

PROJEKT HYBRYDOWEJ ELEKTROWNI SŁONECZNO-WIATROWEJ

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono projekt elektrowni wykorzystującej równocześnie energię dwóch źródeł: słońca i wiatru. W fazie projektowej elektrowni określano lokalne jednostkowe zasoby energii kinetycznej wiatru oraz promieniowania słońca. Za pomocą analizy egzergetycznej określono tę część zasobów, która może być wykorzystana przez odbiorniki podłączone do projektowanej elektrowni. Analizę egzergetyczną zasobów energii przeprowadzono opierając się na sprawności urządzeń dokonujących konwersji i akumulacji energii. Na podstawie znajomości zasobów energii z obydwóch źródeł, wyników analizy egzergetycznej i założonej produkcji energii, określono wymiary wirników, turbin wiatrowych oraz czynną powierzchnię fotoogniw.

Koła turbiny wiatrowej zostały zaprojektowane i wykonane jako trójłopatkowe o średnicy 2,2 m i rozruchowej prędkości wiatru wynoszącej 1,5 m/s. Przyjęto powierzchnię fotoogniwa 0,86 m², a pojemność akumulatorów 280 A·h. Przyjęto również, że elektrownia pracować będzie w sieci wydzielonej, to znaczy nie będzie posiadać synchronizacji z krajowym systemem elektroenergetycznym. Dla celów obliczeniowych przyjęto, że roczna produkcja energii w projektowanej elektrowni wynosić będzie około 1000 kW·h.

Słowa kluczowe: energia wiatru, energia słońca, elektrownia słoneczna, elektrownia wiatrowa, zasoby energetyczne wiatru, zasoby energetyczne słońca

PROJECT OF HYBRID SUN-WIND POWER STATION

In report one introduced project of power station using simultaneously energy of two sources: of suns and of wind. In phase of project-power station, one qualified local individual supplies of energy kinetic wind and radiations of suns. At help of egzergy analysis one qualified this part of supplies, which can be used by receivers connected to projected power station. Analysis egzergy of supplies of energy one effected basing on efficiency of devices executing of conversion and of accumulation of energy. On base of acquaintance of supplies of energy from two sources, of results of analysis egzergy and founded of production of energy, one qualified dimensions of rotors, of turbines wind and active area fotovoltaic.

Keywords: wind energy, sun energy, sun power station, wind power station, supplies energetistic wind, supplies energetistic sun

1. WSTĘP

Do niedawna sądzono, że zasoby energii są nieograniczone i można z nich swobodnie korzystać. Na przełomie XVIII i XIX wieku rewolucja przemysłowa doprowadziła do nagłego wzrostu wykorzystania paliw kopalnych. Okres ten obfitował w rabunkową eksploatację zasobów naturalnych, a urządzenia produkujące energię miały wyjątkowo małą sprawność. Kryzys paliwowy na początku lat 70. XX w. pomógł uświadomić ludzkości, że zasoby energii ze źródeł kopalnych powoli się wyczerpują. Aktualne oszacowania określają światowe zapasy ropy naftowej na 43 lata, gazu ziemnego na 66 lat i węgla na 169 lat. Prawdopodobne przesunięcia w czasie, nawet o dziesięciolecia, nie zmieniają faktu obiektywnej ograniczoności tychże zasobów. Jednak zapotrzebowanie na surowce energetyczne ciągle wzrasta. Powoduje to stały wzrost kosztów uzyskania surowców, który w miarę zmniejszania zasobów będzie jeszcze wyższy. Przed ludzkością pojawiła się więc mroczna perspektywa deficytu energetycznego, która wymusza poszukiwanie substytutów surowców kopalnych. Jedyną jak na razie alternatywą

jest powrót do energii odnawialnej, wykorzystywanej przez człowieka od zarania dziejów, a odstawionej na boczny tor na ostanie 400 lat. Zasoby energii odnawialnej są praktycznie nieograniczone. Jednak ich potencjał jest rozproszony, zaś wykorzystanie wiąże się z koniecznością koncentracji, a co za tym idzie – ze znacznie zwiększonymi nakładami inwestycyjnymi. Stąd na dzień dzisiejszy koszty inwestycyjne wytwarzania energii odnawialnej są w polskich warunkach nieco większe niż koszty pozyskania i przetworzenia paliw kopalnych. Przyczyną są ciągle sterowane globalnie ceny nośników energii. W wyniku pojawiających się problemów środowiskowych oraz wzrostu cen nośników energii zainteresowanie wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii ciągle wzrasta. Coraz częściej rządy państw, widząc potrzebę efektywnego wykorzystania źródeł odnawialnych, prowadzą działania legislacyjne, których celem jest promowanie wzrostu odnawialnych źródeł energii w produkcji energii. Idąc za światowym trendem wykorzystania alternatywnych źródeł energii, postanowiono zaprojektować elektrownię wykorzystującą energię dwóch źródeł: słońca i wiatru. Na miejsce lokalizacji wybrano miasto Krosno.

* Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie, Instytut Politechniczny, zssitarz@interia.pl

2. OSZACOWANIE LOKALNYCH ZASOBÓW ENERGII WIATRU I SŁOŃCA DLA KROSNA

2.1. Oszacowanie zasobów energii wiatru

Oszacowanie lokalnych zasobów energetycznych jest najważniejszym elementem wstępnej fazy projektowej, gdyż decyduje o efektywności wykorzystania elektrowni, a co za tym idzie – celowości inwestycji.

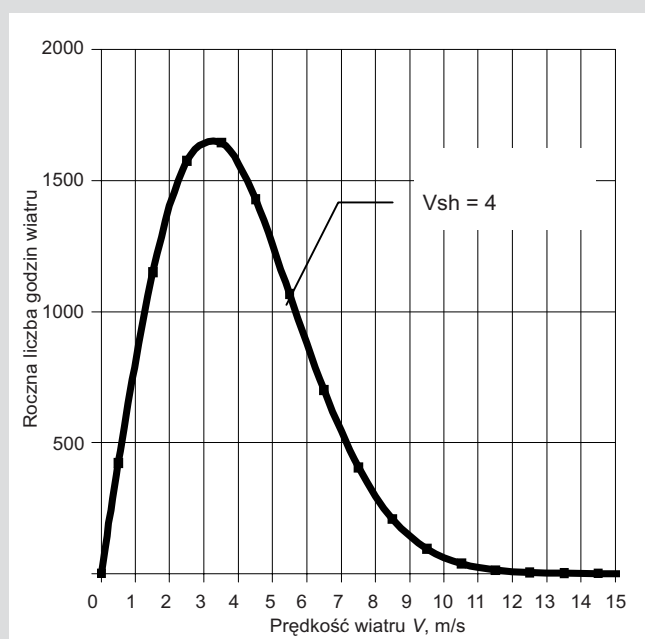
Lokalna energia wiatru, możliwa do wykorzystania w elektrowni wiatrowej, jest ściśle powiązana z jego prędkością oraz gęstością mocy strumienia i jest zależna od wielu czynników.

Prędkość wiatru zależy głównie od dwóch czynników:

- 1) wysokości nad powierzchnią ziemi, gdyż rośnie ona ze wzrostem wysokości;
- 2) lokalnego ukształtowania środowiska (lokalna zabudowa, ukształtowanie terenu itp.), tzw. szorstkością lub chropowatością terenu.

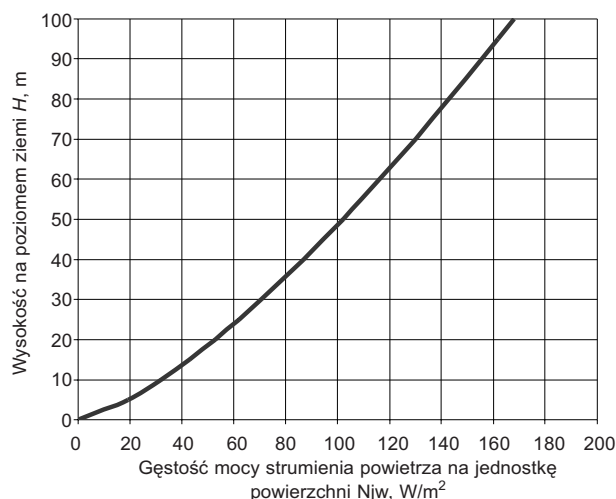
Istnieje wiele zależności pozwalających oszacować lokalną prędkość na dowolnej wysokości, uwzględniając chropowatość terenu i dysponując tylko znajomością prędkości na jednej wysokości (np. V_{10} – prędkość na wysokości 10 m). Wstępną ocenę warunków do budowy elektrowni wiatrowej EWi na danym terenie przeprowadza się na podstawie map średniorocznych prędkości wiatru, ostateczną zaś – na podstawie wyników pomiarów ciągłych w miejscu (lub miejscach), gdzie ma znajdować się EWi.

Efektywną ocenę zasobów energetycznych wiatru daje rozkład prędkości w funkcji czasu, tzw. dwuparametryczny rozkład Weibulla. Przyjmuje się, że dla zakresu średniorocznych prędkości $0 > V_{sh} \geq 3$ m/s na wysokości 10 m budowa elektrowni jest nieopłacalna. Dla Krosna średnia prędkość wiatru wynosi 4 m/s. Na rysunku 1 przedstawiono rozkład prędkości według rozkładu Weibulla. Podano tu



Rys. 1. Rozkład Weibulla dla śródrocznej prędkości 4 m/s

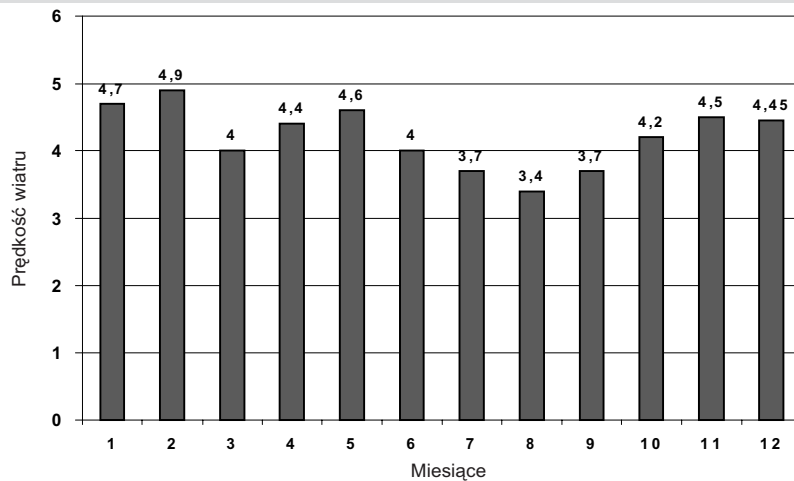
prawdopodobną liczbę godzin występowania wiatru z przedziału prędkości od 0 do 15 m/s dla średniorocznej prędkości wiatru $V_{sh} = 4$ m/s występującej na wysokości 10 m. Szarym tłem na wykresie zaznaczono zakres prędkości od 0 do 1,5 m/s – jest to zakres prędkości, która nie może być wykorzystana, gdyż jest poniżej prędkości rozruchowej EWi, która wynosi 1,5 m/s. Jak wynika z wykresu, zakres godzinowy prędkości użytecznych (większych o 1,5 m/s) dla Krosna jest bardzo duży, co potwierdza słusność budowy EWi na tym terenie.



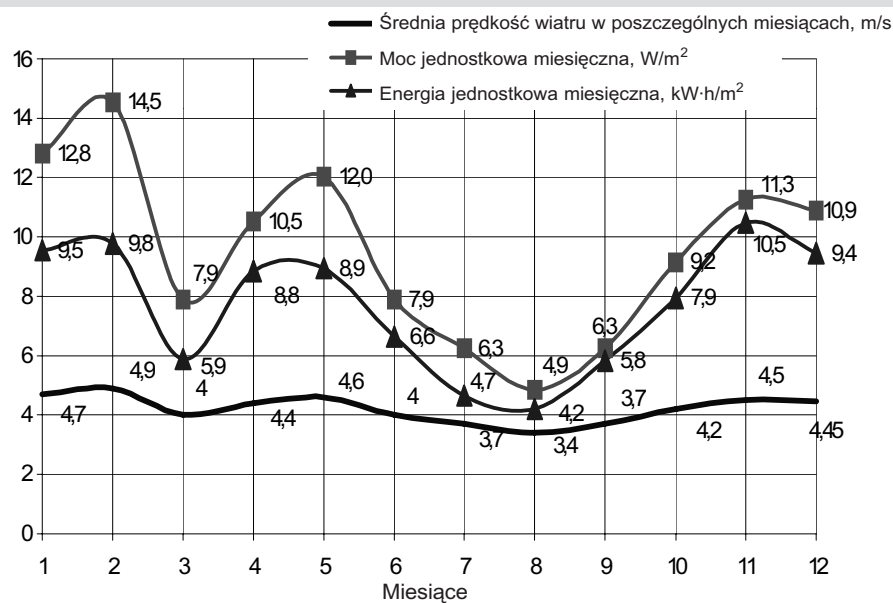
Rys. 2. Gęstość mocy strumienia przy $V_{sh} = 4$ m/s

Parametrem charakteryzującym poziom energetyczny wiatru jest gęstość mocy strumienia N_{jw} na jednostkę powierzchni, np. 1 m^2 powierzchni koła wirnikowego. Rysunek 2 przedstawia wykres gęstości mocy strumienia powietrza wyznaczonej dla średniorocznej prędkości 4 m/s w zależności od wysokości nad poziomem gruntu. Wyliczając rozkład mocy, uwzględnia się ukształtowanie terenu umiejscowienia EWi (szorstkość terenu) i wysokość nad poziomem gruntu. Tylko część gęstości mocy może być wykorzystana w EWi do wytwarzania energii elektrycznej. W idealnych warunkach wartość ta wynosi ok. 60%, w praktyce wartość ta nie przekracza 40% N_{jw} .

Jak już wcześniej wspomniano, ostateczna ocena zasobów energetycznych wiatru może być przeprowadzona w oparciu o wyniki pomiarów ciągłych w przewidywanym miejscu ustawienia EWi. Z powodu braku takich pomiarów z terenów Krosna należało przyjąć wyniki pomiarów z terenów o podobnej rzeźbie terenu i o podobnym potencjale wiatru. Założenie takie nie odzwierciedla rzeczywistych zasobów energii miejsca usytuowania EWi, ale pozwala z dużym przybliżeniem przyjąć je jako właściwe dla tego miejsca. Do projektu wykorzystano wyniki pomiarów z miejscowości Wola Rafałowska k. Rzeszowa, oddalonej od Krosna o około 65 km o podobnej rzeźbie terenu i takiej samej średniej prędkości wiatru. Pomiarzy były przeprowadzane w sposób ciągły, więc można było na ich podstawie oszacować energię wiatru, zarówno w przeliczeniu godzinowym, dobowym, jak i miesięcznym. Duża zmienność godzinowa, a nawet dobowo zasobów wiatru, jak również konieczność zestawienia z zasobami energii słonecznej



Rys. 3. Średnie miesięczne prędkości wiatru



Rys. 4. Średnia jednostkowa moc i energia w poszczególnych miesiącach

spowodowały, że najbardziej słuszym rozwiązaniem stało się miesięczne bilansowanie zasobów energii jako suma zasobów dobowych. Na rysunku 3 przedstawiono miesięczną średnią wartość wiatru występującą na badanym terenie. Jak wynika z przedstawianego wykresu, największe średnie prędkości wiatru występują w miesiącach zimowych, zaś najmniejsze w miesiącach letnich.

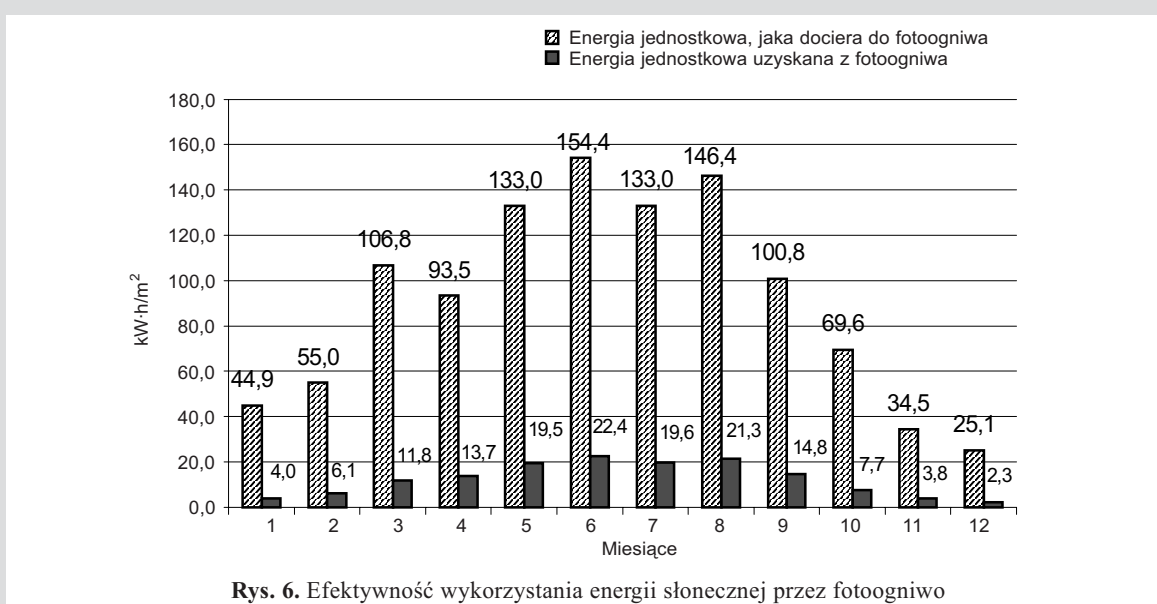
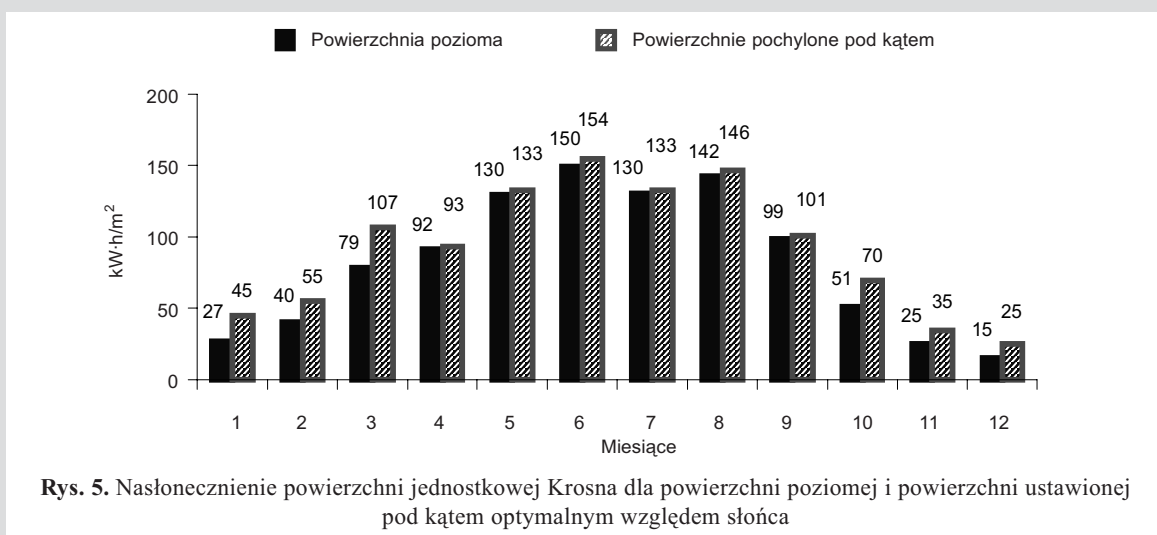
Znając lokalne zasoby energii wiatru, można wyznaczyć jego moc i energię przypadającą na jednostkę powierzchni, np. 1 m². Do dokładnego oszacowania mocy i energii jednostkowej przyjęto sprawność mechaniczną (łożyska, przekładnia) turbiny równą 0,9 oraz sprawność generatora 0,9. Założono, że wirnik będzie trzyłopatkowy, więc przyjęto dla niego przy $V_{sh} = 4$ m/s współczynnik wydajności turbiny 0,25. Rysunek 4 przedstawia średnią jednostkową moc i energię w poszczególnych miesiącach. Największą energię i moc jednostkową z elektrowni można otrzymać w miesiącach zimowo-wiosennych.

Jedynym niższym w zasoby wiatru miesiącem w tym okresie jest marzec. Najmniejsze zasoby energii wiatru wy-

stępują na terenie badanym w miesiącach letnich, osiągając minimum w miesiącu sierpniu. Już na tym etapie widać, że znacznie niższe zasoby energii wiatrowej w miesiącach letnich może doskonale uzupełnić, osiągająca maksymalne wartości w tym okresie, energia słoneczna.

2.2. Oszacowanie zasobów energii słonecznej

Do oszacowania lokalnych zasobów energii słonecznej niezbędne są pomiary nasłonecznienia powierzchni ziemi. Aby wyniki były jak najbardziej obiektywne, należałoby przeprowadzić pomiary w okresie przynajmniej pięciu lat, a jako dane do obliczeń efektywności energii słonecznej przyjąć uśrednione wartości z tego okresu. Tak długi okres przeprowadzania pomiarów podyktowany jest zróżnicowaniem dni, a nawet lat pod względem godzin bezchmurnych i słonecznych. Z braku lokalnych pomiarów nasłonecznienia przyjęto pomiary z miejscowości Kozy o podobnej rzeźbie terenu (wykorzystanie odbić) i zbliżonej szerokości geograficznej (podobne zasoby strefowe).



Roczna suma promieniowania słonecznego przypadająca na jednostkę powierzchni zależy od zorientowania tej powierzchni w przestrzeni. Oczywiście wartości maksymalne uzyskuje się, gdy płaszczyzna jest ustawiona prostopadle do promieni słonecznych. Pomiary były prowadzone dla powierzchni poziomej, stąd konieczność przeliczenia ich dla powierzchni położonej pod kątem przyjętym za najkorzystniejszy. Przyjęto dla lepszego wykorzystania energii słońca, że nieruchome zorientowane na południe fotoogniwo będzie ustawione w miesiącach letnich pod kątem 40°, zaś w miesiącach zimowych pod kątem 50°.

Rysunek 5 przedstawia zasoby miesięczne energii słonecznej jednostkowej [kWh/m²] przypadającej na jednostkę powierzchni dla płaszczyzny poziomej i dla płaszczyzn ustawionych pod kątami wcześniej założonymi w poszczególnych miesiącach roku. Jak można się było spodziewać, największe zasoby energii słonecznej występują w miesiącach letnich, zaś najniższe w miesiącach zimowych. Można również zauważyć dużą rozpiętość wartości między okresem letnim a okresem zimowym. W najbardziej zasobnym

w energię promieniowania miesiącu czerwcem suma promieniowania (154 kWh/m²) była ponad pięciokrotnie wyższa niż w najbardziej ubogim w energię słoneczną miesiącu grudniu (25 kWh/m²). Również pochylając powierzchnię pod optymalnymi kątami względem słońca, możemy wykorzystać większe ilości energii słonecznej. Jest to szczególnie widoczne w miesiącach zimowych, gdzie ilość energii pozyskiwanej przy ustawieniu powierzchni pod kątem przyjętym za najkorzystniejszy w stosunku do powierzchni poziomej jest ponad 1,5 razy większa. Zasoby energii słonecznej w poszczególnych miesiącach na przestrzeni roku stanowią w dużym przybliżeniu odwrotność zasobów energii wiatru, co potwierdza słuszność założeń budowy elektrowni słoneczno-wiatrowej, gdyż oba te źródła nawzajem się uzupełniają. Nie cała jednak energia docierająca do powierzchni może być przemieniona na energię elektryczną w ogniwie, ze względu na niską sprawność zjawiska fotowoltanicznego, która waha się w granicach 15%. Rysunek 6 przedstawia rzeczywiste miesięczne wartości energii jednostkowej, jaką można otrzymać z jednostki powierzchni

fotogniwa. Jak widać, użyteczna energia otrzymana z jednego metra kwadratowego fotogniwa jest o wiele niższa, niż energia, która do tej powierzchni dociera ze słońca. Maksymalna wartość energii użytecznej jest uzyskiwana w czerwcu – $22,4 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$. Wykres ten przedstawia również, jak duże zasoby energii słonecznej nie są wykorzystywane przy bezpośredniej przemianie na energię elektryczną, ze względu na niską sprawność fotogniw.

3. BILANS ELEKTROWNI SŁONECZNO-WIATROWEJ

3.1. Założenia projektowe elektrowni doświadczalnej SW słoneczno-wiatrowej

Do projektu elektrowni doświadczalnej SW przyjęto następujące założenia:

- elektrownia będzie działała w systemie autonomicznym, czyli nie będzie współpracowała z siecią elektryczną;
- doświadczalna elektrownia będzie służyła do zasilania oświetlenia o mocy 75 W;
- oświetlenie będzie czynne od zmierzchu do świtu – powoduje to konieczność akumulowania energii elektrycznej wytwarzanej w dzień i jej odzyskiwania w godzinach nocnych;
- autonomiczna praca systemu wykorzystującego tylko zasilanie z akumulatora (zachmurzone niebo i bezwietrzna pogoda) będzie wynosiła 2 dni.

3.2. Określenie miesięcznego zapotrzebowania na energię elektryczną

Na początku wyliczono zapotrzebowanie na energię elektryczną. Tabela 1 przedstawia zapotrzebowanie na energię dla oświetlenia o mocy 75 W w poszczególnych miesiącach, zróżnicowane ze względu na liczbę dni miesiąca i czas trwania nocy. Rysunek 7 przedstawia porównanie jednostkowych energii produkowanych przez moduły SW fotogniwa i EWi. Z wykresu jednoznacznie wynika, że zapotrzebowanie na energię elektryczną w niektórych miesiącach przekracza możliwości produkcyjne systemu z powierzchni jednostkowych. Należy więc zmodyfikować wymiary SW tak, aby pozwalały one uzyskać wystarczającą ilość energii przy uwzględnieniu dodatkowych strat.

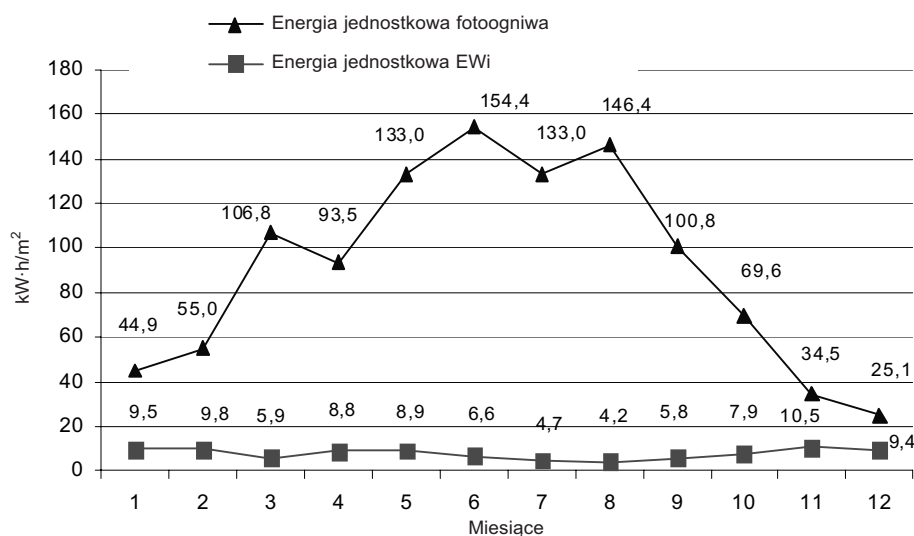
Założono, że energia słoneczna będzie uzupełniać niedobór energii wiatru, szczególnie w miesiącach letnich. Przyjęto więc, że do SW będzie zastosowany zespół dwóch modułów fotowoltaicznych o mocy 100 W, 12 V, o łącznej powierzchni $0,86 \text{ m}^2$.

Przy założonych wcześniej: współczynnika wydajności turbiny wiatrowej 0,25, sprawności mechanicznej 0,9 i sprawności generatora 0,9 przyjęto, że średnica wirnika będzie wynosiła 2,2 m. W dokładnych obliczeniach należy jeszcze wziąć pod uwagę straty przesyłu energii na przewodach i urządzeniach dodatkowych oraz sprawność akumulacji. Straty te nie powinny wynosić więcej niż 40%.

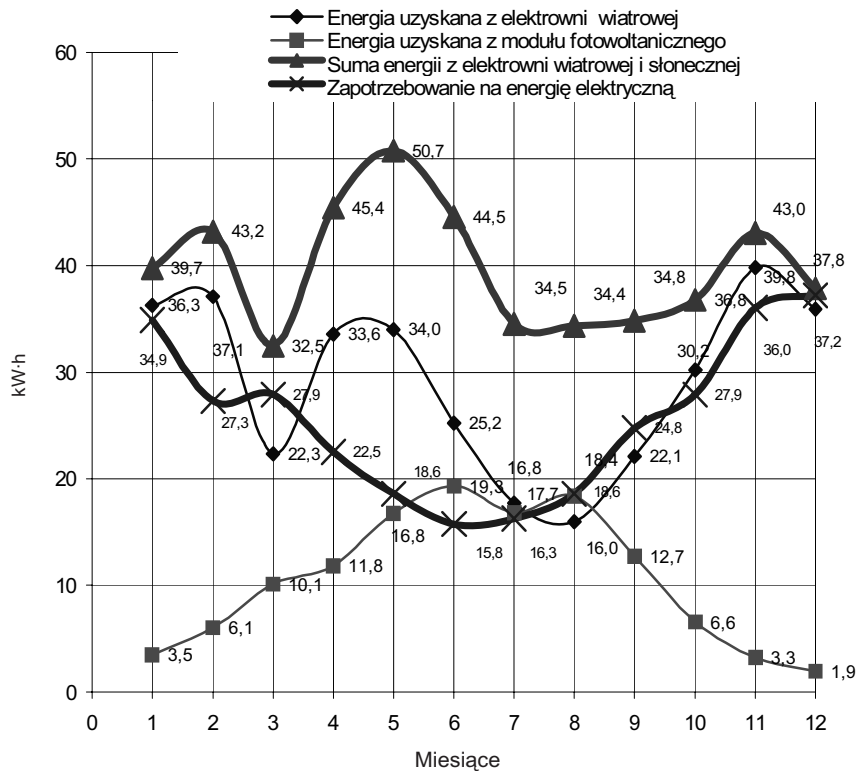
Tabela 1

Zapotrzebowanie na energię elektryczną w poszczególnych miesiącach roku

Miesiąc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Liczba godzin świecenia żarówki	15	13	12	10	8	7	7	8	11	12	16	16
Zapotrzebowanie na energię elektryczną, $\text{kW}\cdot\text{h}$	34,9	27,3	27,9	22,5	18,6	15,8	16,3	18,6	24,8	27,9	36,0	37,2



Rys. 7. Miesięczna jednostkowa produkcja energii z EWi i fotogniwa



Rys. 8. Wykres miesięcznej produkcji energii

Rysunek 8 przedstawia miesięczną produkcję energii elektrycznej po uwzględnieniu wszystkich strat mogących wystąpić w układzie SW. Jak widać, założone wcześniej wymiary elektrowni zaspokajają zapotrzebowanie na energię elektryczną w skali całego roku. Największe zapotrzebowanie występuje w grudniu, przy dość niskich zasobach wiatru i najniższych słońca. Dlatego, aby SW była samowystarczalna, należało założyć takie wymiary elementów elektrowni, by produkcja energii elektrycznej w tym miesiącu była równa zapotrzebowaniu na nią, a nawet je przekraczała (możliwość wystąpienia dni pochmurnych i bezwietrznych). W miesiącach letnich występuje nadwyżka energii, która może być wykorzystana np. do zasilania podłączanych okresowo innych odbiorników (np. wyższa moc oświetlenia). Najbardziej zasobnym w energię słońca i wiatru jest maj i w tym miesiącu nadwyżka energii z SW jest prawie trzykrotnie wyższa niż zapotrzebowanie. Założenia budowy elektrowni słoneczno-wiatrowej również okazały się słuszne, gdyż niedobór jednego ze źródeł znakomicie uzupełnia źródło drugie. Elektrownia słoneczno-wiatrowa może więc stanowić alternatywę dla konwencjonalnych elektrowni, wykorzystując tylko odnawialne źródła energii, czyli produkując tzw. czystą energię.

4. DOBÓR AKUMULACJI

Przy zmiennych dziennych zasobach energii słonecznej i wiatrowej może się okazać, że w pewnych dniach, szczególnie w miesiącach zimowych podczas dni bezwietrznych i bezchmurnych, produkcja energii elektrycznej będzie o wiele niższa niż zapotrzebowanie na nią. Należy w związku z powyższym oszacować okres pracy elektrowni z za-

niżoną produkcją energii lub w ogóle bez produkcji energii, kiedy to odbiornik będzie zasilany wyłącznie z akumulatora doładowanego w dniach zasobniejszych w moc źródeł energii oraz dobrać pojemność akumulatora wystarczającą do zgromadzenia odpowiedniej ilości energii. Do obliczeń założono najdłuższy dzienny czas pracy oświetlenia w miesiącu zimowym wynoszący 16 godzin. Jeżeli oświetlenie 75 W będzie pracowało przez 16 godzin, to zapotrzebowanie dobowe na energię będzie wynosiło 1050 W·h. Akumulator powinien mieć więc pojemność

$$Q = 1050 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 87,5 \text{ A}\cdot\text{h}$$

Przy założeniu dwudniowej pracy bez zasilania z zewnątrz akumulator powinien mieć pojemność: $Q = 2 \times 87,5 = 175 \text{ A}\cdot\text{h}$. Przyjmując 60-procentową sprawność akumulacji, należy przyjąć wyższą pojemność akumulatora, która w tym przypadku wynosi 280 A·h.

5. STRUKTURA ELEKTROWNI

Jak wcześniej założono, elektrownia słoneczno-wiatrowa SW jest zasilana z dwóch źródeł. Stwarza to konieczność zastosowania dwóch rodzajów urządzeń dokonujących konwersji energii:

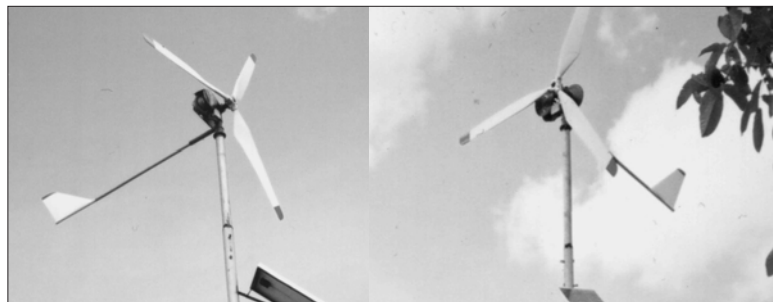
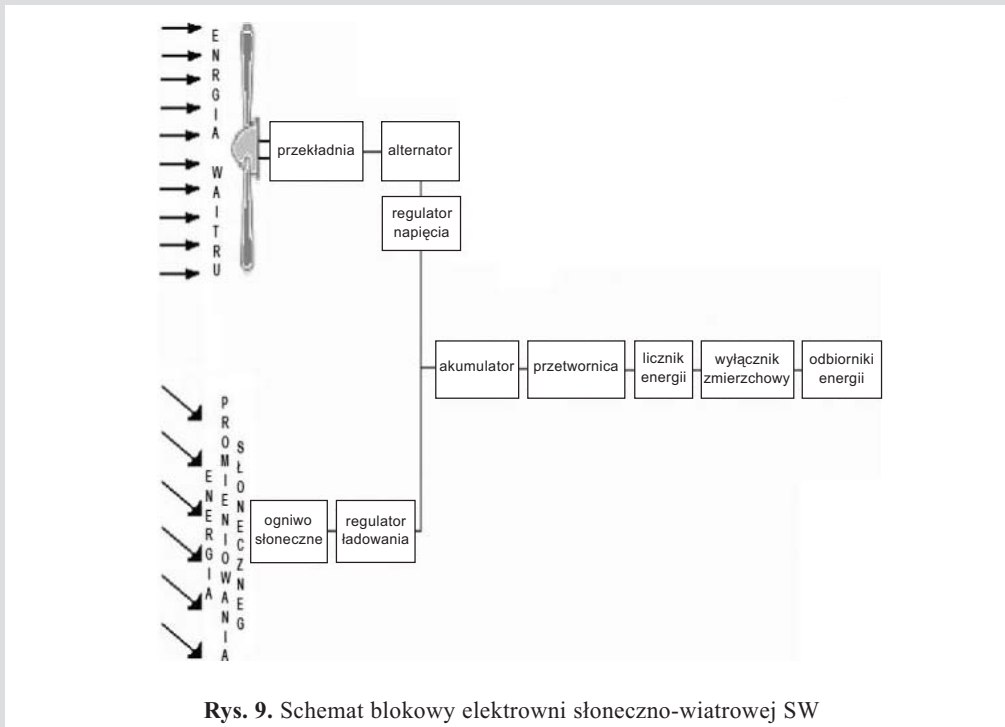
- 1) słonecznej w elektryczną,
- 2) wiatru w elektryczną.

Rysunek 9 przedstawia schemat blokowy SW. Urządzeniem dokonującym pośredniej konwersji energii wiatru na energię elektryczną jest alternator samochodowy samochodu osobowego.

W gondoli elektrowni znajduje się trójłopatkowy wirnik napędzający za pośrednictwem pasowej przekładni alternator. Dodatkowo w gondoli zainstalowano odśrodkowe hamulce ograniczające obroty wirnika przy silnych wiatrach i ster ustawiający elektrownie w najkorzystniejszym położeniu względem wiatru (rys. 10 i 11). Energia elektryczna z obrotowej gondoli jest przekazywana do akumulatora za pośrednictwem przewodów elektrycznych umieszczonych wewnątrz masztu. Konwersja energii słońca na energię elektryczną zachodzi w fotoogniwie w wyniku zjawiska fotowoltanicznego.

Stąd energia poprzez regulator ładowania przekazywana jest do akumulatora. Zastosowano fotoogniwo o mocy 100 W i powierzchni 0,86 m. Fotoogniwo zamocowane jest na maszcie w sposób umożliwiający regulację w dwóch osiach, pozwalających ustalić żądany azymut powierzchni fotoogniwa oraz jego kąt pochylenia względem powierzchni poziomej.

Energia elektryczna z fotoogniwa jest przekazywana za pomocą przewodów elektrycznych do szafy sterowniczej, w której znajduje się regulator ładowania, a następnie do akumulatorów.



Rys. 10. Moduł elektrowni wiatrowej w SW

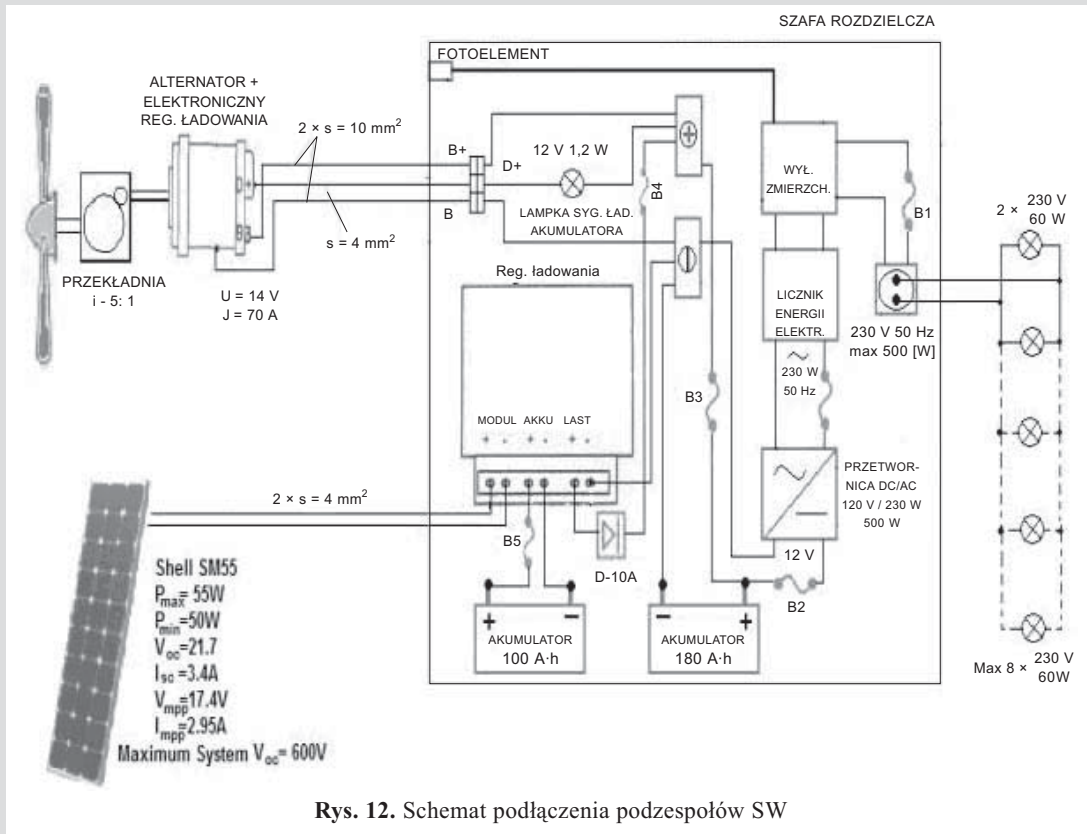


Rys. 11. Moduł elektrowni słonecznej w SW

Układ zasilania odbiorników z akumulatorów o pojemności 280 A·h został wyposażony w przetwornicę DC/AC o mocy 500 W, 12/230 V, która zapewnią typowość podłączanych odbiorników, oraz wyłącznik zmierny sterujący pracą oświetlenia. Układ zasilania odbiorników, akumulatory, regulator ładowania, oraz urządzenia dodatkowe zostały zainstalowane w szafie rozdzielczej (rys. 12). Konstrukcja szafy rozdzielczej umożliwia podłączenie i instalację urządzeń kontrolno-pomiarowych, rejestrujących parametry pracy poszczególnych modułów elektrowni osobno, jak również

elektrowni słoneczno-wiatrowej jako całości oraz urządzeń do pomiarów i rejestracji warunków atmosferycznych (m.in. wiatru, temperatury, promieniowania słonecznego).

Oś obrotu wirnika elektrowni znajduje się na wysokości 10 m, zaś fotoogniwo jest zainstalowane na wysokości 7,5 m (rys. 13). Wieżę elektrowni stanowi maszt rurowy z trzema odciągami. Przegubowa konstrukcja fundamentu umożliwia okresowe przewracanie masztu za pomocą wciągarek mechanicznych lub elektrycznych w celu konserwacji i regulacji.



Rys. 12. Schemat podłączenia podzespołów SW



Rys. 13. Elektrownia słoneczno-wiatrowa

6. WNIOSKI

Istnieje możliwość wybudowania elektrowni wykorzystującej jednocześnie dwa źródła energii: słońce i wiatr. Wybór tych właśnie źródeł energii jest bardzo korzystny z uwagi na znaczne przesunięcia sezonowe i dobowe ich mocy.

Duże wahania mocy źródeł energii i założona stuprocentowa dyspozycyjność elektrowni zmuszają do okresowej akumulacji i odzysku zgromadzonej energii w oparciu o akumulatory elektryczne.

Przyjęte w projekcie trudne warunki pracy elektrowni polegające na okresowym braku obydwóch surowców energetycznych, tzn. słońca i wiatru, pociągnęły za sobą ko-

nieczność wprowadzenia akumulatorów o dużej pojemności.

Optymalizacja pojemności akumulatorów wchodzących w skład elektrowni jest możliwa do ustalenia na podstawie danych eksperymentalnych pochodzących z długiego okresu badań pracy elektrowni.

Literatura

- [1] Lipiński M.: *Pozyskiwanie energii elektrycznej ze słońca*. Kraków, Wydawnictwo IGSMiE PAN 1998
- [2] Kaiser H.: *Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego*. Kraków, Wyd. AGH 1995, ISSN 0239-6114