

Jakub JURASZ¹
Jerzy MIKULIK²

HYBRYDOWY UKŁAD ZASILAJĄCY BUDYNEK MIESZKALNY WYKORZYSTUJĄCY ENERGIĘ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO I WIATRU

1. Wstęp

Światowe zużycie energii na przestrzeni lat 1990 – 2007 wzrosło o prawie 40% i prawdopodobnym jest, iż wzrost ten będzie kontynuowany do roku 2035 na poziomie 8-10% co 5 lat. Wynikać to będzie częściowo z wzrostu liczby mieszkańców, gwałtownej urbanizacji, rozwoju przemysłu oraz społeczeństw kolejnych krajów [1]. Jak podaje Buildings Energy Data Book [2] ponad 40% zużycia energii w Stanach Zjednoczonych przypada na sektor budownictwa, tym samym przekraczając zapotrzebowanie na energię, które generują niezależnie przemysł i transport. Patrząc z globalnej perspektywy, budynki przyczyniają się do zużycia (podobnie jak w USA) około 40% energii pierwotnej, przy czym gdyby wziąć pod uwagę energię wykorzystaną w procesie produkcyjnym stali, cementu, szkła czy aluminium, udział ten wzrósłby do 50% [3]. W roku 2012 odnawialne źródła energii pokryły około 19% światowego zapotrzebowania na energię finalną [4], udział ten będzie się utrzymywał na stałym poziomie pomimo znaczącej liczby nowych inwestycji w OZE. Według Polskiej Agencji Informacji i Inwestycji Zagranicznych [5] zapotrzebowanie na energię finalną w poszczególnych sektorach polskiej gospodarki w roku 2020 wyniesie odpowiednio [Mtoe]: przemysł - 20,9, transport - 18,7, rolnictwo - 5, usługi - 8,8, gospodarstwa domowe - 19,4. Według szacunków Rządu Polskiego, w latach 2010-2020 średnie zużycie energii pierwotnej będzie rosło o około 1,5% w skali roku, przy czym w latach tych udział energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych winien osiągnąć poziom 12% [6].

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, jakubkamiljurasz@gmail.com

² Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, jmikulik@zarz.agh.edu.pl

2. Energia promieniowanie słonecznego i wiatru

Odnawialne źródła energii w porównaniu do źródeł konwencjonalnych cechują się stosunkowo niską koncentracją mocy elektrycznej bądź cieplnej możliwej do uzyskania z jednostki powierzchni lub objętości źródła energii. Oznacza to, iż pozyskiwanie mocy porównywalnych z konwencjonalnymi źródłami energii wymagać może urządzeń o znacznie większych gabarytach. Dla energetyki solarnej, oznacza to powierzchnię przeznaczoną na moduły fotowoltaiczne lub heliostaty, koncentrujące promieniowanie w wybranym punkcie. Natomiast w wypadku energetyki wiatrowej oznacza to umieszczanie turbin na znacznych wysokościach, co pozwala na uzyskanie większej stabilności w zakresie generowanej energii oraz zwiększenie mocy wytwórczej poszczególnych jednostek.

Zasoby energii promieniowania słonecznego w Polsce są do siebie bardzo zbliżone i równomiernie rozłożone. Znajdują się one w przedziale 980 do 1100 kWh/m²/rok. Oznacza to, iż przy obecnej sprawności modułów fotowoltaicznych oraz całego układu przetwarzania energii, z 6 m² modułów monokrystalicznych w skali roku można pozyskać około 1 MWh energii elektrycznej [7]. Kluczowym czynnikiem wpływającym na sukces ekonomiczny elektrowni wiatrowej jest jej lokalizacja. Stabilne oraz przewidywalne prędkości wiatrów na określonej wysokości pozwalają na maksymalizację uzysku energii elektrycznej. Mapa wietrzności w Polsce pozwala dostrzec, iż rozkład średnich prędkości wiatru jest nierównomierny. Można wyróżnić pięć stref ze względu na ich przydatność pod kątem energetyki wiatrowej. Należy mieć jednak na uwadze, iż mapa ta jest tylko pierwszym przybliżeniem, a wybór lokalizacji (w szczególności pod duży park wiatrowy), winien być poprzedzony rocznymi pomiarami prędkości wiatru.

Przedmiotem poniższego opracowania jest analiza możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego oraz wiatru w celu zasilenia budynku mieszkalnego w energię elektryczną. Zainteresowanie generatorami hybrydowymi wynika głównie z, częściowej, czasowej komplementarności zasobów energii słonecznej oraz wiatrowej, co pozwala na stworzenie źródła energii pracującego stabilnie w funkcji czasu. Analiza tego zagadnienia należała do obszaru zainteresowań między innymi: Monforti F. i in. [8], Santos-Alamillos F.J. i in. [9] oraz Jerez S. i in. [10]. Wyniki przeprowadzonych we wspomnianych pracach badań, znajdują zastosowanie w ramach energetyki zawodowej gdzie moce poszczególnych jednostek

wytwórczych opartych na źródłach odnawialnych liczone są w dziesiątkach lub setkach megawatów.

Z punktu widzenia małej instalacji hybrydowej, która wykorzystana będzie na potrzeby domu jednorodzinnego, istotna jest nie tylko komplementarność czasowa tych zasobów, ale w szczególności ich dostępność na ograniczonej przestrzeni. Tyczy się to głównie energii wiatru, ze względu na jego minimalną prędkość, przy której startują turbiny wiatrowe. Co więcej, każda z turbin cechuje się specyficzną krzywą generowanej mocy w zależności od prędkości wiatru. W pracy wykorzystano godzinowe pomiary średniej prędkości wiatru na wysokości 10 metrów dla roku 2004 ze stacji meteorologicznej Toruń-Wrzosy. Ilość docierającego do powierzchni Ziemi promieniowania słonecznego, dla wybranego dnia można określić z dużą dokładnością na podstawie modelu czystego nieba [11]. Odstępstwa od wartości wyliczonych na podstawie modelu, są wynikiem następujących zmian: lokalnych warunków pogodowych oraz zawartości związków i substancji w atmosferze, które rozpraszają promieniowanie słoneczne. W opracowaniu oparto się na danych dotyczących nasłonecznienia padającego na powierzchnię nachyloną pod kątem 30° w ujęciu godzinowym, które pozyskano z platformy www.soda-is.com [12].

2.1. Słońce i wiatr w architekturze

Moduł fotowoltaiczny zbudowany jest z ogniw słonecznych, będących elementami półprzewodnikowymi, w których w wyniku zjawiska fotowoltaicznego energia promieniowania słonecznego zostaje zamieniona w energię elektryczną. Główną zaletą systemów fotowoltaicznych jest modularność, co oznacza, iż ich moc można dobierać zgodnie z aktualnymi wymaganiami lub też w oparciu o ograniczenia wynikające z dostępnej powierzchni. W wypadku istniejących lub projektowanych budynków moduły fotowoltaiczne są istotnym elementem tworzącym powłokę budynku, pełniąc rolę estetyczną oraz funkcjonalną, jako przegroda. W odniesieniu do instalacji fotowoltaicznych wykorzystywanych w budynkach wyróżnia się: BIPV (ang. Building Integrated Photovoltaics) czyli systemy zintegrowane z elementami konstrukcji budynku, oraz BAPV (ang. Building Applied Photovoltaics) gdzie instalacja umieszczana jest na fasadzie lub dachu. Kwestie związane z ekonomiczną oraz środowiskową opłacalnością tego typu rozwiązań poruszone zostały między innymi w pracach autorstwa Young Tae Chae i in. [13], PohKhai Ng, Mithraratne N. [14], gdzie stwierdzono, iż rozwiązanie te, chociaż z reguły kosztowniejsze niż standardowe materiały wykorzystywane w budownictwie pozwalają na stworzenie budynków zero

lub plus energetycznych. Integracja turbin wiatrowych z budynkiem zlokalizowanym w centrum miasta ma na celu spełnienie wyśrubowanych wymogów dotyczących ochrony środowiska. Jednym z przykładów jest najwyższy mieszkalny budynek w Londynie, Strata Tower SE1, gdzie na wysokości około 140 metrów zamontowano turbiny wiatrowe o mocy 19 kW każda. Rozwiązanie to pozwoli na pokrycie 8% zapotrzebowania na energię elektryczną w skali roku, co szacuje się na około 50 MWh [15]. Obecnie w większości wypadków, stosowane rozwiązania nie są tak spektakularne i koncentrują się w głównej mierze na umieszczeniu turbin wiatrowych o pionowej (ang. Vertical Axis Wind Turbine) bądź poziomej (ang. Horizontal Axis Wind Turbine) osi obrotu na dostępnej powierzchni dachu. W pracy autorstwa Perwita Sari D., Kusumaningrum Banar W. [16] zbudowano model symulacyjny pozwalający ocenić zasadność inwestycji turbiny wiatrowe zintegrowane z budynkiem. Kluczowymi parametrami mającymi wpływ na ekonomiczną stronę inwestycji okazał się być: kształt aerodynamiczny budynku, lokalne warunki meteorologiczne, oraz charakter lokalnej zabudowy.

3. Model matematyczny

Model matematyczny układu hybrydowego wyposażonego w zasobnik energii w postaci akumulatora pozwala na takie dobranie wielkości jego poszczególnych parametrów, które pozwolą na realizację założonej funkcji celu przy jednoczesnym spełnieniu założonych ograniczeń. Model jest pewnym uproszczeniem rzeczywistości, które pozwala na zrozumienie zależności nią rządzących oraz przeprowadzenie eksperymentów, które z określoną dokładnością oddadzą zachowanie rzeczywistego systemu.

3.1. Zmienne i parametry modelu

W modelu wykorzystano następujące zmienne oraz parametry opisujące zachowanie jego poszczególnych elementów. Na etapie modelowania wartości poszczególnych parametrów dobrano na podstawie analizy ofert dostępnych na stronach dostawców poszczególnych komponentów [17], [18], [19], [20].

$I = (1, \dots, I)$ – zbiór dni,

$J = (1, \dots, J)$ – zbiór godzin,

$K = (1, \dots, K)$ – zbiór mocy elektrowni wiatrowych,

$L = (1, \dots, L)$ – zbiór wysokości montażu turbiny,

P – moc znamionowa systemu PV,

WW – współczynnik sprawności systemu PV,

$x_{i,j}$ – nasłonecznienie dnia i o godzinie j ,

$Z_{i,j}$ – zużycie energii elektrycznej dnia i o godzinie j ,

$S_{i,j}$ – uzysk energii z Słońca dnia i o godzinie,

$W_{i,j,k,l}$

– uzysk energii z wiatru dnia i o godzinie j dla turbiny o mocy k na wysokości l ,

$SW_{i,j}$ – sumaryczny uzysk energii dnia i o godzinie j ,

$KW_{k,l}$ – koszt elektrowni wiatrowej o mocy k na wysokości l ,

KEW – sumaryczny koszt elektrowni wiatrowych,

KPV – koszt elektrowni fotowoltaicznej,

c_1 – cena zakupu energii z sieci za kWh,

c_2 – cena odsprzedaży energii do sieci za kWh,

c_2 – koszt jednostki pojemności akumulatora za kWh,

$a_{k,l}$ – zmienna decyzyjna, turbiny wiatrowe,

TW – liczba turbin wiatrowych,

$DE_{i,j}$ – deficyt energii dnia i o godzinie j ,

Def – dopuszczalny deficyt energii w kWh,

$SA_{i,j}$ – stan naładowania akumulatora dnia i o godzinie j ,

SPA – stan początkowy naładowania akumulatora,

PA – pojemność znamionowa akumulatora,

KA – koszt akumulatorów,

KCS – koszt całkowity systemu zasilania,

NF – maksymalny nakład finansowy na system zasilający,

$AF_{i,j}$

– przychód z tytułu oszczędności lub odsprzedaży energii dni i o godzinie j ,

3.2. Zależności objaśniające zmienność zasilania, pozyskiwania oraz kosztu energii

Za pomocą wzorów (1a-g) opisano zasadę wedle, której obliczano deficyt energii oraz jej uzysk z poszczególnych źródeł oraz powstające w wyniku ich zastosowania w budowie układu hybrydowego koszty.

$$DE_{i,j} = Z_{i,j} - SW_{i,j} - \text{deficyt energii dnia i godziny } j \quad (1a)$$

$$a_{k,l} = \begin{cases} 1 & \text{jeśli wybrano elektrownię o mocy } k \text{ na wysokości } l \\ 0 & \text{inaczej} \end{cases} \quad (1b)$$

$$KEW = \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} a_{k,l} * KW_{k,l} - \text{sumaryczny koszt elektrowni wiatrowych} \quad (1c)$$

$$KPV = f(P) = -0,23P^3 + 16,6P^2 - 430,3P + 6473,6 \text{ dla } P \in \langle 1; 40 \rangle \quad (1d)$$

$$KA = c_3 * PA \quad (1e)$$

$$S_{i,j} = P * WW * x_{i,j} - \text{uzysk energii z Słońca dnia i godziny } j \quad (1f)$$

$$SW_{i,j} = S_{i,j} + a_{k,l} * W_{i,j,k,l} - \text{sumaryczny uzysk energii dnia i godziny } j \quad (1g)$$

3.3. Magazynowanie energii – poziom naładowania akumulatora

W modelu przyjęto założenie, iż każda powstająca nadwyżka energii, która nie została wykorzystana na pokrycie aktualnego zapotrzebowania na energię zostanie zmagazynowana w akumulatorze o zadanej pojemności. Jeśli w danej godzinie wygenerowane zostanie więcej energii niż może być zużyte i zmagazynowane zostanie ona odsprzedana. Zasadę tą opisano za pomocą wzoru (2).

$$SA_{i,j} = \begin{cases} SA_{i,j-1} + DE_{i,j} & \text{to } PA \\ \text{jeżeli } SA_{i,j-1} + DE_{i,j} < PA \text{ i } > 0 \text{ to } SA_{i,j-1} + DE_{i,j} \\ SA_{i,j-1} + DE_{i,j} < 0 \text{ to } 0 \end{cases} \quad (2)$$

3.4. Przychód z tytułu niezakupionej energii i odsprzedaży nadwyżek

Niewykorzystana oraz niezgromadzona w akumulatorze energia elektryczna może zostać odsprzedana do sieci elektroenergetycznej po ustalonej wcześniej cenie. Jeśli energia nie zostanie sprzedana, jej wykorzystanie na własne potrzeby rozumie się, jako

oszczędność, wynikającą z braku konieczności zakupu energii z sieci po cenie zadanej cenie. Regułę obliczania wartości przychodów z tytułu oszczędności oraz odprzedaży nadwyżek przedstawiono za pomocą równań (3a-b).

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} AF_{i,j} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_1 * SW_{i,j} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_1 * Z_{i,j} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (c_1 * Z_{i,j} + c_2 * |Z_{i,j} - SW_{i,j}|) \quad (3a)$$

Przy ograniczeniu:

$$\text{jeżeli } DE_{i,j} \begin{cases} > 0, \text{ to } c_1 * SW_{i,j} \\ = 0, \text{ to } c_1 * Z_{i,j} \\ < 0, \text{ to } c_1 * Z_{i,j} + c_2 * |Z_{i,j} - SW_{i,j}| \end{cases} \quad (3b)$$

3.5. Koszt systemu zasilającego

Całkowity koszt układu hybrydowego jest sumą jego poszczególnych części, która można wyrazić w postaci wzoru, (4) przy czym składniki obliczane są na podstawie (1c-e)

$$KCS = KPV + KEW + KA \quad (4)$$

3.6. Funkcja celu

Zbudowany model umożliwia realizację różnych funkcji celu. W ramach tej analizy przyjęto, iż dążyć będzie się do: minimalizacji kosztu całkowitego (5a), minimalizacji kosztu wytworzenia jednostki energii elektrycznej w oparciu o 10 letni okres funkcjonowania instalacji (5b) oraz minimalizację deficytu energii elektrycznej (5c).

$$\min KCS = KPV + KEW + KA \quad (5a)$$

$$\min \frac{\frac{1}{3}KPV + \frac{1}{2}KEW + KA}{10 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} AF_{i,j}} \quad (5b)$$

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} DE_{i,j} \quad (5c)$$

3.7. Ograniczenia

Każda z funkcji celu (5a-c) realizowana będzie przy założeniu pewnych parametrów początkowych modelu, które dotyczą między innymi kosztu zakupu i

magazynowania energii oraz ceny odsprzedaży energii, czy też maksymalnych dopuszczalnych nakładów finansowych na system zasilania. W każdym z modelu przyjęto założenie dotyczące ograniczenia maksymalnej liczby zainstalowanych turbin wiatrowych (6a). Kolejnym ograniczeniem jest pojawienie się maksymalnego deficytu energii, który musi zostać pokryty z sieci (6b). Przyjęto również możliwość ograniczenia nakładów poniesionych na cały system (6c) oraz dopuszczalną pojemność akumulatorów (6d).

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} a_{k,l} \leq TW \quad (6a)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} DE_{i,j} \leq Def \quad (6b)$$

$$KCS \leq NF \quad (6c)$$

$$PA \leq 20 \quad (6d)$$

3.8. Warianty modelu

Optymalizację zorientowaną na znalezienie najkorzystniejszych wartości funkcji celu przeprowadzono dla trzech wariantów modeli, których specyfikację przedstawiono w tabeli 1.

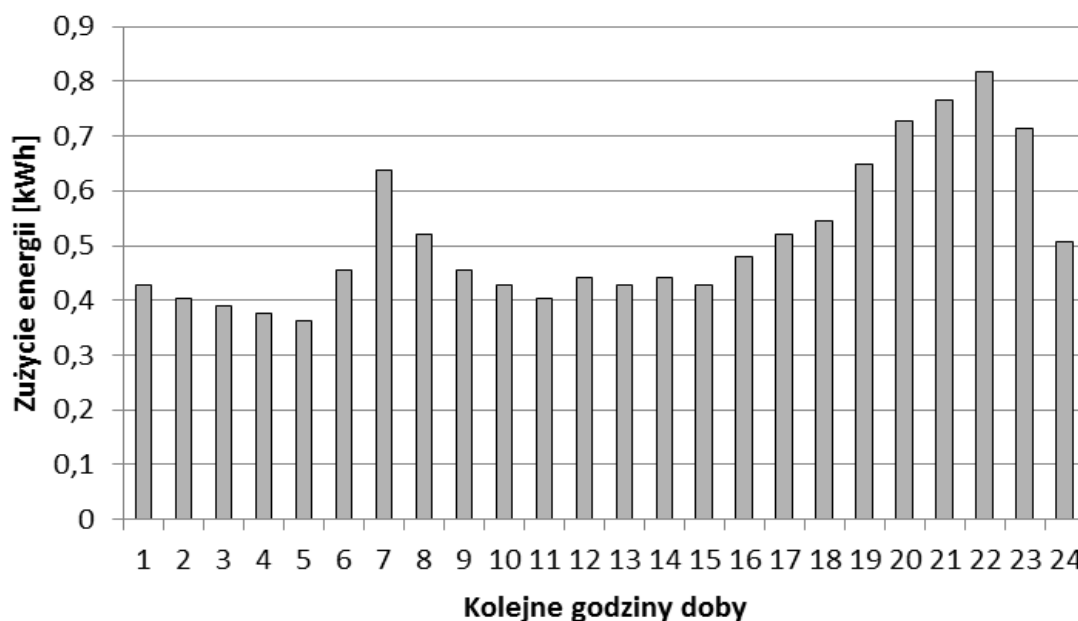
- minimalizacja kosztu całkowitego, przy narzuceniu limitu energii pobranej z sieci;
- maksymalizacja przychodu z instalacji przy założeniu odsprzedaży;
- pokrycie bieżącego zapotrzebowania przy założeniu ograniczonego kosztu całkowitego systemu.

Tabela 1. Specyfikacja poszczególnych wariantów modeli

Wariant	F. Celu	Ograniczenia	Założenia dotyczące parametrów
a	5a	6a, 6b, 6d	$c_1=0,56$ $c_2=0,15$ $c_3=500$ $TW=2$ $Def=10$
b	5b	6a, 6b, 6d	$c_1=0,56$ $c_2=0,15$ $c_3=500$ $TW=2$
c	5c	6a, 6c	$c_1=0,56$ $c_2=0,15$ $c_3=500$ $TW=2$ $NF=56000$

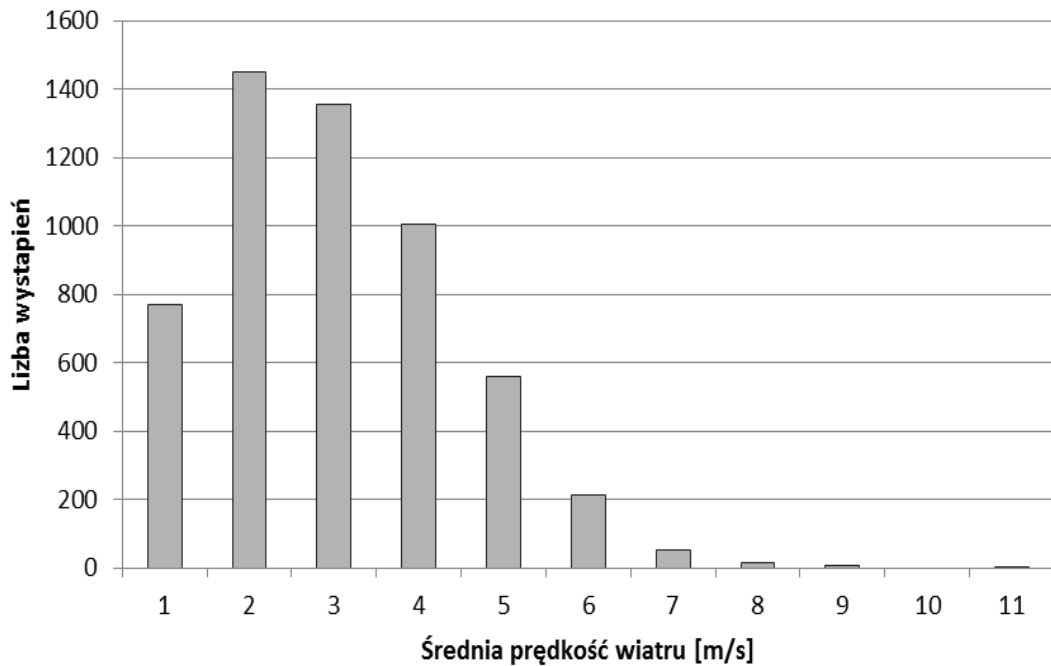
4. Opis analizowanego przypadku

Model wykorzystano w celu symulacji układu zasilającego gospodarstwo domowe zużywające na przestrzeni roku 4500 kWh energii elektrycznej. Na rysunku 1 przedstawiono zużycie energii elektrycznej w poszczególnych godzinach doby. W modelu przyjęto uproszczenie, iż każdy dzień roku cechuje się takim samym zużyciem.



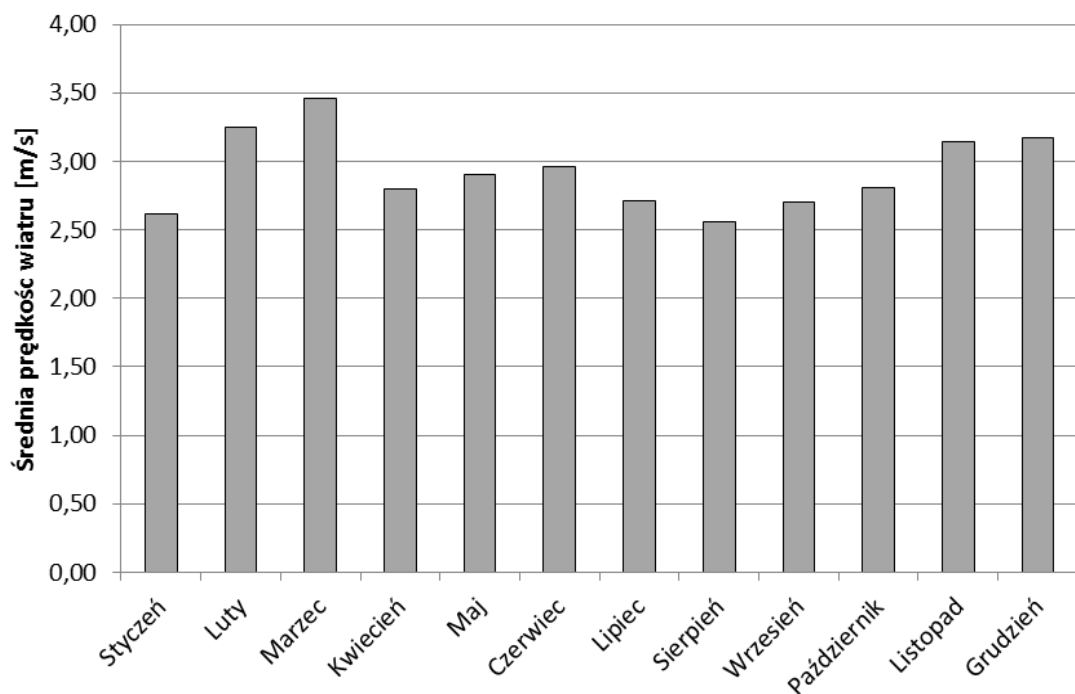
Rys. 1. Profil zużycia energii elektrycznej
Fig. 1. Electrical energy consumption profile

Założono, iż analizowane gospodarstwo domowe znajduje się na obszarze miast Torunia, a dla jego lokalizacji znane są dokładne wartości średniej prędkości wiatru oraz ilości energii promieniowania słonecznego w ujęciu godzinowym na przestrzeni roku. Na rysunku 2 zaprezentowano rozkład średnich godzinowych prędkości wiatru na wysokości dziesięciu metrów. Na rysunku 3 ukazano średnie miesięczne wartości prędkości wiatru. Zestawiając te wartości wartościami przedstawionymi na rysunku 4 można dojść do wniosku, iż do pewnego stopnia energia wiatru uzupełnia się z energią promieniowania słonecznego.



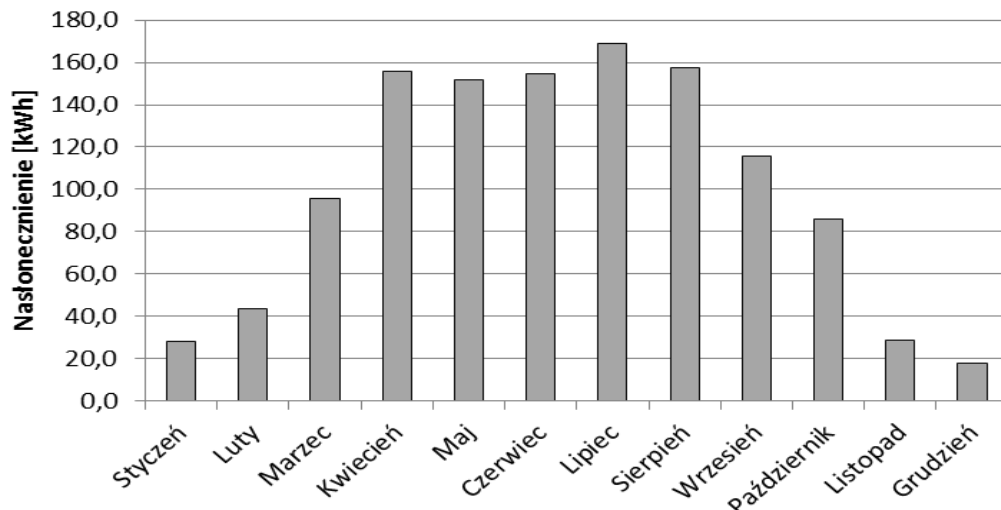
Rys. 2. Histogram średniej rocznej prędkości wiatru (2004) na podstawie pomiarów stacji meteorologicznej Toruń-Wrzosy

Fig. 2. Histogram for yearly mean wind speed based on measurements from meteorological station Toruń-Wrzosy (2004)



Rys.3. Średnie miesięczne prędkości wiatru w roku 2004

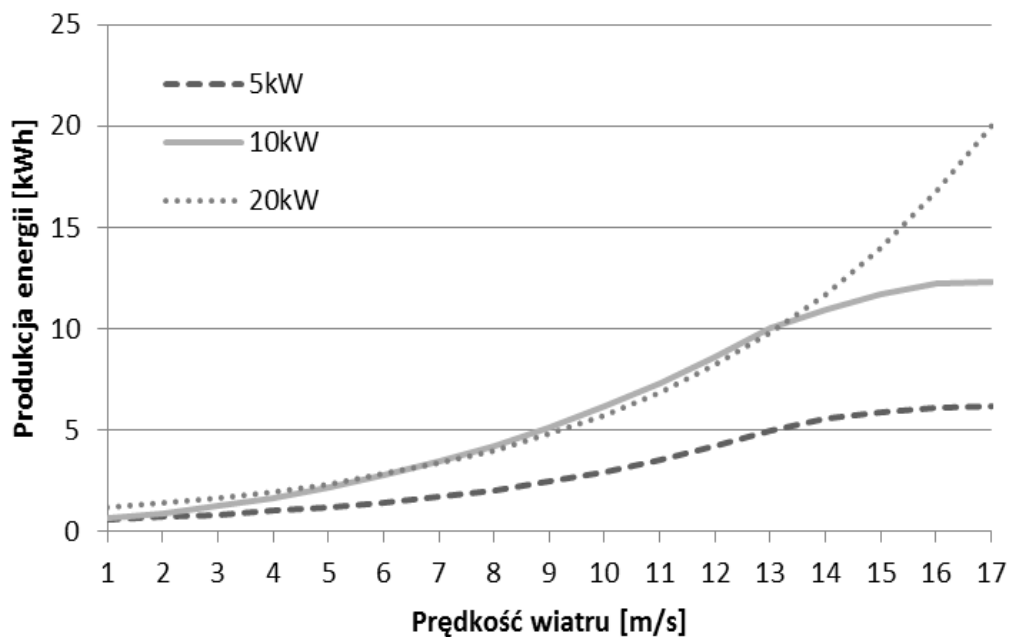
Fig. 3. Monthly mean wind speed in year 2004



Rys. 4. Miesięczna suma nasłonecznienia w roku (2004) na podstawie [12]

Fig. 4. Monty sum of irradiation in year 2004 based on [12]

W modelu wykorzystano pobrane ze strony dystrybutora [18] parametry turbin wiatrowych. Krzywe godzinowego uzysku energii dla zadanych prędkości wiatru przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Krzywe produkcji energii w funkcji prędkości wiatru dla trzech turbin o różnych mocach na podstawie [18]

Fig. 5. Electrical energy production in function of wind speed for three different wind turbines with different output power, based on [18]

5. Wyniki

W wyniku przeprowadzonych optymalizacji w oparciu o dostępne narzędzia Solvera programu MS Excel 2013 dla poszczególnych wariantów modelu uzyskano rezultaty, które przedstawiono w tabeli 2. Oprócz zrealizowanych wartości funkcji celu, podano również moc zainstalowaną w poszczególnych źródłach energii, pojemność akumulatorów, nakłady poniesione na poszczególne elementy układu oraz bilans energetyczny uwzględniający ilość energii, która odsprzedano i pobrano z sieci oraz w jakim stopniu pokryto zużycie własne.

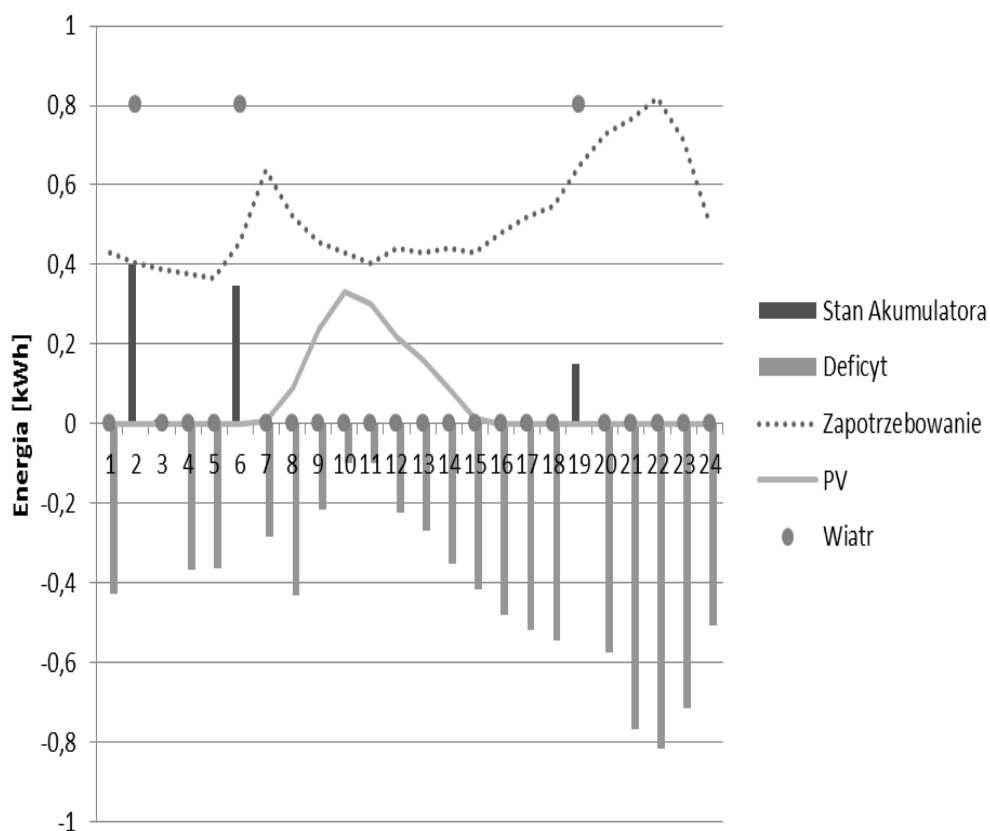
Tabela 2 Wartości poszczególnych parametrów po optymalizacji

Wariant modelu	a	b	c
Funkcja celu	177843	0,86	387,8
KCS [PLN]	= <i>Funkcja celu</i>	192720	56000
KPV [PLN]	138530	187776	21905
KEW [PLN]	32900	0	25800
KA [PLN]	6412	4943	8294
PV [kW]	24,1	40	4
PA [kWh]	12,8	9,9	16,6
TW [kW] [m]	0,3 15 3 20	0	5 10
Pokryto [kWh]	4491	4490	4112
Odsprzedano [kWh]	25250	35460	2218
Pobrano z sieci [kWh]	8,6	10	= <i>Funkcja celu</i>

Zmienność warunków nasłonecznienia oraz prędkości wiatru jest determinującym czynnikiem wpływającym na bilans energetyczny. Na rysunku 5 przedstawiono zachowanie systemu zasilającego stworzonego w oparciu o wyniki realizacji wariantu c. Jak widać, pojawiające się sporadycznie porywy silniejszego wiatru, pozwalały na pokrycie aktualnego zapotrzebowania jak i na zgromadzenie części energii w akumulatorze, która to zostanie wykorzystana bądź nie w następnym okresie. Uzysk energii elektrycznej z instalacji PV danego dnia nie pozwolił na pokrycie bieżącego zapotrzebowania, jednak przyczynił się w znaczącym stopniu do spadku deficytu energii (w godzinach od 8 do 14), który musi zostać pokryty z sieci. Na podstawie analizy rocznego rozkładu wartości energii generowanej przez turbinę wiatrową oraz system fotowoltaiczny, można stwierdzić, iż ten drugi cechuje się znacznie większą

stabilnością i przewidywalnością. Energia elektryczna pochodząca z wiatru, ma charakter bardziej punktowy, jednakże stwierdzenie to może być prawdziwe wyłącznie dla analizowanej lokalizacji na zadanej wysokości.

Zadane w wariantach modelu funkcje celu zostały osiągnięte przy spełnieniu założonych ograniczeń. W dwóch przypadkach osiągnięto stan bliski samowystarczalności energetycznej (a-b) – do jego pełnego osiągnięcia wystarczające byłoby zwiększenie pojemności akumulatorów. Należy mieć na uwadze, iż model nie zakładał dopuszczalnego poziomu rozładowania akumulatora. W celu ochrony przed jego zbyt głębokim rozładowaniem należałoby zwiększyć jego pojemność lub zainstalować odpowiedni czujnik.



Rys.6. Bilans energetyczny na dzień 31.03.2014

Fig. 6. Energeticalbalance as on 31.03.2014

6. Podsumowanie

Przedstawiony w pracy model matematyczny umożliwia realizację wybranych przez użytkownika funkcji celu przy spełnieniu narzuconych ograniczeń. Zapisanie modelu w programie MS Excel pozwala na jego dowolną modyfikację oraz łatwość

interpretacji. Jego główną zaletą jest możliwość przyjrzenia się zmianom zachodzącym w bilansie energetycznym w ciągu wybranych okresów. Spojrzenie na produkcję i zużycie energii w ujęciu godzinowym pozwala na uzyskanie wyników bliskich rzeczywistości systemowi, ponieważ w ramach danych wejściowych podawane są rzeczywiste godzinowe wartości prędkości wiatru oraz nasłonecznienia. W ramach dalszych prac, konieczne jest pozyskanie rzeczywistych danych dotyczących godzinowego zużycia energii, oraz uwzględnienie kwestii związanych ze sprawnością ładowania i rozładowywania akumulatora.

BIBLIOGRAFIA

1. IEA. International Energy Outlook, 2010. United States: Energy Information Administration; 2010.
2. Buildings Energy Data Book, U.S. DOE; 2011.
3. WBCSD. Pathways to 2050: Energy and Climate Change. Worlds Business Council for Sustainable Development: Geneva; 2005.
4. Renewables 2014 Global Status Report, REN21; 2014.
5. Sektor Energetyczny w Polsce, Polska Agencja Informacji i Inwestycji Zagranicznych S.A.
6. Poland Energy Report, Enerdate, Lipiec 2012.
7. Szymański B.: Małe Instalacje Fotowoltaiczne, GLOBEnergia, Kraków, 2013.
8. Monforti F. i in.: Assessing complementarity of wind and solar resources for energy production in Italy. A Monte Carlo approach. Renewable Energy, 63, 2014, s.od 576 do 586.
9. Santos-Alamillos F.J. i in.: Combining wind farms with concentrating solar plants to provide stable renewable power. Renewable Energy, 76, 2015, s. od 539 do 550.
10. Jerez S. i in.: Spatio-temporal complementarity between solar and wind power in the Iberian Peninsula. Energy Procedia, 40, 2013, s. od 48 do 57.
11. Bird R., Hulstrom R.: A Simplified Clear Sky Model for Direct and Diffuse Insolation on horizontal Surfaces, U.S. DOE; 1981.
12. www.soda-is.com*dostęp 20.02.2015*
13. Young Tae Chae i in. Building energy performance evaluation of building integrated photovoltaic (BIPV) window with semi-transparent solar cells. Applied Energy, 129, 2014, s. od 217 do 227.

14. Poh Khai Ng, Mithraratne N.: Lifetime performance of semi-transparent building-integrated photovoltaic (BIPV) glazing systems in the tropics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 2014, s. od 736 do 745.
15. Wojdyła M. Energetyka wiatrowa zintegrowana z budynkiem – Golarz chmur. *GLOBEnergia*, 5, 2010 s. 38.
16. Perwita Sari D., Kusumaningrum Banar W.: A Technical Review of Building Integrated Turbine System and a Sample Simulation Model in Central Java, Indonesia. *Energy Procedia*, 47, 2014, s. od 29 do 36.
17. www.soltec.sklep.pl *dostęp 10.03.2015*
18. www.generatorzy-wiatrowe.pl *dostęp 10.03.2015*
19. www.elektrownie-tanio.net *dostęp 11.03.2015*
20. www.saurorja.org *dostęp 09.03.2015*

HYBRYDOWY UKŁAD ZASILAJĄCY BUDYNEK MIESZKALNY WYKORZYSTUJĄCY ENERGIĘ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO I WIATRU

Streszczenie

Celem poniższego artykułu było przedstawienie energetyki słonecznej oraz wiatrowej jako możliwych źródeł energii elektrycznej w budownictwie mieszkalnym. W pracy scharakteryzowano główne zalety oraz wady tych dwóch źródeł energii. W celu ukazania zasady funkcjonowania układu hybrydowego zbudowano model matematyczny, na podstawie, którego zrealizowano zadane funkcje celu. Dowiedziono, że dla wybranej lokalizacji możliwe jest uzyskanie stanu bliskiego samowystarczalności energetycznej.

RESIDENTIAL HYBRID POWER SYSTEM BASED ON WIND AND SOLAR RADIATION

Summary

The aim of this paper was to present solar and wind energy as possible electrical energy sources in residential building. Main advantages and drawbacks of both sources have been characterized. In order to present the way how hybrid power system works a mathematical model has been developed based on which, given objective functions were realized. It has been proved that for given location, it is possible to create a power system which will enable self-sufficiency in terms of electrical energy.