

Stanisław GUMUŁA*, Krzysztof PYTEL**

Uwarunkowania pozyskiwania energii wiatru dla różnych lokalizacji elektrowni wiatrowych

STRESZCZENIE. Analizowano możliwości pozyskiwania energii przez elektrownie wiatrowe w wybranych lokalizacjach. Analizy dowiodły, że są to inwestycje przynoszące korzyści zarówno inwestorowi, jak i środowisku. Pokazano, że istnieje możliwość wydłużenia bezawaryjnej pracy urządzenia wiatrowego poprzez zmianę jego konstrukcji. Finansowo-ekonomiczna ocena projektów związanych z wykorzystaniem energii wiatrowej zależy głównie od cen sprzedaży wyprodukowanej energii.

SŁOWA KLUCZOWE: zasoby, energetyka, energia elektryczna, odnawialne źródła energii, niezawodność

Wprowadzenie

Konwencjonalne metody produkcji energii elektrycznej opierają się spalaniu paliw kopalnych, co w konsekwencji powoduje emisję zanieczyszczeń do środowiska. Chociaż konwencjonalne źródła energii dominują w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego krajów Unii Europejskiej i będą dominowały przez następne kilkadziesiąt lat, wykorzystanie

* Prof. dr hab. inż. — Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska, Kraków.

** Dr inż. — UP im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie; Instytut Techniki, Kraków.

odnawialnych źródeł energii wzrasta. Odnawialne źródła energii zapewniają tylko kilka procent produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej, a energia wiatru ma jeden z ważniejszych udziałów. Energetyka wiatrowa wywiera pozytywny wpływ na środowisko przez przyczynienie się do zmniejszenia wykorzystania paliw kopalnych, energii atomu czy innych źródeł mogących generować zanieczyszczenia oraz zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju przyczynia się do obniżenia poziomu emisji CO₂.

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts przygotowało zestaw informacji o potencjalnych możliwościach wykorzystania energii wiatru w Europie na lądzie, na wysokości 80 m oraz na wodach, na 120 m. Przewidując możliwości energetycznego wykorzystania wiatru w Europie na obszarach lądowych i morskich przygotowano mapę obszarów o możliwym do wykorzystania potencjale energii wiatru, przy uwzględnieniu czasu dostępnej maksymalnej energii wiatru, dla lokalizacji piasty na wysokości 80 m na lądzie, oraz 120 m na morzu. Z analizy map wynika, że w energii wiatru zmagazynowanej zarówno na morzu, jak i na lądzie, drzemie potencjał wystarczający dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego nie tylko Europy, ale także pozwalający na eksport wytworzonej energii. Energia wiatru teoretycznie mogłaby zapewnić w przeciągu kilku lat wystarczające ilości energii elektrycznej do zaspokojenia światowego zapotrzebowania na energię, gdyż porównując energetykę wiatrową do innych sektorów energetyki, jest obecnie jednym z najbardziej dojrzałych i szybko rozwijających się sektorów energetyki. Większość elektrowni wiatrowych jest instalowana na lądzie, ale w przyszłości ciężar może przenieść się na morze. Prędkości wiatru są tam wielokrotnie wyższe niż na lądzie, kierunki i częstotliwości są bardziej przewidywalne. Lokowanie na morzu elektrowni wiatrowych to jednak technicznie trudniejsze i droższe rozwiązanie. Wykorzystanie energii wiatru daje silny impuls do tworzenia nowych miejsc pracy i rozwoju regionalnego. Potencjał do rozwoju europejskiego przemysłu nowoczesnych technologii wiatrowych to nie tylko bogate zasoby energii wiatru, ale także doświadczenie Europy w rozwoju technologii wykorzystania tego zasobu energetycznego.

1. Pozycja odnawialnych źródeł energii w energetyce

Zużycie energii nieustannie rośnie, stąd również przed polskim sektorem energetycznym stoi wyzwanie dostosowania mocy do progresywnego zapotrzebowania na energię wszystkich działów gospodarki oraz przygotowania się do redukcji emisji gazów cieplarnianych, zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej. Źródła energii odnawialnej to doskonała możliwość produkcji energii, a przy silnym wsparciu dla inwestycji jest prawdopodobne uzyskanie ich 15% udziału w bilansie energetycznym kraju w 2020 r. Wzrost udziału źródeł energii odnawialnej może okazać się utrudniony z uwagi na stosunkowo drogie technologie. Jednym z rozwiązań uwzględniających wzrost potrzeb energetycznych, zmniejszenie wydobycia paliw kopalnych oraz redukcję emisji CO₂ jest specyficzna i bardzo kontrowersyjna energetyka jądrowa, cechująca się nieporównywalnie do innych sektorów energetyki na-

kładami inwestycji rekompensowanymi przez kilkukrotnie niższy niż w elektrowniach konwencjonalnych koszty produkcji energii. Elektrownie atomowe są technologią dającą szansę na realny wzrost potencjału energetycznego kraju. Jednakże gwarantując ciągłość produkcji elektrownia atomowa nie rozwiewa obaw związanych z awariami oraz z koniecznością utylizacji odpadów. Pomimo, że jest możliwą do wprowadzenia technologią, dającą szansę na realny wzrost potencjału energetycznego kraju – biorąc pod uwagę konieczność redukcji emisji CO₂ i konieczność zwiększenia udziału OZE w bilansie energetycznym – wykorzystanie energii wiatru, wód, biomasy czy promieniowania słonecznego może okazać się właściwszym wypełnieniem deficytu energetycznego, dając równocześnie nadzieję na postęp w rozwoju sektora energetycznego i szansę na zmianę struktury źródeł energii. Pozyskanie energetycznych zasobów odnawialnych nie wiąże się z ich długotrwałym deficytem; odnawiają się w bardzo krótkim czasie, są praktycznie niewyczerpywalne i ekologicznie wolne od zanieczyszczeń. Tworzenie preferencyjnych warunków dla rozwoju energetyki OZE jest istotne dla Polski, gdyż obecnie ponad 90% energii jest produkowanej w elektrowniach konwencjonalnych (tab. 1).

TABELA 1. Wybrane elektrownie na terenie Polski z podziałem na zasób energetyczny na podstawie [1]

TABLE 1. Selected power plants in Poland divided on energy resource, according to [1]

Zasób energetyczny	Elektrownie
Węgiel kamienny	Dolna Odra, Połaniec, Kozienice, Ostrołęka, Opole
Węgiel brunatny	Bełchatów, Konin, Pątnów, Adamów, Turów
Energia wodna	Porąbka, Żydowo, Żarnowiec, Solina, Rożnowo, Włocławek, Koronowo, Dychów
Energia geotermalna	Pyrzyce, Stargard Szczeciński, Mszczonów, Uniejów

Współcześnie produkowana w Polsce energia ze źródeł odnawialnych ma niewielki udział w porównaniu z przodującymi krajami UE. Jednak zmiany będące efektem postępu technologicznego oraz realizacji zrównoważonej polityki energetycznej wskazują na dominujący udział elektrowni wiatrowych i wodnych tak w wytwarzaniu energii elektrycznej przez elektrownie i elektrociepłownie wykorzystujące współwspalanie, jak i wśród odnawialnych źródeł energii (tab. 2).

Racjonalne wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych jest jednym z istotnych komponentów zrównoważonego rozwoju, a wzrost ich udziału w bilansie energetycznym przyczynia się do oszczędności surowców energetycznych oraz poprawy stanu środowiska, jako że zagrożenie środowiska przyrodniczego to ryzyko spowodowania obrażeń i strat wśród społeczności i w środowisku, wynikające z działalności, produktów lub odpadów. Mikrośrodowiskowe i makrośrodowiskowe zagrożenia powodują degradację ekosystemów, obniżenie standardu życia, zwiększanie ilości zanieczyszczeń, problemy energetyczne i nadmierne zużycie surowców. Jedną z metod eliminacji tych zagrożeń jest oszczędność energii elektrycznej, przyczyniająca się do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń pochodzących od paliw, co w Polsce dotyczy głównie spalania węgla. Z drugiej strony funkcjonuje problem

TABELA 2. Struktura mocy w odnawialnych źródłach energii w 2010 r., na podstawie [1]

TABLE 2. The structure of power from renewable energy sources in 2010, according to [1]

Elektrownie	Liczba	Moc [MW]
Biogazowe	149	87,773
Wiatrowe	453	1351,867
Wodne	737	946,345
Realizujące współspalanie	42	b.d.
Biomasowe	19	393,050
Solarne	4	0,104
RAZEM	1 404	2 779,139

korzyści i niekorzyści, jakie powstają w wyniku użytkowania środowiska przyrodniczego. Decyzje podejmowane przez podmioty gospodarcze najczęściej powodują zmiany w środowisku przyrodniczym, oddziałujące na możliwości produkcyjne i konsumpcyjne jednostek, stąd potrzeba internalizacji efektów zewnętrznych. Korekta o społecznie pożądane i niepożądane skutki odbywa się zazwyczaj za pomocą dotacji i podatków. Szacunek działań wpływających na środowisko może dotyczyć zarówno rynkowej wyceny ekonomicznej środowiska, wyceny strat spowodowanych degradacją środowiska, jak i ekonomicznej wyceny warunkowej, wynikającej ze zmiany jakości środowiska lub dobra środowiskowego dla jednostki. Zrównoważony i stabilny rozwój gospodarki z uwzględnieniem barier ekologicznych i politycznych, tworząc sprawny mechanizm substytucji technologiczno-cenowej, uwzględnia zależności między eksploatacją, zanieczyszczeniem środowiska a wzrostem gospodarczym. Identyfikacja procesów decydujących o stanie środowiska umożliwia racjonalne wykorzystanie zasobów naturalnych oraz podejmowanie stałych i konsekwentnych przedsięwzięć ochronnych, które przyczyniają się do intensyfikowania procesów ochrony środowiska.

Polska energetyka oparta na węglu, nie zaspokajając krajowych potrzeb energetycznych, daje szansę na szersze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, między innymi energii wiatru. Projektując system elektroenergetyczny wykorzystujący odnawialne źródła energii dąży się do wykorzystania komponentów o możliwie dużej niezawodności, jednakże nie należy zakładać wykorzystania tylko takich komponentów, gdyż zwiększa to nakłady inwestycji. Wynikają z tego faktu technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania pozyskiwania energii wiatru. Analizując technologiczne czynniki warunkujące uzyskanie energii w publikacji przedstawiono parametr niezawodności elektrowni wiatrowych, natomiast jako parametry ekonomiczne przedstawiono wskaźniki umożliwiające obiektywną ocenę inwestycji.

2. niezawodność elektrowni wiatrowej

Dla elektrowni wiatrowych można założyć wykładniczy rozkład gęstości prawdopodobieństwa uszkodzenia, co w rezultacie prowadzi do otrzymania wykładniczej funkcji niezawodności oraz współczynnika intensywności uszkodzeń λ . Funkcja niezawodności jest iloczynem funkcji niezawodności podzespołów, a wartość λ jest niezależna od czasu. Wykładnicza funkcja niezawodności podzespołu w postaci $\exp(-\lambda t)$, dla całego systemu występuje jako:

$$R(t) = \exp(-\sum \lambda_i t) \quad (1)$$

Wartość funkcji niezawodności maleje z upływem czasu i ostatecznie dla zadanego czasu pracy bądź awaryjności urządzenia osiąga wartość zero. Oparty na badaniach lub przewidywaniach średni czas bezawaryjnej pracy wyrażony w godzinach ma postać:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Parametr MTBF (*Mean Time Between Failure*) określa zarówno jakość podzespołów, jak i całego systemu. Analizy przeprowadzono przy założeniu, że awaria systemu zostanie usunięta natychmiast. niezawodność elektrowni wiatrowej jest silnie skorelowana z jakością komponentów wchodzących w skład systemu. Zależy od jakości układu elektronicznego, systemu kontrolnego, czujników, systemu hydraulicznego, systemu nastawienia łopat wirnika, awaryjności piasty wirnika, hamulców mechanicznych, łopatek wirnika, generatora, skrzyni przekładniowej, mechanizmu ustawiania gondoli oraz kompetencji obsługi i serwisu (tab. 3).

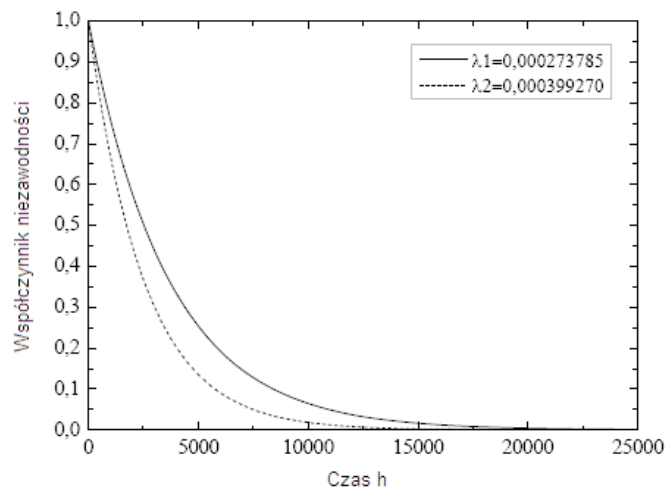
W zależności od typu, średnioroczne wskaźniki awaryjności dla różnych modeli wielkich elektrowni wiatrowych są na poziomie 2,4 do 3,5 awarii elektrowni na rok [8], z czego wynika, że wskaźnik awaryjności mieści się w przedziale $2,74 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$ do $3,99 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$. Średni czas bezawaryjnej pracy elektrowni to odpowiednio 3650 h do 2500 h. MTBF osiągnie wartość zero przy odpowiednio 17 000 h oraz 12 000 h (rys. 1).

Obniżenie awaryjności systemu o 5% pozwoli osiągnąć MTBF na poziomie 3850 h oraz wydłużyć czas statystycznego bezawaryjnego funkcjonowania elektrowni wiatrowej do 18000 h. Zmniejszenie liczby defektów można osiągnąć poprzez poprawienie jakości podzespołów, okresowy serwis, eliminację z systemu wadliwych elementów bądź rekonstrukcję całego systemu.

TABELA 3. Parametr MTBF określający jakość podzespołów, na podstawie [3–4, 7–8]

TABLE 3. MTBF parameter defining the quality of components, according to [3–4, 7–8]

Systemy	MTBF
System elektryczny	1,55
Kontrola elektroniczna	2,05
Czujniki	3,32
System hydrauliczny	3,69
System pozycjonowania łopat wirnika	5,73
Piasta wirnika	5,31
Hamulce mechaniczne	7,86
Łopaty wirnika	6,36
Generator	8,69
Skrzynia przekładniowa	7,77
System pozycjonowania wirnika	16,57
Suport	9,64



Rys. 1. Niezawodność $R(t)$ dużych elektrowni wiatrowych dla granicznych wartości intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$

Fig. 1. Reliability $R(t)$ of large wind turbines for boundary values of intensity of damage $\lambda(t)$

3. Wskaźniki ekonomiczne i finansowe umożliwiające obiektywną ocenę inwestycji

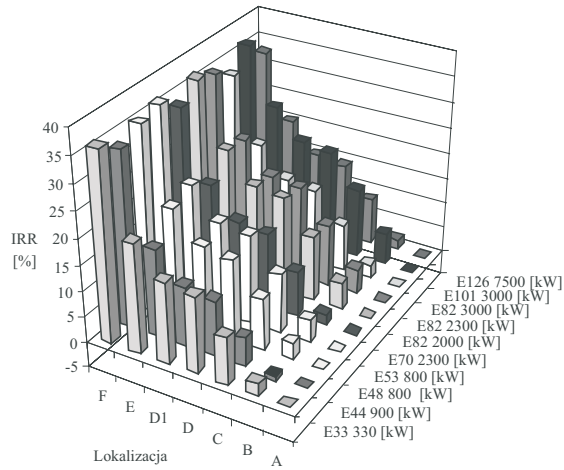
Przeprowadzono ocenę wpływu wartości średniej prędkości wiatru na efektywność finansowo-ekonomiczną inwestowania w elektrownie wiatrowe. Analizę przeprowadzono na podstawie parametrów finansowych inwestycji przy uwzględnieniu wszystkich kosztów, przychodów i parametrów weryfikujących finansową wykonalność przedsięwzięcia. Analizę oparto na statycznych i zdyskontowanych wskaźnikach. Analiza dynamiczna unaocznia rzeczywiste bezpieczniejsze przepływy finansowe w przedsiębiorstwie energetycznym wymagającym szeregu zezwoleń i koncesji. Analiza finansowa obejmuje nakłady inwestycyjne początkowe oraz koszty okresowe i roczne wynikające z eksploatacji i konserwacji systemu elektroenergetycznego. Przeprowadzone analizy przedstawiają wykonalność finansową dla wybranych elektrowni wiatrowych. Wykonalność finansowa obejmuje wewnętrzną stopę zwrotu IRR [%], prosty czas zwrotu SPBT [lata], zwrot kapitału PBT [lata], wartość bieżącą netto NPV [Euro], stosunek korzyści–koszty B–C. Analizę finansowo-ekonomiczną wykonano w 7 wybranych lokalizacjach w Polsce (tab. 4).

TABELA 4. Analizowane lokalizacje elektrowni wiatrowych

TABLE 4. The analyzed locations of wind turbines

Lokalizacja	Prędkość wiatru na wysokości 10 [m] n.p.g.
	[m/s]
A	2,0
B	3,2
C	4,1
D	4,9
D ₁	5,1
E	6,0
F	12,4

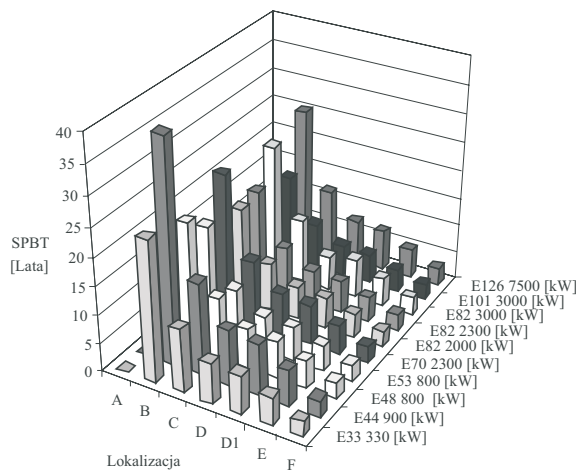
Na podstawie przeprowadzonych analiz dla wybranych elektrowni zaobserwowano, że inwestycja charakteryzuje się wysoką wartością IRR (rys. 2) dla wszystkich analizowanych elektrowni przy średniej prędkości wiatru wyższej niż w lokalizacji C. Wewnętrzna stopa zwrotu IRR kształtuje się dla lokalizacji C–E na poziomie 0,6–36,8 [%], przy czym uzyskano najniższą wartość dla E44 w lokalizacji B, natomiast najwyższą dla E101 w lokalizacji E. Dla teoretycznej lokalizacji F uzyskano IRR równą 36,9 [%] dla elektrowni E53.



Rys. 2. Wyniki analizy finansowej – IRR

Fig. 2. Results of financial analysis – IRR

Inwestycja w elektrownie wiatrowe dla przyjętych cen energii charakteryzuje się zróżnicowanymi wartościami wskaźnika SPBT (rys. 3). Lokalizację A pominięto z uwagi na prędkości wiatru uniemożliwiający pracę elektrowni. Biorąc pod uwagę brak jakiegokolwiek pomocy ze strony państwa bądź dopłat z funduszy unijnych, prosty czas zwrotu zainwestowanego kapitału w lokalizacjach B–E wyniesie do 38 lat. Minimalny prosty okres zwrotu to 4 lata funkcjonowania inwestycji. Najmniej korzystną wartością wskaźnika SPBT charakteryzuje się E44, najniższą wartością w lokalizacjach B–E cechuje się E101, gdzie SPBT wynosi 4 lata. Dla teoretycznej lokalizacji F, wartość tego wskaźnika jest równa 2,7 lat dla E53.

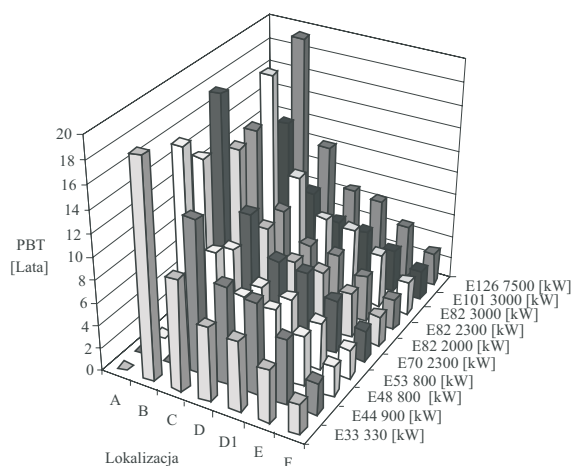


Rys. 3. Wyniki analizy finansowej – SPBT

Fig. 3. Results of financial analysis – SPBT

Analiza pokazuje, że każda inwestycja w wybrany typoszereg elektrowni wiatrowych dla prędkości wiatru z lokalizacji B–F jest opłacalna. Nie ma wyraźnej korelacji pomiędzy wzrostem mocy elektrowni a zmianami SPBT. Istnieje natomiast wyraźna tendencja do zmniejszania wartości SPBT wraz ze wzrostem prędkości średniej wiatru. SPBT wskazuje na poziom ryzyka przy porównaniu kilku inwestycji między sobą.

Policzono czas zwrotu nakładów PBT (rys. 4). Inwestycja w wybrane elektrownie wiatrowe charakteryzuje się niską wartością czasu zwrotu nakładów. Lokalizację A pominięto. Zwrot zainwestowanego kapitału w lokalizacjach B–E wyniesie maksymalnie 20 lat. Minimalny okres zwrotu zainwestowanego kapitału to 4 lata funkcjonowania inwestycji. Najmniej korzystnym PBT charakteryzuje się elektrownia E44, najbardziej korzystną wartością w lokalizacjach B–E cechuje się E101, dla której wartość PBT to 4 lata. Dla hipotetycznej lokalizacji F wartość tego wskaźnika jest równa 2,7 dla E53. Analiza pokazuje, że każda inwestycja w wybrany typoszereg dla prędkości wiatru z lokalizacji B–F przyniesie zdecydowany zwrot kapitału, przy czym wzrost cen odsprzedawanej energii elektrycznej zmniejsza wartość PBT. Wysoka cena energii spowoduje znaczne zmniejszenie się czasu zwrotu nakładów. Nie ma wyraźnej korelacji pomiędzy wzrostem mocy elektrowni a zmianami PBT. Istnieje wyraźna tendencja do zmniejszania wartości PBT wraz ze wzrostem prędkości średniej wiatru.

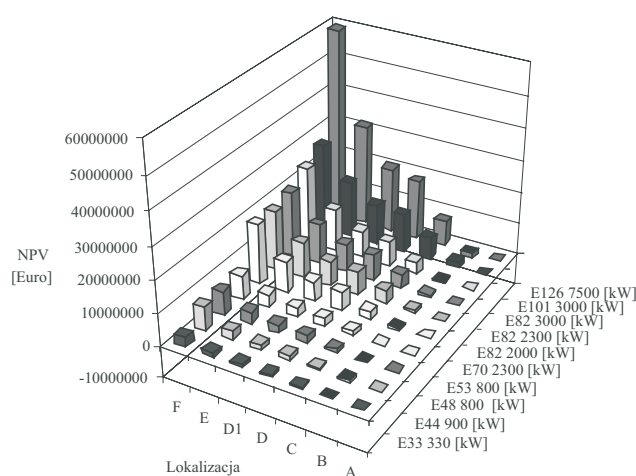


Rys. 4. Wyniki analizy finansowej – czas zwrotu nakładów

Fig. 4. Results of financial analysis – payback time

Porównywane zamierzenia inwestycyjne wymagają poniesienia nakładów kapitałowych. Wartość bieżąca netto NPV uzyskana przez dyskontowanie (przy stałej stopie dyskonta i oddzielnie dla każdego roku) różnic między wpływami i wydatkami pieniężnymi powstałymi w całym okresie funkcjonowania przedsięwzięcia odzwierciedla przewidywane do uzyskania korzyści z tytułu projektu inwestycyjnego, w postaci nadwyżki przychodów nad kosztami. Dodatnia wartość NPV dla każdej elektrowni w lokalizacjach C–F świadczy, że z finansowego punktu widzenia podjęcie się realizacji przedsięwzięcia jest uzasadnione

w wymienionych lokalizacjach (rys. 5). Istnieje korelacja pomiędzy zmianami mocy elektrowni a zmianami wskaźnika NPV. Obserwujemy wyraźny związek pomiędzy zwiększaniem się średnicy wirnika a wzrostem wartości NPV. Istnieje również wyraźna tendencja do zwiększania wartości NPV wraz ze wzrostem średniej prędkości wiatru. Analiza pokazuje, że inwestycja w wybrane elektrownie charakteryzuje się wysokim NPV, od około 358 tys. [Euro] dla E33 w lokalizacji C do 31,6 mln [Euro] dla E126 w lokalizacji E. Dla teoretycznej lokalizacji F uzyskano wartość NPV dla E126 na poziomie 60 mln [Euro]. Krótki okres zwrotu zainwestowanego kapitału oraz wysokie wartości NPV świadczą o dochodowości inwestycji.

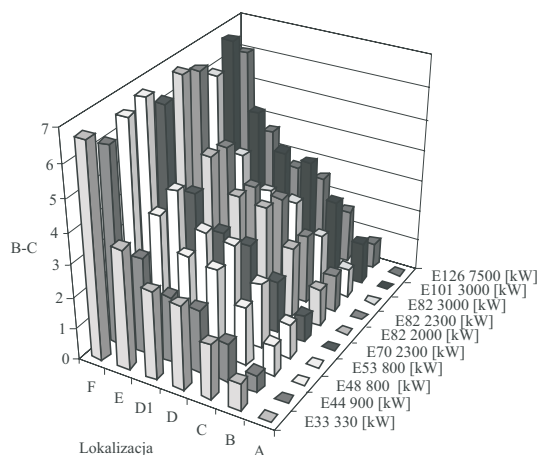


Rys. 5. Wyniki analizy finansowej – NPV

Fig. 5. Results of financial analysis – NPV

Wartość stosunku zysków do zainwestowanego kapitału (B–C) powyżej wartości 1 informuje o opłacalności przedsięwzięcia dla zakładanych parametrów finansowych (rys. 6). Analiza pokazuje, że każda inwestycja w typoszereg dla prędkości wiatru z lokalizacji C–F jest dochodowa. Nie ma wyraźnej korelacji pomiędzy wzrostem mocy elektrowni a zmianami parametru B–C. Istnieje wyraźna tendencja do zwiększania wartości wskaźnika B–C dla wzrostu średniej prędkości wiatru. Inwestycja w przypadku wybranych elektrowni charakteryzuje się wartościami wskaźnika korzyści–koszty z zakresu od 1,3 dla E44 w lokalizacji C do 4,7 dla E101 w lokalizacji E. Dla teoretycznej lokalizacji F uzyskano B–C o wartości blisko 7 dla E53.

Wysokość kosztów produkcji energii elektrycznej w istotny sposób wpływa na ocenę finansową inwestycji. Najniższy koszt wyprodukowania energii jest niższy od obecnej ceny odkupu energii przez zakłady energetyczne bez uwzględnienia preferencyjnych dopłat.



Rys. 6. Wyniki analizy finansowej – B–C

Fig. 6. Results of financial analysis – B–C

Podsumowanie

Projektując system elektroenergetyczny nie należy zakładać wykorzystania tylko komponentów o najwyższej niezawodności, lecz istotne jest zidentyfikowanie elementów o zakładanej awaryjności i wyeliminowanie ich z układu poprzez zabiegi konstrukcyjne.

Roczna produkcja energii przez elektrownię czerpiącą z zasobów odnawialnych jest najważniejszym czynnikiem w ocenie jej efektywności finansowo-ekonomicznej. Ocena zasobów energii przemieszczających się mas powietrza jest niezbędna w sytuacji podejmowania decyzji o inwestowaniu w elektrownię wiatrową, a niedokładność w wyznaczeniu rocznych prędkości wiatru prowadzi do błędów w prognozowanej rocznej produkcji energii i w konsekwencji do wyższego ryzyka finansowego.

Dla analizowanych elektrowni wiatrowych ustalono, iż finansowo-ekonomiczna ocena projektów związanych z wykorzystaniem energii wiatrowej, czy też koszty produkcji energii zależą od nakładów inwestycyjnych elektrowni wiatrowej.

Istotny wpływ na efektywność wywiera kształtowanie się cen energii elektrycznej. Efekt finansowo-ekonomiczny inwestycji w elektrownie wiatrowe jest uzależniony od dynamiki zmian cen energii w czasie oraz preferencyjnych dopłat.

Odnawialne źródła energii stanowią w warunkach Polski dobre uzupełnienie energetyki konwencjonalnej. Zmiany w polskim systemie elektroenergetycznym powinny polegać na wprowadzaniu najnowszych technologii, zmniejszeniu wykorzystania węgla oraz zwiększeniu udziału energetyki odnawialnej [2]. Prace w zakresie czystego ekologicznie pozyskiwania surowców nieodnawialnych i bardziej efektywnego energetycznie wykorzystania odnawialnych zasobów energii skutkują zmniejszeniem negatywnej presji na środowisko. Elektrownie konwencjonalne konkurują w walce o czystość środowiska przyrodniczego

z elektrowniami wykorzystującymi zasoby odnawialne, a udział węgla w produkcji energii elektrycznej w Polsce może się jedynie nieznacznie zmienić w przeciągu najbliższych kilku lat [6]. Równocześnie, aby zapewnić bezpieczeństwo energetyczne, wskazane staje się wzbogacanie elektrowni konwencjonalnych w urządzenia energetyki odnawialnej. Biorąc pod uwagę ich ilość oraz okresowość produkcji energii elektrycznej, pracujące elektrownie wykorzystujące odnawialne zasoby energii stanowią suplement dla elektrowni emitujących CO₂, a więc dekarbonizacja energetyki jest wyzwaniem sektora energetycznego [9].

Biorąc pod uwagę konieczność obniżania emisji zanieczyszczeń do atmosfery wraz ze wzrostem gospodarczym, pożądane staje się również ogniskowanie uwagi na innych niż konwencjonalne źródłach energii [6].

Literatura

- [1] Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki, 02/2011, NR 2 (76), Warszawa 2011, ISSN 1506-090X.
- [2] NEY R., 2010 – Pozycja węgla w światowej energetyce. Polityka Energetyczna t. 13, z. 2, s. 355–364, PL ISSN 1429-6675.
- [3] HAHN B., DURSTEWITZ M., ROHRIG K., 2007 – Reliability of wind turbines, experiences of 15 years with 1,500 WTs. *Wind Energy*. Springer, Berlin.
- [4] INIYAN S., SUGANTHI L., JAGADEESAN T.R., 1998 – Critical analysis of wind farms for sustainable generation. *Solar Energy* Vol. 64, Elsevier, Exeter.
- [5] HEPBASLI A., 2008 – A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 593–661.
- [6] BARCHAŃSKI B., 2010 – A jednak węgiel to terazniejszość i przyszłość energetyki. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2, s. 11–28, PL ISSN 1429-6675.
- [7] OZGENER O., OZGENER L., 2007 – Exergy and reliability analysis of wind turbine systems: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 1811–1826,
- [8] SPINATO F., TAVNER P.J., van BUSSEL G.J.W., KOUTOULAKOS E., 2009 – Reliability of wind turbine subassemblies. *IET Renew. Power Gener.*
- [9] CHMIELNIAK T., 2010 – Węglowe technologie energetyczne 2020+. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 77–90, PL ISSN 1429-6675.

Stanisław GUMUŁA, Krzysztof PYTEL

Economic and technological factors influence on the wind energy acquisition

Abstract

The main objective of the present study is to investigate wind energy utilization in selected localizations. The possibilities of obtaining energy by wind turbine were analyzed. Both in terms of technological and economic, this investment benefits both the investor and the natural environment. It was found that it is possible to extend the fault-free operation by changing its wind turbine construction. Financial and economic evaluation of projects related to the use of wind energy depends mainly on the sales prices of energy produced.

KEY WORDS: resources, energy, electricity, renewable energy sources, reliability