

# TECHNICZNE I EKONOMICZNE ASPEKTY ROZWOJU ENERGETYKI WIATROWEJ W POLSCE

**dr inż. Paweł Szwed, mgr inż. Grzegorz Barzyk**

**Instytut Elektrotechniki, Politechnika Szczecińska**

**Słowa kluczowe:** energetyka wiatrowa, uwarunkowania rozwoju.

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono uwarunkowania techniczne, prawne i ekonomiczne rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce.

## 1. Wstęp

Aby podjąć rozważania nad technicznymi i ekonomicznymi aspektami rozwoju energetyki wiatrowej należy przedstawić wady i zalety tego rodzaju energii.

Istotnymi zaletami energii wiatrowej są:

- odnawialność energii wiatru bez ponoszenia kosztów,
- niskie koszty eksploatacyjne pozyskiwania energii wiatru,
- większa dekoncentracja elektrowni wiatrowych w porównaniu do wytwarzania konwencjonalnego.

Rozproszenie źródeł wytwarzania niesie za sobą wiele korzyści związanych z przybliżeniem wytwórcy do odbiorcy. Zaleta ta staje się jednak problematyczna przy planowaniu w ostatnim okresie farm wiatrowych wielkości dochodzącej do 600 MW.

Wadami elektrowni wiatrowych w szczególności są:

- Wysokie koszty inwestycyjne wynoszące przeciętnie około  $(4 \div 5) \cdot 10^6$  zł/MW przy posadowieniu na lądzie i  $(10 \div 12) \cdot 10^6$  zł/MW przy posadowieniu w morzu.
- Niska przewidywalność produkcji energii.

Energetyka zawodowa preferuje przewidywalne źródła energii, ponieważ jest wówczas w stanie zaplanować pełne pokrycie potrzeb przy ubytku produkcji z innego źródła. Jest planowana rozbudowa stacji meteorologicznych pracujących na potrzeby elektrowni wiatrowej, których prognoza miałaby zapewnić zaplanowanie pracy elektrowni wiatrowej dość precyzyjnie lecz podniesie to jeszcze bardziej koszty wytwarzania. Aktualnie nie ma takich stacji meteorologicznych.

- Niskie wykorzystanie mocy zainstalowanej.

Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej czyli stosunek energii rzeczywiście wyprodukowanej do energii wyprodukowanej przy pełnym wykorzystaniu mocy zainstalowanej w całym analizowanym okresie jest w Polsce dość niski. Wartość tego wskaźnika zależy od regionu i wysokości zainstalowania siłowni i wynosi dla dobrych warunków wiatrowych 0,3.

- Trudności z podłączeniem do sieci elektroenergetycznej.

Dobre warunki wiatrowe (tereny nadmorskie) występują tam gdzie istnieje słaba infrastruktura energetyczna. Stwarza to poważne trudności z wyprowadzeniem wyprodukowanej energii w głąb kraju.

- Słaba dostępność do miejsc montażu elektrowni.

Brak dobrej lokalnej infrastruktury komunikacyjnej.

- Trudności lokalizacyjne ze względu na ochronę krajobrazu i ochronę dróg przelotu ptaków.
- Dość wysoki poziom hałasu poważnie zredukowany w najnowszych konstrukcjach elektrowni wiatrowych.

## **2. Uwarunkowania prawne**

Prawo energetyczne obowiązujące od 04.12.1997 r. w bardzo skromnym zakresie odnosi się do wykorzystania źródeł odnawialnych. W art. 3 definiuje niekonwencjonalne i odnawialne źródła energii, w art. 15 nakazuje aby w polityce państwa określić rozwój tych źródeł, w art. 16 nakazuje uwzględnienie w planach zagospodarowania przestrzennego gmin niekonwencjonalne źródła energii.

Istotnym elementem pobudzającym rozwój energetyki wiatrowej było Rozporządzenie Ministra Gospodarki (Dz. U. Nr 13 z 1999) nakładające na Spółki Dystrybucyjne obowiązek zakupu energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w określonym i rosnącym do 2010 roku procencie.

Aspekt prawny odnośnie budowy urządzeń energetycznych wykorzystujących energię wiatru określa prawo budowlane (Dz. U. Nr 89/1994). W myśl prawa budowlanego obiekty służące do wytwarzania w/w energii są budowlami. Warunkiem uzyskania pozwolenia na budowę jest zgodność wykonania obiektu z warunkami zabudowy i zagospodarowania terenu w planach gminy. By taki obiekt mógł być zrealizowany niezbędna jest pozytywna opinia Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska.

Zakłady Energetyczne (Spółki dystrybucyjne) przed wydaniem warunków przyłączenia do sieci energetycznej wymagają pozytywnej ekspertyzy możliwości współpracy elektrowni wiatrowej z siecią energetyki zawodowej.

### 3. Uwarunkowania techniczne

Uwarunkowania techniczne współpracy elektrowni wiatrowej z siecią energetyczną analizowane są w „Ekspertyzie – możliwości współpracy elektrowni wiatrowej z układem energetycznym”.

Analiza możliwości współpracy elektrowni wiatrowej z węzłem sieciowym powinna zawierać:

- analizę wskaźników jakościowych (wskaźnika migotania, zawartość harmoniczných),
- analizę rozptywu mocy i analizę strat w podsystemie elektroenergetycznym dla stanu normalnego i kryterium n-1,
- analizę warunków napięciowych w podsystemie elektroenergetycznym dla stanu normalnego i kryterium n-1 w ustalonym stanie pracy farmy wiatrowej,
- analizę zmienności napięcia w związku ze zmianami generacji farmy wiatrowej i procesami łączeniowymi,
- analizę współpracy elektrowni wiatrowych z lokalnymi układami regulacji napięcia i mocy biernej,
- analizę warunków zwarciovych w otoczeniu farmy wiatrowej,
- analizę wpływu elektrowni wiatrowych na stabilność pracy lokalnych elektrowni,
- analizę pracy zabezpieczeń sieciowych po włączeniu farm wiatrowych do sieci.

Problemy techniczne nie wynikają z samej budowy elektrowni wiatrowej. Obecne konstrukcje (1,0; 1,5; 2,0; 3,0) MW są tak wykonane, że nie wprowadzają istotnego zagrożenia wynikającego z zawartości harmoniczných czy zjawiska migotania. Te wskaźniki zostały zredukowane do tego stopnia, że nie ograniczają możliwości podłączenia elektrowni do systemu elektroenergetycznego. Istotnym problemem jest najczęściej słabość węzła sieciowego współpracującego z elektrownią. Warunek, że moc elektrowni nie może przekraczać 5% mocy zwarciovowej węzła ( $P_n \leq 0,05 S_{zw}$ ) ogranicza możliwość budowy w wielu miejscach. Dotrzymanie tego warunku wiąże się najczęściej ze spełnieniem pozostałych warunków tzn.: obciążeniowych, napięciowych i zwarciovych.

Problemem jest to, że dobre warunki wiatrowe nie pokrywają się z dobrymi warunkami energetycznymi. Dobre warunki wiatrowe występują w pasie nadmorskim a infrastruktura

energetyczna w tym regionie nie jest przystosowana do odbioru dużych mocy z elektrowni wiatrowych.

Istniejąca w tym względzie luka prawna, która powinna określić kto i w jakim zakresie ponosi obciążenia finansowe związane z rozbudową infrastruktury energetycznej. Inwestorzy energetyki wiatrowej patrzą głównie na warunki wiatrowe danego terenu a problem odbioru wyprodukowanej energii oczekują że rozwiąże Zakład Energetyczny lub Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE).

W analizie technicznej możliwości współpracy elektrowni wiatrowej z siecią elektroenergetyczną uwzględnia się możliwość wyłączenia elektrowni przy nominalnej produkcji ( $P_t = P_n$ ) po przekroczeniu prędkości wiatru  $U \geq 20$  m/s. Sytuacja taka jest uciążliwa dla operatora systemu, ponieważ powinien zabezpieczyć rezerwę w innych, najczęściej konwencjonalnych źródłach energii. Niska przewidywalność produkcji i konieczność utrzymywania rezerwy są głównymi powodami technicznymi małej atrakcyjności elektrowni wiatrowych.

#### **4. Uwarunkowania ekonomiczne**

Na podstawie postanowień „Prawa Budowlanego” (Dz. U. 89/ 1994) oraz „Ustawy o zagospodarowaniu przestrzennym” (Dz. U. 85/1994) tworzony jest układ prac projektowych dla inwestycji elektroenergetycznych. Aby zrealizować przedsięwzięcie inwestycyjne (farma wiatrowa) należy opracować:

- studium programowo-przestrzenne (SPP),
- plan przedsięwzięcia (BP) (Business Plan),
- koncepcja programowo-przestrzenna (KPP),
- projekt budowlany (PB),
- projekt podstawowy (PP),
- projekt wykonawczy (PW).

Przygotowywany plan przedsięwzięcia (BP – Business Plan) stanowi raport, będący podsumowaniem studiów problemowych i studium programowo-przestrzennego (SPP), zajmujący się szczególnie zagadnieniami ekonomiczno-finansowymi, takimi jak niezbędne nakłady inwestycyjne, ich rozkład w czasie, źródła i koszt uzyskania kapitału, koszt produkcji, przewidywane przychody, ocena rentowności inwestycji.

Obecnie zasady efektywności i rentowności inwestycji określane są w oparciu o metody stosowane w krajach o gospodarce rynkowej według zaleceń UNIDO. Metody te dzielą się na statyczne i dynamiczne.

Do metod statycznych należą:

- okres zwrotu nakładów inwestycyjnych,
- prosta stopa zwrotu, próg rentowności,
- analiza wrażliwości.

Do metod dynamicznych stosowanych w elektroenergetyce należą:

- metoda równoważnego (jednostkowego) kosztu rocznego (tzw. Metoda EAW – equivalent Annual Worth),
- metoda wartości zaktualizowanej netto (tzw. Metoda NPV – Net Present Value),
- metoda wewnętrznej stopy zwrotu (tzw. Metoda IRR – Internal Rate of Return),
- metoda zmodyfikowanej stopy zwrotu (tzw. Metoda MIRR – Modified Internal rate of Return),
- metoda wskaźnika rentowności (tzw. Metoda PI – Profitability Index).

Wartość zaktualizowana netto (NPV) jest to zdyskontowana na rok rozpoczęcia realizacji inwestycji wartość wszystkich wydatków i wpływów pieniężnych, związanych z daną inwestycją, ponoszonych i uzyskiwanych przez cały okres jej realizacji i eksploatacji.

Inwestycja ma sens ekonomiczny gdy  $NPV > 0$  i jest jak największe.

Wewnętrzna stopa zwrotu (IRR) jest to taka stopa dyskontowa, przy której  $NPV = 0$ . Inwestycja ma sens ekonomiczny, gdy  $IRR > i$ , czyli IRR jest większe od stopy dyskontowej oprocentowania kapitału inwestycyjnego.

Zmodyfikowana wewnętrzna stopa zwrotu (MIRR) określa rentowność przedsięwzięcia i warunkiem opłacalności jest również warunek  $MIRR > i$ .

Wskaźnik rentowności (PI) jest stosunkiem sumy zdyskontowanych wpływów do wydatków a warunkiem opłacalności jest  $PI > 0$ .

W przeprowadzonej analizie uwarunkowań ekonomicznych inwestycji w elektrownie wiatrowe obliczono również minimalną cenę sprzedaży energii. Jest to taka cena, przy której zysk z inwestycji jest na poziomie zerowym. Wskaźniki ekonomiczne elektrowni wiatrowej zależą od wielkości kosztów inwestycyjnych, stopy oprocentowania kredytu średniej prędkości wiatru w danym terenie.

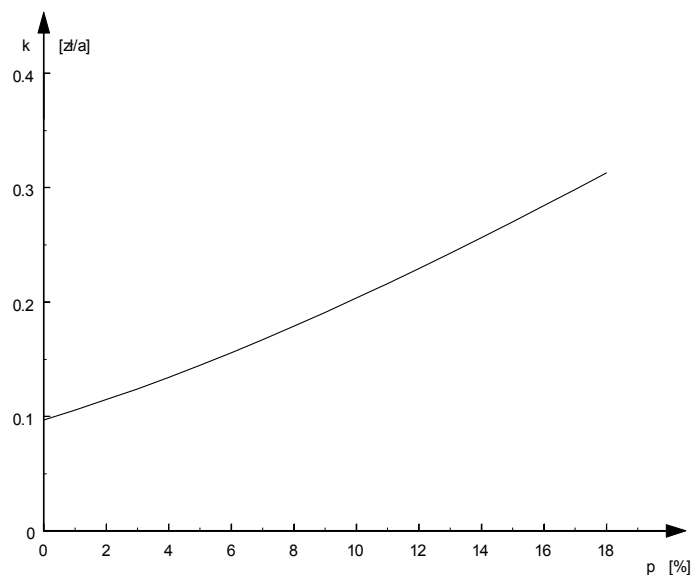
Analizę ekonomiczną wykonano dla typowych wielkości mocy tj 600 kW, 750 kW, 800 kW, 900 kW, 1000 kW, 1300 kW, 1500 kW, 1800 kW, 2000 kW, 2500 kW.

Są to konstrukcje montowane na maszcie o wysokości 70 m, 80 m, 85 m. Na takich wysokościach uzyskuje się prędkość wiatru w przedziale (7 ÷ 9) m/s. Usytuowanie rotora na takim poziomie wysokości zapewnia również stabilne parametry wiatru. Czas pracy elektrowni wiatrowej wynosi  $T_s = 5475$  h/a.

W kryterium doboru elektrowni wiatrowych ze względu na opłacalność podzielono na trzy przedziały:

1. (600 ÷ 900) kW,
2. (1000 ÷ 1500) kW,
3. (1800 ÷ 2500) kW

Z analizy przeprowadzonej dla siłowni wiatrowych zawierających się w pierwszym przedziale najbardziej opłacalna jest o mocy 900 kW. Dodatnią wartość NPV przyjmuje ona przy minimalnej średniej prędkości wiatru 7 m/s i jedynie do oprocentowania kredytu mniejszego od 4%. Przy prędkości wiatru 9 m/s oprocentowanie kredytu przy którym inwestycja będzie opłacalna może wynieść nawet do 17%. Minimalna cena sprzedaży energii elektrycznej wynosi 0,15 zł/kWh przy oprocentowaniu kredytu mniejszym od 5%. Jeśli oprocentowanie jest wyższe do dodatnią wartość NPV uzyskuje się przy cenie sprzedaży w granicach 0,2 ÷ 0,3 zł/kWh. Przy cenie sprzedaży 0,3 zł/kWh graniczne oprocentowanie, przy którym NPV jest większe od zera może sięgnąć nawet do 13%.



Rys. 1. Minimalna cena sprzedaży w funkcji oprocentowania dla  $v_{sr} = 9$  m/s

Na rysunku 1 przedstawiono minimalną cenę sprzedaży w funkcji oprocentowania kredytu. Jest to cena, przy której uzyskujemy zerową wartość NPV. Z charakterystyki

wynika, że cena sprzedaży w zależności od oprocentowania zawiera się w przedziale (0,10 ÷ 0,31) zł/kWh. Minimalna cena sprzedaży jest również funkcją prędkości wiatru. Wraz ze wzrostem średniej prędkości wiatru minimalna cena sprzedaży maleje, ale dla najbardziej korzystnych warunków spotykanych w Polsce tj.  $v_{sr} = 9$  m/s (na poziomie 80 m) wynosi 0,14 zł/kWh dla  $p = 4\%$  i 0,20 dla  $p = 10\%$ .

W przypadku elektrowni zawierających się w przedziale drugim wszystkie trzy są porównywalne. Dodatnią wartość wskaźnika NPV uzyskać można przy średniej prędkości wiatru 7 m/s oraz przy oprocentowaniu nie większym niż  $p = 1\%$ . Dla większych prędkości wiatru  $v_{sr} = 9$  m/s przedsięwzięcie jest opłacalne już przy oprocentowaniu kredytu  $p = 12\%$ . Charakterystyka ta jest zbliżona dla wszystkich siłowni znajdujących się w tym przedziale. Jednak jeśli chodzi o zależność wskaźnika NPV od stopy procentowej dla poszczególnych cen energii najlepszą okazuje się elektrownia o mocy 1000 kW. Minimalną cenę sprzedaży 0,15 zł/kWh, przy której wskaźnik opłacalności jest dodatni można uzyskać tu przy oprocentowaniu kredytu do wartości  $p = 4\%$ . Ustalenie ceny za energię elektryczną w wysokości 0,30 zł/kWh jest opłacalne przy oprocentowaniu mniejszym niż 15%. W przypadku charakterystyki  $k = f(v)$  najmniejsza cena sprzedaży przy prędkości wiatru  $v_{sr} = 9$  m/s jest taka sama dla wszystkich konstrukcji i wynosi w przybliżeniu 0,17 zł/kWh dla  $p = 4\%$  oraz 0,26 zł/kWh dla  $p = 10\%$ .

W ostatnim przedziale najbardziej opłacalną jest elektrownia wiatrowa o mocy 2000 kW. Jest ona w stanie wyprodukować energię elektryczną, przy której wskaźnik zaktualizowanej wartości kapitałowej netto jest większy od zera dla średniej prędkości wiatru  $v_{sr} = 7$  m/s oraz przy stopie procentowej nie większej niż  $p = 3\%$ . Dodatnią wartość wskaźnika NPV, przy większej prędkości wiatru  $v_{sr} = 9$  m/s uzyskać można przy oprocentowaniu kredytu do wartości  $p = 16\%$ . Minimalną cenę sprzedaży energii elektrycznej w wysokości 0,15 zł/kWh ustalić można przy  $p$  mniejszym lub równym 4%. Zwiększając oprocentowanie do wartości 16% należy ustalić wyższy poziom cen za energię elektryczną do wartości 0,30 zł/kWh. W przypadku poziomu minimalnej ceny zależnej od średniej prędkości wiatru jej wartość 0,14 zł/kWh przy  $v_{sr} = 9$  m/s zapewni oprocentowanie kredytu  $p = 4\%$ . Dla stopy procentowej wynoszącej  $p = 10\%$  poziom minimalnej ceny sprzedaży energii elektrycznej wyniesie 0,21 zł/kWh.

## **5. Wnioski**

Z przeprowadzonej analizy wnioski dla perspektyw rozwoju energetyki wiatrowej nie przedstawiają się optymistycznie. Po pierwsze jest to energia zdecydowanie droższa od konwencjonalnej. Przeciętnie cena energii uzyskiwanej w elektrowniach wiatrowych jest dwukrotnie droższa od energii ze źródeł konwencjonalnych. Po drugie jest to energia mało przewidywalna. Producenci energii wiatrowej oczekują, że cała produkcja bez względu na zapotrzebowanie, będzie odebrana przez system elektroenergetyczny. Energetyka zawodowa pracuje w cyklu planowania dobowego i oczekuje od energetyki wiatrowej również zaplanowania produkcji na dobę naprzód. Ta sprzeczność oczekiwań jest dużym problemem w rozwoju energetyki wiatrowej. Po trzecie brak dobrych uregulowań prawnych dla rozwoju energetyki wiatrowej również jest dużym hamulcem jej rozwoju.

## **6. Literatura:**

1. Laudyn Damazy: Rachunek ekonomiczny w energetyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999.
2. <http://www.windpower.de>