

HYBRYDOWA INSTALACJA SOLARNO - WIATROWA DLA ENERGOOSZCZĘDNEGO DOMU JEDNORODZINNEGO

WALCZAK Tomasz ¹

KOSSECKA Elżbieta ²

^{1,2} *Institut Podstawowych Problemów Techniki PAN*

PV/WIND HYBRID SYSTEM FOR THE LOW ENERGY FAMILY HOUSE

Photovoltaic-wind hybrid system for the low energy small family house with four inhabitants has been analyzed, using 10-year hourly meteorological data for Warsaw. Energy demand for space heating has been calculated using the Typical Meteorological Year data, together with energy demand for domestic water heating. The system can deliver, on average, 75% of the necessary energy for electricity and 26% for water heating.

STRESZCZENIE

Przeprowadzono analizę funkcjonowania w ciągu 10-ciu lat hybrydowej instalacji solarno-wiatrowej, zaopatrującej w energię elektryczną mały energooszczędny dom jednorodzinny, w warunkach klimatu Warszawy. Równocześnie obliczono zapotrzebowanie budynku na ciepło, przy wykorzystaniu danych pogodowych Typowego Roku Meteorologicznego, oraz energię na przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Instalacja może dostarczyć średnio 75% potrzebnej energii elektrycznej i dodatkowo 26% energii na cwu.

1. WSTĘP

W dzisiejszych czasach mamy do czynienia z dynamicznym rozwojem technologii, umożliwiających znaczne zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego budynków, a także produkcję energii ze źródeł odnawialnych. W obliczu degradacji środowiska naturalnego oraz aktów prawnych wymuszających zmniejszenie emisji szkodliwych gazów (protokół z Kioto), wydaje się koniecznym połączenie wiedzy i osiągnięć naukowych z wielu dziedzin w celu promowania budownictwa, które byłoby neutralne dla swojego otoczenia [7]. Celem autorów jest analiza wydajności instalacji solarno-wiatrowej, przeznaczonej do zaopatrywania w energię elektryczną niewielkiego obiektu, oraz równoczesna analiza funkcjonowania przykładowego jednorodzinne domu energooszczędnego, uwzględniająca jego architekturę i konstrukcję, przy założeniu częściowego odzyskiwania traconego ciepła. Badania mają na celu wykazanie, że dzięki odpowiedniemu skomponowaniu już dostępnych rozwiązań technicznych, zarówno tych pasywnych jak i aktywnych, jest możliwe stworzenie budynku, którego stopień wykorzystania energii pierwotnej jest niewielki, przy jednoczesnym zapewnieniu pełnego komfortu życia mieszkańców.

Nowoczesny budynek energooszczędny może zostać wyposażony w instalację pozyskującą energię potrzebną do wytwarzania prądu ze źródeł odnawialnych. W polskich

warunkach istnieje możliwość wykorzystania do tego celu energii słońca i wiatru. Energia słoneczna może zostać zamieniona bezpośrednio na energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych. Energia wiatru może zostać spożytkowana dzięki zmodyfikowanej turbinie Savoniusa, którą cechuje stosunkowo duża efektywność już przy niskich prędkościach wiatru oraz takie cechy użytkowe jak brak hałasu i bardzo prosta konstrukcja.

2. MODEL ANALIZOWANEGO BUDYNKU

Do analizy przyjęto popularny obecnie parterowy budynek jednorodzinny, o wymiarach 16.8×9 m, z nieogrzewanym garażem, zamieszkały przez cztery osoby. Jego powierzchnia użytkowa jest równa 125 m^2 , objętość 324 m^3 , powierzchnia dachu 151 m^2 , zewnętrzna powierzchnia ścian bocznych 170 m^2 . Ściany boczne są dwuwarstwowe, z pełnych bloczków sylikatowych o grubości 18 cm, z warstwą izolacyjną 20 cm styropianu; $U = 0.185 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; dach ocieplony 30 cm wełny mineralnej; $U = 0.116 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, podłoga na gruncie ocieplona 20 cm styropianu; okna o łącznej powierzchni 14.3 m^2 , o współczynniku $U = 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i transmisyjności 0.64. Wymianę powietrza reguluje system wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła na poziomie 75%. Budynek nie wymaga podłączenia do mediów; energia elektryczna wytwarzana jest przez hybrydową instalację solarno-wiatrową oraz agregat prądowłczy.

3. INSTALACJA PRODUKUJĄCA PRĄD ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH.

Chwilowa moc ogniwa fotowoltaicznego zależy od natężenia padającego na jego powierzchnię promieniowania słonecznego oraz od jego temperatury. Im bardziej nagrzane ogniwo tym mniejszą moc produkuje. Dokładne zależności opisujące zachowanie się mocy elektrycznej ogniw PV zainteresowany czytelnik znajdzie w literaturze [1, 2].

Moc turbiny wiatrowej, w pierwszym przybliżeniu, jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru. Charakterystyki mocy elektrycznej kompletnych turbin określonego typu wyznaczane są na podstawie badań w tunelach aerodynamicznych. Dla nowoczesnych turbin z osią pionową, średniej wielkości, np. produkowanych przez firmy WindSide [5] czy Metalic [6], moc elektryczna wytwarzana jest praktycznie od prędkości wiatru powyżej 3 m/s.

W niniejszej pracy analizowana jest instalacja hybrydowa, składająca się z 18-tu ogniw fotowoltaicznych, o powierzchni całkowitej 1.32 m^2 i mocy 150W każde, oraz trzech zmodyfikowanych turbin typu Savoniusa, o wysokości 3 m i średnicy 1m. W sumie na moduły fotowoltaiczne potrzeba zatem niespełna 24 m^2 powierzchni. Turbiny wiatrowe typu Savoniusa są ustawiane na słupach, których wysokość jest zależna od otoczenia. Dodatkowe źródło energii elektrycznej, zabezpieczające zaopatrzenie budynku w przypadku niedoboru energii dostarczanej przez instalację solarno-wiatrową, stanowi kogenerujący agregat prądowłczy, napędzany gazem LPG. Jego moc elektryczna w trakcie ładowania akumulatorów wynosi 7.5 kW. Mniej więcej taka sama jest jego moc cieplna, którą można wykorzystać na potrzeby domu.

Ogniwa fotowoltaiczne są bardzo czułe na częściowe zacienienie przez osiadające na nich zanieczyszczenia, jak np. spadające liście. Powoduje to drastyczny spadek wydajności całej instalacji. Dlatego założono, że płaszczyzny ogniw są pochylone pod

kątem 45° w stosunku do poziomu, co stanowi kompromis między dążeniem do maksymalnej wydajności a ochroną przed zanieczyszczeniem powierzchni.

Przyjęto dzienne zużycie energii elektrycznej na poziomie 11 kWh, co zapewnia pełny komfort życia rodzinie 4-ro osobowej. Oczywiście zakłada się, że gotowanie odbywa się na gazie LPG oraz racjonalnie optymalizuje się zużycie energii przez poszczególne urządzenia.

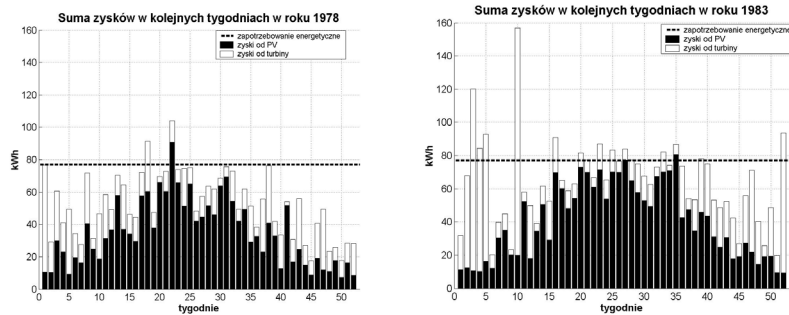
Bufor energii elektrycznej składa się z baterii akumulatorów kwasowo-olowiowych. Ich sumaryczna pojemność wynosi 33 kWh, co odpowiada trzydniowemu zużyciu energii. Czas życia akumulatorów jest zależny od liczby cykli głębokiego rozładowania. Żeby maksymalnie wydłużyć ich żywotność, przy poziomie naładowania poniżej 30% pojemności włącza się agregat, który je doładowuje. Wyłączenie agregatu następuje przy poziomie 75% pojemności. Zatem faktyczna pojemność użytkowa jest 30% procent mniejsza od nominalnej. Założono, że zapotrzebowanie na energię elektryczną jest równomierne w ciągu całej doby. To upraszczające założenie, wynikające z niemożności opracowania uniwersalnego profilu poboru energii dla domu jednorodzinnego, nie odgrywa zasadniczej roli przy dostatecznie dużej pojemności bufora. Przy modelowaniu pracy bufora założono określoną sprawność ładowania oraz konwersji prądu stałego na zmienny o odpowiednim napięciu i częstotliwości (inwerter); uwzględnione też zostało zjawisko samorozładowania.

4. ANALIZA PRACY INSTALACJI W POLSKICH WARUNKACH KLIMATYCZNYCH

Przeprowadzona została symulacja 10-letniej ciągłej pracy opisanej instalacji, przy wykorzystaniu danych IMGW dla Warszawy z lat 1976 – 1985. Polski klimat charakteryzuje się dużą zmiennością warunków pogodowych. Efektem tego są znaczne różnice w ilości energii słonecznej i wiatrowej, która może być pozyskana przez instalację w danym czasie. Na rysunku 1 przedstawiono sumy roczne całkowitych zysków obu rodzajów energii. W rozpatrywanym dziesięcioleciu najwięcej zysków byłoby w roku 1983, a najmniej w 1978; ich względna różnica wynosi 18.5 %.



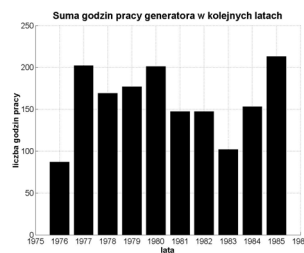
Rys. 1 Obliczeniowe roczne zyski energetyczne z instalacji solarno-wiatrowej
Fig. 1 Calculated annual energy gains from the hybrid photovoltaic wind installation



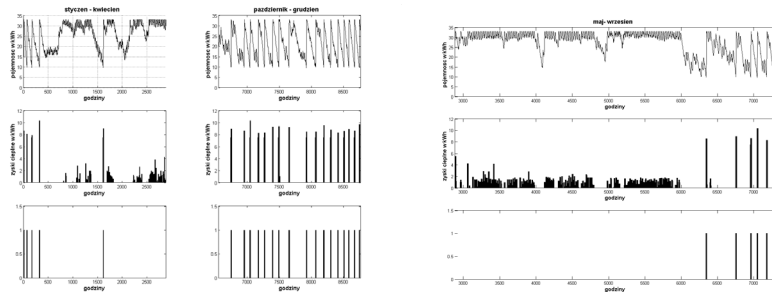
Rys. 2 Obliczeniowe tygodniowe zyski z instalacji solarno-wiatrowej w latach 1978 i 1983
 Fig. 2 Calculated weekly energy gains from the PV/wind installation in 1978 and 1983

Natomiast rozbieżności zysków tygodniowych są olbrzymie; zwłaszcza dotyczy to energii dostarczanej przez turbinę wiatrową, co ilustruje to rysunek 2. Ta sytuacja ma daleko idące konsekwencje w zakresie praktycznych możliwości wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych w polskim klimacie.

Na rysunku 3 pokazano, ile godzin pracowałby generator prądowórczy w poszczególnych latach omawianego okresu. Widać, że pomimo tego, że rok 1983 cechował się największymi zyskami energetycznymi, generator nie pracował wtedy najkrócej. To samo tyczy się roku 1978 – teoretycznie najgorszego. Okazuje się, że generator pracowałby najdłużej w roku 1985 a najkrócej w 1976. Przyczyną tego zjawiska jest bardzo nierównomierne rozłożenie zysków energetycznych, których nie jest w stanie efektywnie zmagazynować projektowany bufor. Dokładnie obrazuje to rysunek 4, na którym pokazane są przebiegi chwilowego poziomu naładowania bufora, chwilowych zysków cieplnych oraz włączania się generatora prądowórczego w rozbiciu na sezon grzewczy i poza nim roku 1983. Widać tu, że nawet w pierwszej części okresu grzewczego występują chwilowe nadmiary energii, której nie można zmagazynować. To samo zjawisko widać dużo wyraźniej w lecie. Z kolei w miesiącach jesiennych zyski są na tyle małe, że praktycznie bufor pracuje od rozładowania do naładowania.

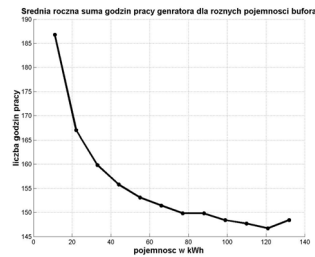


Rys. 3. Suma godzin pracy agregatu prądowórczego w kolejnych latach
 Fig. 3 Annual number of operational hours of the gas powered generator



Rys.4 Praca instalacji w sezonie grzewczym i poza nim; rok 1978
Fig. 4 Installation running during the heating season and beyond; 1978

Można się zatem zastanawiać, czy nie byłoby celowe powiększenie pojemności bufora energii elektrycznej. Odpowiedź na to pytanie daje rysunek 5. Okazuje się, że znaczne powiększenie pojemności nie daje wcale znaczącego zysku w zakresie liczby godzin pracy generatora prądowłórczego.



Rys. 5. Średni czas pracy generatora w funkcji pojemności bufora energii elektrycznej
Fig. 5 Average number of operational hours of the aggregate versus battery bank capacity

Należy również mieć na uwadze, że koszt takiego magazynu energii jest znaczący, zatem wydatek mógłby się okazać absolutnie nieopłacalny, zważywszy na stosunkowo krótki okres życia akumulatorów (8 – 12 lat). Jednocześnie optymalizacja doboru urządzeń w nowoczesnym, energooszczędnym domu jednorodzinym musi uwzględniać zarówno zapotrzebowanie na energię elektryczną jak i ciepło. Zatem chwilowe nadmiary energii można z powodzeniem wykorzystać do ogrzewania wody do celów użytkowych, a nawet całego budynku. Tu warto dodać, że ewentualny bufor magazynujący ciepło jest dużo tańszy od bufora magazynującego energię elektryczną. Równie ważne jest to, że konwersja energii elektrycznej na ciepłą odbywa się poprzez grzałkę stałoprądową, dzięki czemu omija się starty na inwerterze. Łączne potencjalne zyski ciepłne z instalacji solarnowiatrowej oraz pochodzące z kogeneracji są zestawione w tabeli poniżej.

TABELA 1 Potencjalne zyski cieplne z hybrydowej instalacji zasilającej [kWh]
 TABLE 1 Estimated heat gains from the hybrid power system [kWh]

Rok	Sezon grzewczy							Poza sezonem grzewczym				
	I	II	III	IV	X	XI	XII	V	VI	VII	VIII	IX
1976	113	24	10	56	157	202	247	118	71	77	19	33
1977	225	202	97	97	180	225	232	103	38	52	98	80
1978	61	105	90	73	202	225	270	26	56	63	53	135
1979	247	128	125	141	93	247	247	67	49	54	71	95
1980	247	225	122	62	202	202	225	64	63	90	45	67
1981	131	141	90	61	180	202	225	67	58	61	94	48
1982	155	112	103	51	157	225	292	78	67	31	21	47
1983	143	32	72	80	180	135	225	78	85	56	118	56
1984	153	90	51	50	180	180	247	61	97	45	30	135
1985	154	160	180	31	202	232	262	31	82	22	71	96

Widać zatem, że duża zmienność warunków klimatycznych w Polsce powoduje, że omawiana instalacja może produkować stosunkowo dużo ciepła, przy wykorzystaniu niemożliwych do zmagazynowania nadmiarów energii elektrycznej ze słońca i wiatru oraz ciepła odpadowego produkowanego w generatorze prądowym.

Wydaje się jednocześnie, że w rzeczywistych warunkach nie jest celowe dalsze zwiększanie wielkości ogniw fotowoltaicznych. Dalszych zysków energetycznych należy upatrywać raczej w optymalnym wykorzystaniu energii wiatru dostępnej w naszym klimacie. Tu należy zauważyć, że wyniki działania turbin wiatrowych są oparte na pomiarach pochodzących ze stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie, gdzie wiatr jest mierzony na wysokości 10 m. W praktycznych aplikacjach, w celu poprawy wydajności, wiatraki bywają umieszczane jeszcze wyżej.

Ponieważ moc turbiny zależy od trzeciej potęgi prędkości wiatru, jej zwiększenie tylko o 10% powoduje zwiększenie produkcji energii elektrycznej już o około 33%. Niestety, zależność ta jest również prawdziwa w przeciwną stronę. Możliwości pozyskania energii elektrycznej z wiatru są również bardzo mocno uzależnione od otoczenia, w którym znajduje się turbina. Duże powierzchnie lasów, wysokie budynki, pofałdowania terenu, lokalne prądy powietrzne, są to wszystko elementy bezpośrednio wpływające na faktyczną prędkość wiatru. Dlatego gdy planuje się budowę dużych farm wiatrowych, poprzedza się ją prowadzeniem pomiarów prędkości wiatru na określonej wysokości posadzenia wiatraków w danej lokalizacji, przez co najmniej rok. Trzeba tutaj dodać, że na chwilę obecną koszt urządzeń potrzebnych do produkcji prądu, przeliczony na kWh, jest dużo niższy w przypadku wiatru niż słońca. W praktyce jest to jednak uzależnione od konkretnej lokalizacji.

5. BILANS ENERGETYCZNY BUDYNKU

Zapotrzebowanie budynku na ciepło do ogrzewania obliczono przy wykorzystaniu danych pogodowych Typowego Roku Meteorologicznego (TRM) dla Warszawy [3]. Straty ciepła do gruntu oraz zyski od mieszkańców obliczone są zgodnie z polską normą [4]. Założono wykorzystanie ciepła od urządzeń elektrycznych na poziomie 90%. Zużycie ciepłej wody użytkowej ustalono na poziomie 70 l/osobę/dobę o temperaturze 55°C. Dane obrazujące bilans energetyczny budynku są zestawione w tabeli 2.

TABELA 2 Bilans energetyczny budynku w sezonie grzewczym [kWh]; Warszawa TRM
 TABLE 2 Energy balance for the building in the heating season [kWh]; Warsaw TMY

Miesiąc	I	II	III	IV	X	XI	XII	Suma
Straty ciepła	2714	2285	1924	1440	1328	1971	2379	14041
Zyski ciepła	1476	1364	1454	1378	1236	1215	1321	9443
Ogrzewanie budynku	1238	921	470	62	92	756	1059	4598
Ciepła woda	453	438	453	438	453	438	453	3126
Zyski z instalacji hybrydowej	162	122	94	70	173	207	247	1077

W całkowitym bilansie energetycznym należy również uwzględnić 14.62 kWh dziennie na ogrzewanie ciepłej wody użytkowej oraz 11 kWh zużycia energii elektrycznej.

Widać z tego, że zyski cieplne z omawianej hybrydowej instalacji zasilającej mogą średnio pokryć około 35% zapotrzebowania na ciepłą wodę w sezonie grzewczym oraz około 15% poza nim; a w skali roku około 26%. Pokrycie całkowitego zapotrzebowania budynku na energię wymaga dostarczenia około 6707 kWh na cele grzewcze oraz średnio 160 godzin pracy generatora napędzanego gazem LPG. Jeżeli złożymy, że budynek będzie ogrzewany drewnem, to przy sprawności instalacji na poziomie 70% i paleniu drewnem brzoźowym o wilgotności 15% (sezonowanym pod przykryciem minimum 18 miesięcy), otrzymujemy zużycie energii pierwotnej w postaci biomasy na poziomie 2400 kg, czyli około 5.7 metra przestrzennego drewna brzoźowego. Do tego należy doliczyć paliwo do generatora w ilości około 320 m³ gazu. Całkowite zużycie energii w odniesieniu do powierzchni mieszkalnej wyniesie 53.7 kWh/m² w sezonie grzewczym i 68.1 kWh/m² w ciągu roku.

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że jest możliwe stworzenie budynku, którego wpływ na otoczenie, w sensie zużycia energii ze źródeł nieodnawialnych, jest znacznie niższy niż obowiązujące standardy. Konstrukcja omawianego budynku jest niewiele droższa (około 3-5%) od podobnych budowli zgodnych z obowiązującymi normami, a jednocześnie zapewnia znakomite ograniczenie zapotrzebowania na ciepło. Wątpliwości ekonomiczne może budzić jedynie budowa instalacji hybrydowej na terenie mocno zelektryfikowanym. Patrząc jednak na przykład Niemiec, gdzie ogniwa fotowoltaiczne znajdują się na coraz większej liczbie domów, należy spodziewać się szybkiego spadku cen takich instalacji. Wydaje się, że przyszłością są systemy nie autonomiczne, tak jak rozpatrywany w niniejszym opracowaniu, lecz systemy rozproszone podłączone do wspólnej sieci.

Warto również zauważyć, że w nowoczesnym energooszczędnym domu może wystąpić problem z doбором odpowiedniego źródła ciepła. Szczytowa moc cieplna takich urządzeń powinna być bardzo mała, co może stanowić problem dla obecnie produkowanych pieców gazowych, czy też tych na paliwo stałe. Dlatego szczególną rolę w takim budynku przyszłości będą pełnić masywna konstrukcja lub inne elementy o dużej pojemności

cieplnej, stanowiące bufor magazynujący nadmiar ciepła pochodzącego od absorbowanego promieniowania słonecznego oraz produkowanego przez urządzenie grzewcze.

Dalsze badania będą miały na celu optymalizację doboru wielkości wszystkich instalacji w zależności od konkretnej charakterystyki budynku, z wzięciem pod uwagę jednocześnie energii elektrycznej i cieplnej. Rozpatrywany też będzie cykl życia stosowanych materiałów i urządzeń tak, żeby minimalizować całkowite zużycie energii potrzebnej do produkcji i eksploatacji budynku.

LITERATURA

- [1] Ahmad G.E., Hussein H.M.S., El-Ghetany H.H.: Theoretical analysis and experimental verification of PV modules, *Renewable Energy* 28(8) 1159-1168 (2003).
- [2] Ai B., Yang H., Shen H., Liao X.: Computer-aided design of PV/wind hybrid system, *Renewable Energy* 28(10) 1491-1512 (2003).
- [3] Gawin D., Kossecka E. [red.], *Typowy Rok Meteorologiczny do symulacji procesów wymiany ciepła i masy w budynkach*, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2002.
- [4] PN-B-02025, *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego*, PKN (2001).
- [5] Strona producenta zmodyfikowanych turbin typu Savoniusa: www.windside.com
- [6] Strona producenta zmodyfikowanych turbin typu Savoniusa: www.metalic.com.pl
- [7] Thomsen K.E., Schultz J.M., Poel B., *Measured performance of 12 demonstration projects - IEA Task 13 "advanced solar low energy buildings"*, *Energy & Buildings*, 111-119 (2005).

Mgr inż. Tomasz Walczak, IPPT PAN, doktorant.

Tematyka zainteresowań:

Pasywne i aktywne systemy wykorzystujące energię słoneczną. Wykorzystanie energii wiatru i biomasy. Metody minimalizacji zużycia energii w budownictwie.

twalczak@ippt.gov.pl



Prof. dr hab. Elżbieta Kossecka, IPPT PAN,
kierownik Pracowni Modelowania Struktur i Środowiska.

Tematyka zainteresowań: zagadnienia wymiany ciepła w budynkach i ich elementach z uwzględnieniem charakterystyk klimatu.

ekossec@ippt.gov.pl