

Krzysztof Pytel

Badanie hybrydowego układu pozyskiwania energii odnawialnej*

Energetyka źródeł odnawialnych jest działem gospodarki borykającym się z kłopotami finansowymi. Wynikają one ze stosunkowo wysokich nakładów inwestycyjnych, nakładów na nowoczesne technologie i niepewności pozyskania wystarczającej ilości energii wymaganej do zwrotu poniesionych nakładów. Dodatkowo produkcja energii odnawialnej jest mocno związana z działalnością sektora bankowego ustalającego systemy kredytowania dla przedsiębiorstw z niskim poziomem kapitału, a współistnienie tych działów gospodarki wyklucza długi okres zamrożenia środków finansowych. Ponadto obecne ceny surowców konwencjonalnych ustalające niskie ceny energii ze źródeł odnawialnych są często przyczyną czasu zwrotu kosztów wynoszącego blisko cały okres pracy elektrowni. Dlatego, pomimo znacznego obniżenia cen energii ze źródeł odnawialnych na przestrzeni ostatnich 30 lat, ten dział gospodarki nie jest konkurencyjny do elektroenergetyki konwencjonalnych zasobów energii. Wymaga on prężnego wsparcia ze strony rządów i instytucji finansowych. W większości krajów pomoc państwa określa się jako niewystarczającą, jednakże ciągłe poparcie dla rozwoju energetyki źródeł odnawialnych może tę sytuację odmienić. Od kilkunastu lat szereg państw Unii Europejskiej (np. Niemcy, Dania) traktuje politykę wykorzystania OZE (Odnawialnych Źródeł Energii) priorytetowo i tendencja taka zaczyna dominować w pozostałych wysoko rozwiniętych krajach. Wsparcie dla pozyskiwania ekologicznie czystych i odnawialnych zasobów energetycznych determinuje działania rządów państw europejskich, gdzie zainstalowano blisko 2/3 światowej mocy pochodzącej z wykorzystania energii wiatru. Polska, jako członek Unii Europejskiej i państwo, które podpisało szereg ogólnowiatowych dokumentów politycznych z zakresu rozwoju i wdrażania technologii wykorzystania OZE, została zobligowana do szerszego wykorzystania energii odnawialnej w sytuacjach technicznie i ekonomicznie uzasadnionych. Zarówno elektrownie wiatrowe jak i słoneczne, uważane za budowle proekologiczne, zyskują coraz

* Tekst złożono do druku 26 września 2005 roku.

większą uwagę wśród inwestorów zainteresowanych budową i zastosowaniem w praktyce układów pozyskiwania i eksploatacji energii z niekonwencjonalnych źródeł. Jednocześnie instytucje finansowe wspierające rozwój projektów wykorzystania OZE oraz organizacje finansowe udzielające preferencyjnych pożyczek i dotacji, w kwocie nieraz przekraczającej 50% kosztów inwestycji, skutecznie przyczyniają się do przygotowania projektów inwestycyjnych i budowy instalacji OZE [2, 3].

Wiatr i słońce jako zasoby odnawialne

Rozwój energetyki wykorzystującej zasoby odnawialne idzie w parze z racjonalizacją zużycia energii oraz rozwojem technologii energooszczędnych. Unia Europejska planuje do 2010 r. zwiększenie do 22% średnio udziału OZE w ogólnym bilansie energetycznym. W Polsce planuje się udział OZE na poziomie 7,5% (obecnie około 2%). Wśród zasobów energii odnawialnej, energia wiatru i słońca może być pozyskiwana na obszarach, gdzie nie ma dostępu do sieci elektrycznej, a występuje zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepłą. Jednakże muszą być spełnione pewne warunki wietrzności oraz nasłonecznienia pozwalające na uzyskanie odpowiedniej mocy wyjściowej. Eksploatacja tych zasobów nie powoduje w żaden sposób ich zaniku, ani nie stwarza obaw niekorzystnego wpływu eksploatacji na otoczenie [5].

W Polsce istnieją wystarczające warunki do funkcjonowania elektrowni wiatrowych. Najkorzystniejsze pod względem wietrzności regiony są położone wzdłuż linii brzegowej, gdzie realizowana jest większość z przeprowadzanych w Polsce inwestycji. Średnioroczne prędkości wiatrów w Polsce na wysokości powyżej 50 m nad gruntem wynoszą do 7,5 m/s. Dodatkowo miejscem o bardzo korzystnych warunkach dla rozwoju energetyki wiatrowej jest obszar Morza Bałtyckiego, gdzie już w odległości 10 m od linii brzegowej, na wysokości powyżej 50 m, prędkości wiatru wynoszą powyżej 8,5 m/s. Istotną zaletą energetyki wiatrowej jest fakt, że elektrownie mogą być lokowane w miejscach nieużytków. Brak zanieczyszczeń środowiska powstających w trakcie eksploatacji elektrowni powoduje, że również teren w bezpośrednim ich sąsiedztwie może być wykorzystany do celów rolniczych. Zasoby energetyczne wiatru są w Polsce na tyle duże, że właściwie zaplanowana inwestycja będzie wydajnym źródłem energii.

Brak ciągłości dostawy, przypadkowe zmiany strumienia energii czy niezgodność czasowa podaży ciepła z jego zapotrzebowaniem, będące podstawowymi wadami odnawialnych zasobów energetycznych, mogą zostać zniwelowane równoczesnym użytkowaniem dodatkowego zasobu energetycznego. Gdy na podaż energii wiatru przypada minimum, zazwyczaj maksimum podaży przypada na energię promieniowania słonecznego.

Energia Słońca stanowi niewyczerpalny zasób energetyczny. Szacuje się, że około 15 tysięcy razy więcej energii każdego roku dociera do powierzchni Ziemi

niz jesteśmy w stanie wykorzystać. Pomimo że Polska znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego o średnim strumieniu promieniowania słonecznego rzędu $1050 \text{ W/m}^2/\text{rok}$, to ilość energii jest wystarczająca do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego użytkownika.

Energię promieniowania słonecznego występującą pod postacią promieniowania możemy wykorzystać na wiele sposobów. Promieniowanie bezpośrednie i rozproszone można wykorzystać w procesach niskotemperaturowych w pasywnych i aktywnych systemach grzewczych. Promieniowanie bezpośrednie w procesach wysokotemperaturowych w piecach i elektrowniach słonecznych. Energię promieniowania słonecznego można przetwarzać bezpośrednio na energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych. Pozyskiwanie i przetwarzanie energii promieniowania słonecznego wiąże się z wysokimi kosztami oraz małą sprawnością energetyczną. Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat koszty urządzeń znacznie się zmniejszyły, co skutkowało kilkudziesięciokrotnym obniżeniem cen energii wytwarzanej z promieniowania słonecznego. Przewiduje się, że stan ten w dalszym ciągu będzie się zmieniał, urządzenia o wysokiej sprawności energetycznej zapewnią tańszą energię, a co za tym idzie, energia słoneczna będzie w stanie zastąpić energię wytworzoną metodami konwencjonalnymi.

Układy hybrydowe pozyskiwania OZE

Ogromne korzyści ze stosowania technologii odnawialnych źródeł energii płyną dla środowiska naturalnego. Odnawialne źródła energii są źródłami lokalnymi, a znajomość ilości zasobów i warunków ich pozyskania gwarantuje wymaganą ilość energii najniższymi akceptowalnymi kosztami inwestycyjnymi. Idei projektowania układów hybrydowych przyświeca cel najefektywniejszego wykorzystania zasobów energetycznych zmagazynowanych na danym terenie. Systemy hybrydowe są kombinacją kilku systemów wytwarzania energii. Projektowane są zarówno do połączenia z siecią wysokiego napięcia stanowiącą doskonały akumulator dla wyprodukowanej energii oraz jako układy autonomiczne, działające niezależnie od sieci. Układy hybrydowe są zestawami modułów wzajemnie uzupełniających się instalacji wykorzystujących różne zasoby energetyczne, które zestawiono po oszacowaniu indywidualnego zapotrzebowania na moc oraz wybrano spośród najbardziej efektywnych, z punktu widzenia indywidualnego użytkownika, układów i systemów pozyskiwania energii odnawialnej. Modułowa natura technologii OZE pozwala na ich ewolucyjne rozszerzanie w miarę wzrostu zapotrzebowania, dzięki czemu korzystne jest finansowanie takich inwestycji. Jednocześnie w niektórych przypadkach system hybrydowy może być tańszy niż systemy wolnostojące dzięki wykorzystaniu tańszych urządzeń dodatkowego, pomocniczego zasobu energetycznego.

Analiza hybrydowego układu OZE

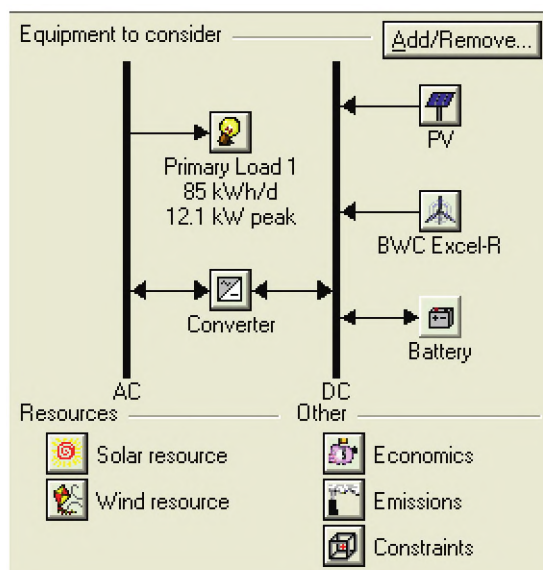
Przeprowadzono symulacje układu hybrydowego za pomocą programu HOMER (The Hybrid Optimization Model for Electric Renewables). Program napisano w the Midwest Research Institute ('MRI') dla the U.S. Department of Energy ('DOE') [1, 2]. Celem symulacji jest określenie przydatności stosowania hybrydowego układu OZE w zależności od konfiguracji układu i warunków klimatycznych panujących na danym obszarze. Określono przydatność stosowania hybrydowego układu OZE pod względem ekonomicznym. Wszystkie informacje o wykorzystywanej technologii, kosztach komponentów układu i dostępności źródła wymaganego do funkcjonowania elementów systemu zawarto w danych do symulacji.

Założenia

Zaprojektowano układ pozyskiwania energii odnawialnej składający się z turbiny wiatrowej, ogniwa fotowoltaicznego i akumulatora energii (rys. 1).

1. Założone dobowe zapotrzebowanie na energię na rysunku 2 [HOMER-Remote_Load.dmd].

2. Dobrano elektrownię wiatrową o mocy 7,5 kW BWC Excel-R/48. Koszt elektrowni to 31 000 \$, roczne koszty konserwacji przyjęto jako 3% ceny zestawu elektrowni wiatrowej, czas pracy elektrowni przyjęto 25 lat.



Rys. 1. Schemat do analizy

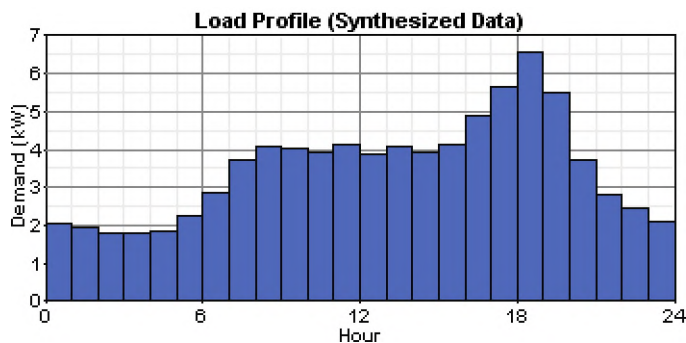
3. Przyjęto macierz ogniw fotowoltaicznych PV o mocy 55 W każde. Czas pracy elektrowni przyjęto 20 lat [4].

4. Założono baterie Surrette S460. Oczekiwany okres pracy od 5–10 lat [6].

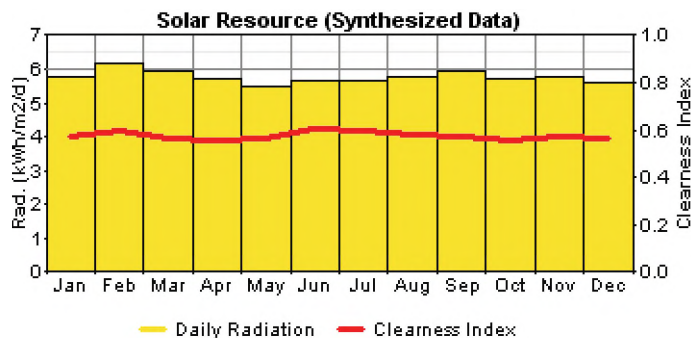
5. Ponieważ w systemie występują elementy wytwarzające i magazynujące prąd stały, podczas gdy większość wykorzystywanych w gospodarstwie domowym urządzeń zaprojektowano do pracy na prąd zmienny, zaproponowano wykorzystanie konwertera AC/DC Inverter System SW4548E 4,5 kW.

6. Analizę przeprowadzono dla 108 wariantów pracy układu. Parametry, które podlegały analizie to koszt całkowity, wartość bieżąca netto (Total NPC) i koszt kWh wyprodukowanej energii (COE). Warianty analizy przedstawiono na rysunku 5.

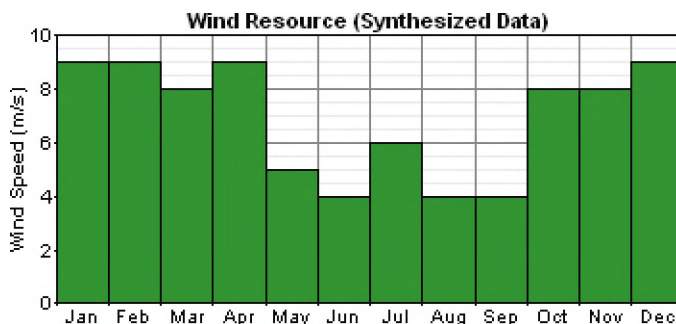
Istotnym czynnikiem wpływającym bezpośrednio na efektywność wykorzystania urządzenia pozyskującego energię są warunki klimatyczne. Do obliczeń przyjęto nasłonecznienie [7, 8] i prędkości wiatru [9] dla Polski centralnej i południowej.



Rys. 2. Dobowe zapotrzebowanie na energię elektryczną



Rys. 3. Średnia dzienna dawka promieniowania w wybranym regionie Polski



Rys. 4. Średnie dzienne prędkości wiatru w roku 2003 w wybranym regionie Polski

	PV Array (kW)	XLR (Quantity)	Batteries (Quantity)	Converter (kW)
1	6.600	0	0	0.000
2	9.900	1	1	4.500
3	13.200	2	3	9.000
4	16.600			

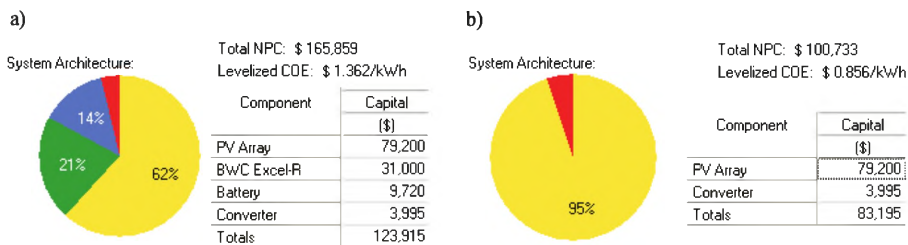
Buttons: Help, Cancel, OK

Overall winner: Category winner

Rys. 5. Warianty analizy

Wyniki analizy

Wyniki analizy ekonomicznej przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wyniki analizy układu – architektura układu najbardziej zróżnicowanego pod względem źródeł energii (a) i najbardziej ekonomicznego (b)

Najkorzystniejszy pod względem ekonomicznym okazał się system skonfigurowany następująco:

- Macierz ogniw PV o mocy 13,2 kW,
- Konwerter 4,5 kW.

Celem gruntownego porównania alternatywnych wariantów układów wykonanej symulacji, ranking najlepszych pod względem ekonomicznym rozwiązań przedstawiono w tabeli 1. Z symulacji można wnioskować, że ogniwa PV są głównym źródłem energii w podanej konfiguracji systemu.

Initial capital	PV (kW)	XLR	Battery	Converter (kW)	Total NPC	COE (\$/kWh)
\$ 83,195	13,2			4,5	\$ 100,733	0,856
\$ 92,915	13,2		1	4,5	\$ 122,075	1,024
\$ 114,195	13,2	1		4,5	\$ 144,517	1,202
\$ 123,915	13,2	1	1	4,5	\$ 165,859	1,362

Tabela 1. Najbardziej korzystne wyniki analizy dla wybranych konfiguracji

Korzystny pod względem ekonomicznym, ale jednocześnie uniwersalny i pewny ze względu na dywersyfikację dostaw energii, okazał się system skonfigurowany następująco:

- Macierz ogniw PV o mocy 13,2 kW,
- 1 turbina wiatrowa BWC Excel-R o mocy 7,5 kW,
- 1 bateria akumulatorów Surrette S460 o mocy 4,5 kW,
- Konwerter 4,5 kW.

Z przeprowadzonej symulacji systemu wynika, że szacunkowy koszt instalacji przydomowej jest stosunkowo wysoki. Najtańszy zestaw to koszt rzędu 83 tys. \$. Z ogółu wydatków ponad 95% kosztów instalacji pochłonęły ogniwa PV. Rozważając uniwersalny układ pozyskiwania energii korzystający z sugerowanych źródeł energii, z ogółu wydatków 123 tys. \$, ponad 14% kosztują baterie akumulatorów, blisko 21% kosztów instalacji pochłonęła turbina wiatrowa, natomiast 62% ogniwa PV.

Cena układu jest stosunkowo wysoka, dlatego niezbędne wydaje się wsparcie organizacji finansowych, które mogą udzielać na tego typu systemy preferencyjnych pożyczek oraz dotacji. Bez dotacji na przygotowanie projektów inwestycyjnych z funduszy i międzynarodowych programów proekologicznych prawdopodobnie nie udałoby się sfinalizować inwestycji, a drogie obecnie jeszcze urządzenia nie mogłyby służyć społeczeństwu ani poprzez propagowanie wykorzystania odnawialnych zasobów energetycznych, ani rozwój terenów rolniczych i nieużytków. Z tego powodu uzasadnione jest inwestowanie w pozyskiwanie drogiego obecnie, ale taniejącego i w przyszłości jedyne go dostępnego zasobu – energii odnawialnej.

Zakończenie i wnioski

Zaprojektowano układ pozyskiwania energii odnawialnej zbudowany z turbiny wiatrowej, akumulatora energii, ogniwa PV i konwertera. Wykazano, że dywersyfikacja pozyskiwania energii z kilku zasobów odnawialnych ma same zalety. Aby ją

w pełni wdrożyć, należy poszukiwać nowych technologii pozyskiwania energii wskazując na olbrzymie korzyści dla środowiska naturalnego człowieka płynące ze stosowania tych technologii. Jednocześnie analizując w skali globalnej wykorzystanie kilku zasobów energetycznych, zauważamy zwiększenie poziomu bezpieczeństwa energetycznego, co promuje rozwój regionalny oraz tworzy nowe miejsca pracy, szczególnie w małych i średnich przedsiębiorstwach.

Dla zapewnienia efektywnego wykorzystania różnych sposobów wytwarzania energii systemy hybrydowe są zazwyczaj bardziej skomplikowane technologicznie, a przez to droższe. Pomimo wysokich kosztów inwestycja jest opłacalna zarówno w sensie ekologicznym jak i finansowym. W Polsce wymagane środki pieniężne na inwestycję można było i można nadal na przestrzeni lat 2000–2006 uzyskać z funduszy przedakcesyjnych oraz z funduszy strukturalnych, gdyż rocznie wsparcie od tych instrumentów finansowych wynosi dla Polski nawet do 0,5 mld euro. Środki te mogą odgrywać decydującą rolę w finansowaniu projektów proekologicznych, we wdrażaniu standardów światowych w sektorze ochrony środowiska oraz osiągnięciu samowystarczalności zaopatrzenia naszego kraju w energię pierwotną.

Bibliografia

- [1] www.nrel.gov/homer
- [2] www.eren.doe.gov/power
- [3] www.eren.doe.gov/der
- [4] <http://www.bergey.com/>
- [5] <http://www.zaber.com.pl>
- [6] <http://www.rollsbattery.com>
- [7] Duffie J., Beckman W., *Solar Energy of Thermal Processes*, 2nd edition, Wiley & Sons, New York 1991
- [8] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [9] <http://www.wunderground.com/>

Renewable hybrid power system analysis

Summary

The paper presents the role of energetics of Renewable Energy Sources in electro-energetics. The theme of wind and solar energy as energy supplies is introduced. The chosen example of hybrid system of renewable energy is presented. The economic analysis of wind and solar energy use was conducted with the HOMER software.

Key words: hybrid system, hybrid system design, hybrid power systems, renewable energy researches, hybrid wind and solar energy systems