	104,8
Wrzesień	244,2	190,5	-53,7	78,0
Październik	252,3	101,0	-151,3	40,0
Listopad	244,2	73,2	-171,0	30,0
Grudzień	252,3	63,8	-188,6	25,3
Razem	2970,9	1973,7	-997,2	66,3

#### 4. Zapotrzebowanie na energię elektryczną

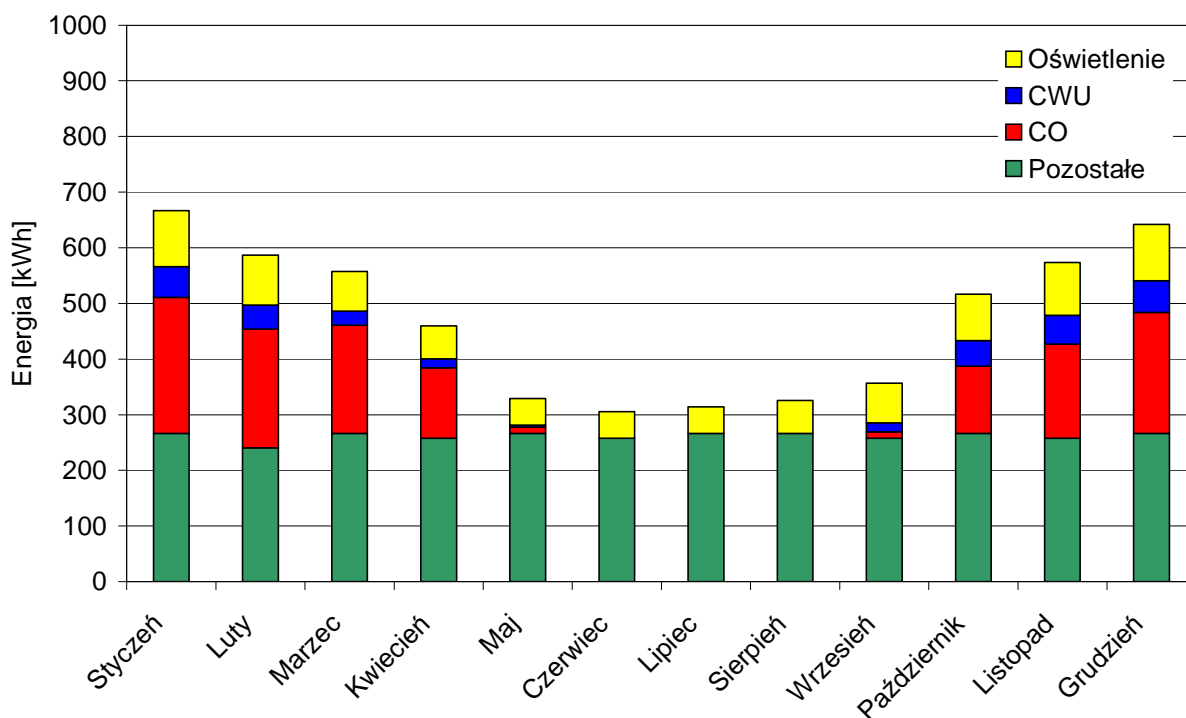
W Tabeli 5 przedstawiono szczegółowo przewidywane roczne zużycie energii elektrycznej. Założono, że budynek jest wyposażony w oświetlenie i inne urządzenia elektryczne wysokiej jakości, charakteryzujące się niskim zużyciem energii elektrycznej. W obliczeniach nie uwzględniono kuchni, zakładając, że w budynku zainstalowana zostanie kuchnia gazowa. Zużycie energii elektrycznej oszacowano na podstawie przyjętego profilu użytkownika budynku przez czteroosobową rodzinę dla standardowego wyposażenie budynku. W obliczeniach uwzględniono pracę instalacji grzewczej wykorzystującej pompę ciepła i współpracującej z instalacją solarną. 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”. Dzięki zastosowaniu kolektorów słonecznych zapotrzebowanie na energię na potrzeby ciepłej wody użytkowej jest stosunkowo niewielkie. Stosunkowo duży udział w zużyciu energii ma praca pompy ciepła na potrzeby ogrzewania.

**Tabela 5. Zużycie energii elektrycznej**

Urządzenie	Pobór mocy	Ilość	Energia
-	[W]	[szt.]	[kWh/a]
Czajnik	600	1	109,5
Grzałka CWU	2000	1	32,0
Grzejnik/suszarka	170	3	153,0
Komputer	100	1	182,5
Kosiarka	400	1	2,4
Lampa na biurko	20	3	65,7
Lampa stojąca	25	2	9,1
Lampka nocna	20	4	14,6
Lodówka	100	1	438,0
Lokówka	12	2	2,2
Magnetowid	20	1	2,1
Odkurzacz	500	1	26,0
Opiekacz	300	1	3,1
Oświetlenie	400	1	876,0
Piła	600	1	1,2
Pompa ciepła	1396	1	1623,8
Pompa CO	25	2	266,4
Pompa CWU	15	2	131,4
Pompa cyrkulacyjna	25	1	219,0
Pralka	1900	1	296,4
Radio	10	3	54,8
Robot kuchenny	150	1	2,3
Suszarka do włosów	300	2	54,8
Telewizor	40	4	102,2
Wentylacja	220	1	525,6
Wiertarka	300	1	4,5
Zestaw radiofoniczny	50	1	18,3
Zmywarka	1000	1	365,0
Żelazko	500	1	52,0
<b>Razem</b>			<b>5633,8</b>

**Tabela 6. Zużycie energii elektrycznej**

Miesiąc	CO	CWU	Oświetlenie	Pozostałe	Energia
-	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Styczeń	244,7	54,7	101,3	266,2	666,9
Luty	213,4	43,1	89,4	240,4	586,4
Marzec	194,5	25,4	71,5	266,2	557,6
Kwiecień	126,5	16,0	59,6	257,6	459,7
Maj	12,0	3,1	47,7	266,2	329,0
Czerwiec	0,0	0,0	47,7	257,6	305,3
Lipiec	0,0	0,0	47,7	266,2	313,8
Sierpień	0,0	0,0	59,6	266,2	325,8
Wrzesień	11,5	16,3	71,5	257,6	356,8
Październik	121,3	45,9	83,4	266,2	516,8
Listopad	169,0	51,8	95,3	257,6	573,7
Grudzień	217,5	57,1	101,3	266,2	642,1
<b>Razem</b>	<b>1310,3</b>	<b>313,5</b>	<b>876,0</b>	<b>3134,0</b>	<b>5633,8</b>

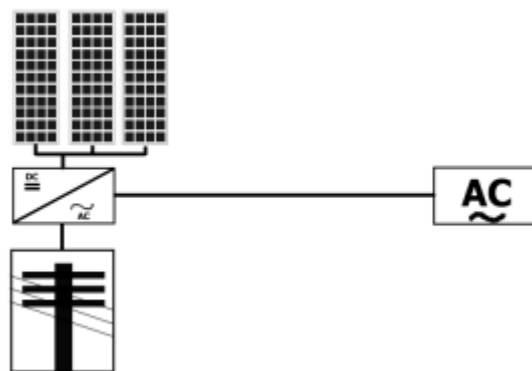


Rysunek 2. Zużycie energii elektrycznej.

### 5. 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 barierę potencjału, która po zamknięciu obwodu zamieniana jest na przepływ prądu. Ogniwa fotowoltaiczne wytwarzają prąd stały z energii słonecznej będąc najczystszym znanym obecnie źródłem energii (Jarzębski, 1990).

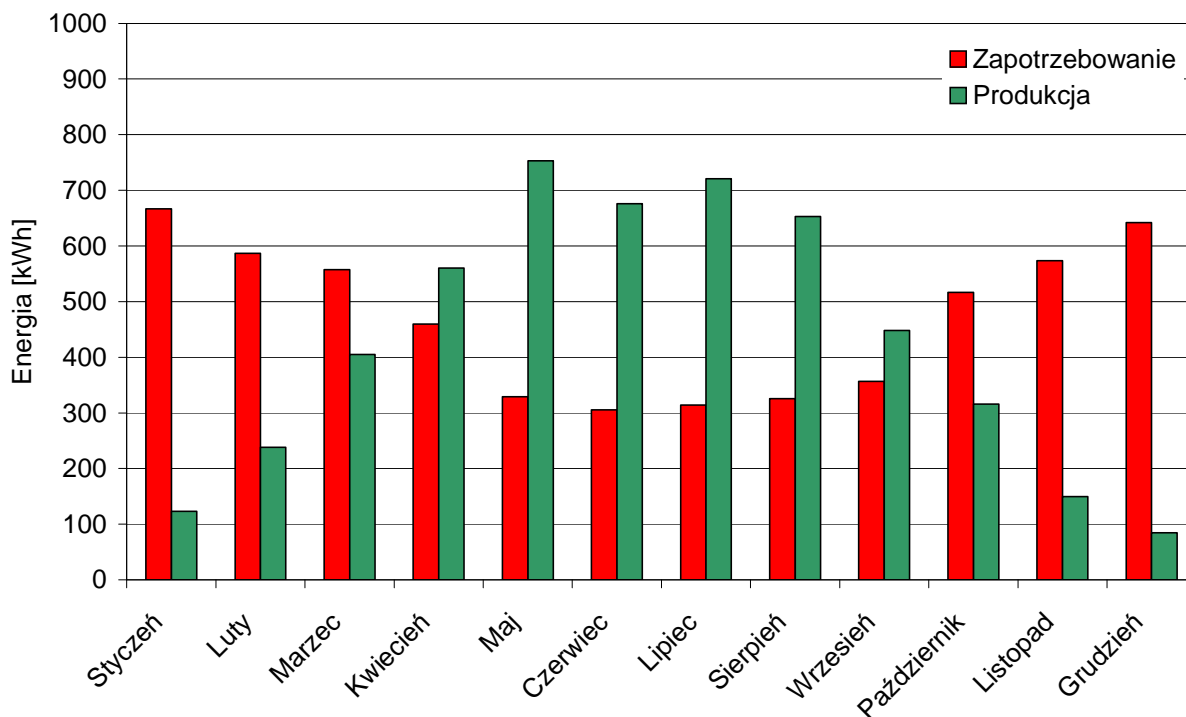
Modułami fotowoltaicznymi zostanie pokryta cała możliwa do wykorzystania część dachu zorientowana w stronę południową. Na połaciach nachylonych pod kątem  $25^\circ$  i  $35^\circ$  zostaną umieszczone  $53 \text{ m}^2$  modułów fotowoltaicznych. Będą to moduły polikrystaliczne pracujące ze sprawnością w standardowych warunkach testowych na poziomie 17%. Takie usytuowanie modułów jest nieco gorsze od optymalnego kąta  $45^\circ$ , lecz straty tym spowodowane to jedynie około 0,2%. Moduły będą podłączone 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. Nie przewiduje się wykorzystania akumulatorów w systemie, gdyż sieć jest w stanie przyjąć całą energię wyprodukowaną przez system fotowoltaiczny. Moc systemu wyniesie 6,2 kWp.



Rysunek 3. Schemat systemu zasilania

Niedobory energii będą uzupełniane z sieci energetycznej, a jej nadwyżki tam odprowadzane. Rozliczenie z dostawcą energii może być prowadzone za pomocą cyfrowego licznika energii. W analizie 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 należy uiścić opłatę według odpowiedniej taryfy.

Ilość energii wytwarzanej przez system fotowoltaiczny obliczono za pomocą wersji demonstracyjnej programu PVSYST V3.20. Program został opracowany przez Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie (Université de Genève). W ciągu roku system fotowoltaiczny dostarczy 5127,9 kWh energii, zaś potrzeby energetyczne budynku wyniosą 5633,8 kWh/a. Fotowoltaika jest więc w stanie pokryć aż 91% całkowitego zapotrzebowania na energię budynku. Zapotrzebowanie na energię jest szczególnie wysokie w zimie, kiedy pracuje pompa ciepła i korzystamy więcej z oświetlenia, a także innych urządzeń. 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 4 i w Tabeli 7 przedstawiono bilans produkcji i zużycia energii w budynku w ciągu roku.



Rysunek 4. Bilans energii

**Tabela 7. Bilans energii**

Miesiąc	Produkcja	Zużycie	Bilans
-	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Styczeń	666,9	123,1	-557,3
Luty	586,4	238,1	-358,5
Marzec	557,6	405,4	-156,6
Kwiecień	459,7	560,3	98,9
Maj	329,0	752,7	426,1
Czerwiec	305,3	676,1	372,5
Lipiec	313,8	720,5	408,3
Sierpień	325,8	653,3	329,2
Wrzesień	356,8	448,2	89,6
Październik	516,8	316	-211,5
Listopad	573,7	149,6	-436,8
Grudzień	642,1	84,6	-571,7
<b>Razem</b>	<b>5633,8</b>	<b>5127,9</b>	<b>-567,8</b>
<b>Lato (V-IX)</b>	<b>1630,7</b>	<b>3250,8</b>	<b>1625,8</b>
<b>Zima (X-IV)</b>	<b>4003,2</b>	<b>1877,1</b>	<b>-2193,5</b>

## 6. Analiza ekonomiczna

Celem analizy ekonomicznej jest określenie relacji nakładów 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. Budynkiem 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 przedstawiają się następująco:

<b>Wyszczególnienie</b>	<b>Koszt [zł]</b>
Koszt systemu fotowoltaicznego	124800
Koszt instalacji solarnej	13500
Koszt instalacji z pompą ciepła	34300
Koszt instalacji grzewczej z kondensacyjnym kotłem gazowym	14600
<b>Różnica nakładów</b>	<b>158000</b>

Roczne oszczędności wyniosą natomiast:

<b>Wyszczególnienie</b>	<b>Opłata [zł/a]</b>
Opłata za gaz zużyty w budynku referencyjnym	1084
Opłata za energię elektryczną zużytą w budynku referencyjnym	1634
Opłata za energię elektryczną zużytą w rozpatrywanym budynku	418
<b>Oszczędność</b>	<b>2300</b>

Prosty czas zwrotu wyniesie więc:

$$SPBT = \frac{K}{O} = \frac{158000}{2300} = 69 \text{ lat}$$

Wynik analizy wskazuje na to, że zaprezentowana inwestycja nie jest ekonomicznie uzasadniona. Koszty instalacji solarnej, pompy ciepła, a w szczególności systemu fotowoltaicznego są obecnie zdecydowanie zbyt wysokie, aby rozpatrywana inwestycja była opłacalna.

### **Podsumowanie**

Niniejsza analiza pokazuje, że zbudowanie budynku samowystarczalnego energetycznie nie stanowi obecnie problemu technicznego. Powszechnie dostępne są na rynku materiały oraz technologie umożliwiające daleko idące ograniczenie zużycia energii oraz jej pozyskanie ze źródeł odnawialnych. Problemem są jedynie ograniczenia finansowe. Przy obecnym poziomie cen energii oraz kosztów instalacji urządzeń wykorzystujących źródła energii odnawialnej (w szczególności fotowoltaiki), przedstawione rozwiązania nie są absolutnie opłacalne. Należy jednak zwrócić uwagę, iż relacje tych kosztów stale się zmieniają. Ceny energii rosną, natomiast źródła energii odnawialnych stają się coraz tańsze i coraz bardziej efektywne. Pojawiają się również w niektórych krajach programy wsparcia dla energetyki fotowoltaicznej (np. program „100000 Słonecznych Dachów”, Niemcy) umożliwiające ekonomicznie uzasadnioną realizację podobnych inwestycji. Przedstawione w artykule rozwiązania będą z pewnością powszechnie stosowane w niedalekiej przyszłości niosąc szereg korzyści takich jak:

- rozwój energetyki rozproszonej,
- zwiększenie niezawodności zasilania,
- poprawa bezpieczeństwa energetycznego,
- niewielkie oddziaływanie na ekosystemy,
- poprawa jakości powietrza oraz przeciwdziałanie zmianom klimatu,
- niskie koszty eksploatacyjne.

### **Bibliografia**

1. PN-IEC 60364-1:2000 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych - Zakres, przedmiot i wymagania podstawowe”.

2. PN-B-02025 "Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynków mieszkalnych".
3. Jarzębski Z. „Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna”, PWN, Warszawa, 1990.
4. Rubik M. „Pompy ciepła - poradnik”, Agencja Wydawnicza Jacek Santorski, Warszawa, 1999.
5. Smolec W. „Fototermiczna konwersja energii słonecznej”, PWN, Warszawa, 2000.
6. Zalewski W. „Pompy ciepła”, IPPU MASTA, Warszawa, 2001.