

Analiza efektywności przedsięwzięć z dziedziny energetyki wiatrowej

W Polsce wielokrotnie przeprowadzano analizy efektywności przedsięwzięć z dziedziny energetyki wiatrowej dla różnych wariantów technicznych, różnych źródeł finansowania, kosztów obsługi ewentualnego kredytu, założonego tempa i dynamiki zmian cen energii, itp. [23], [28], [32]. Wyniki tych obliczeń nie wypadały one zbyt pomyślnie dla większości obszarów naszego kraju, zwłaszcza że pomijano w obliczeniach możliwe do pozyskania korzyści społeczne, takie jak: stała cena energii dla odbiorców (w przypadku sieci wydzielonej), polepszenie warunków zdrowotnych w miejscowościach uzdrowiskowych w wyniku likwidacji konwencjonalnych ciepłowni, i in.

Do najważniejszych uwarunkowań opłacalności inwestycji OZE należy z pewnością prognoza cen zakupu energii elektrycznej z elektrowni wiatrowej. Zazwyczaj rozpatruje się trzy możliwości wzrostu cen energii elektrycznej:

1. tempo wzrostu cen energii utrzymywać się będzie na poziomie 3% rocznie,
2. cena zakupu energii wzrośnie do najniższej ceny w krajach UE w 2010 roku,
3. wzrost cen energii nastąpi do poziomu najniższej ceny w krajach UE w 2005 roku.

Na podstawie powyższych założeń dosyć dokładnej analizy ekonomicznej opłacalności inwestycji OZE dokonał pan Soliński [31]. Wyniki jego obliczeń zaprezentowano w tabelach.

Na podstawie otrzymanych wyników autor wysnuł szereg wniosków. Uznał m.in., że „*najkorzystniejszy (pod względem cen zakupu energii elektrycznej) jest oczywiście wariant trzeci, który pozwala na generowanie zysku netto w całym okresie (trwania*

inwestycji).”

Za drugi najważniejszy wskaźnik rentowności przedsięwzięcia uznał on „nadwyżkę kasową, która dla wariantu cenowego 3 jest w całym okresie dodatnia (tabela C-3). Wariant cenowy 2 generuje wprawdzie ujemne wartości przepływu w czwartym i piątym roku eksploatacji elektrowni, co jest spowodowane rozpoczęciem spłaty kredytu, ale suma tego niedoboru środków finansowych z powodzeniem może być wyrównana przez duże wpływy w drugim i trzecim roku eksploatacji”.

Bardzo ważnym założeniem było w tych obliczeniach założenie o karencji w spłacie kredytu i odsetek (4 lata). Pozwoliło to na „utrzymanie dodatniego przepływu kasowego w początkowym okresie eksploatacji szczególnie w wariantach cenowych 1 i 2”.

Na czas zwrotu nakładów kapitałowych ma również wpływ wielkość udzielonej dotacji do tej inwestycji. Jak pisze pan Soliński „wielkość tego wskaźnika dla całej inwestycji kształtuje się na poziomie około 11 do 8 lat w zależności od wariantu cenowego. Natomiast po odliczeniu dotacji do inwestycji (...) wskaźnik ten jest bardziej korzystny i wynosi od 8 do 6 lat.”

Tabela A1-wersja 1. Dane wyjściowe do obliczeń.

Rok	Nakłady inwestycyjne, zł	Amortyzacja, zł	Koszt eksploatacji, zł
1	2 507 000	0	0
2	0	105 000	25 070
3	0	105 000	25 070
4	0	105 000	25 070
5	0	105 000	25 070
6	0	105 000	50 140
7	0	105 000	50 140
8	0	105 000	50 140

9	0	105 000	50 140
10	0	105 000	50 140
11	0	105 000	50 140
12	0	105 000	50 140
13	0	105 000	50 140
14	0	105 000	50 140
15	0	105 000	50 140
16	0	105 000	50 140
17	0	105 000	50 140
18	0	105 000	50 140
19	0	105 000	50 140
20	0	105 000	50 140
21	0	105 000	50 140
22	0	105 000	50 140

Tabela A2-wersja 1. Dane wyjściowe do obliczeń.

Rok	Wielkość produkcji, MWh	Cena, zł/MWh	Wartość produkcji, zł	Kredyt, zł
1	0	180,00	0	
2	1450	185,40	268 830	0
3	1450	190,96	276 892	0
4	1450	196,69	285 200	0
5	1450	202,59	293 756	0
6	1450	208,67	302 572	0
7	1450	214,93	311 648	0
8	1450	221,38	321 001	0
9	1450	228,02	330 629	0
10	1450	234,86	340 547	0
11	1450	241,90	350 755	0
12	1450	249,16	361 282	0

13	1450	256,64	372	128	0
14	1450	264,34	383	293	0
15	1450	272,27	394	792	0
16	1450	280,43	406	624	0
17	1450	288,85	418	833	0
18	1450	297,51	431	390	0
19	1450	306,44	444	338	0
20	1450	315,63	457	664	0
21	1450	325,10	471	395	0
22	1450	334,85	485	533	0

Energetyka wiatrowa, jako jedna z kluczowych gałęzi odnawialnych źródeł energii, odgrywa współcześnie fundamentalną rolę w transformacji energetycznej gospodarek oraz w realizacji globalnych celów związanych z redukcją emisji gazów cieplarnianych i neutralnością klimatyczną. Analiza efektywności przedsięwzięć z tej dziedziny obejmuje wieloaspektowe podejście, w którym uwzględnia się zarówno uwarunkowania techniczne i ekonomiczne, jak i czynniki społeczne, środowiskowe oraz regulacyjne. W przeciwieństwie do tradycyjnych technologii wytwarzania energii opartej na paliwach kopalnych, projekty wiatrowe charakteryzują się specyficznymi cechami, takimi jak wysoka intensywność kapitałowa na etapie inwestycji, zmienność warunków naturalnych oraz konieczność integracji z systemami energetycznymi o zróżnicowanych profilach obciążenia. Analiza efektywności musi zatem obejmować zarówno ocenę kosztów inwestycyjnych i operacyjnych, jak i uwzględnienie poziomu energii możliwej do wytworzenia z danego zasobu wiatrowego oraz wpływu projektu na otoczenie społeczno-ekonomiczne i przyrodnicze.

Kluczowym aspektem oceny efektywności projektów wiatrowych jest analiza techniczna, która uwzględnia m.in. parametry turbin wiatrowych, właściwości aerodynamiki łopatek, wysokość

wieży oraz zastosowane technologie sterowania i monitoringu. Wydajność instalacji jest w znacznym stopniu uzależniona od warunków wiatrowych panujących w danej lokalizacji, co sprawia, że etap badań wiatru i modelowania energetycznego jest jednym z fundamentalnych elementów przygotowania każdego przedsięwzięcia. Pomiar prędkości i kierunku wiatru, analiza profilu wysokościowego oraz modelowanie rozkładu turbulencji stanowią podstawę do określenia przewidywanej produkcji energii, a tym samym rentowności projektu. Współcześnie stosowane technologie, takie jak zaawansowane turbiny o zmiennej prędkości obrotowej, systemy aktywnego sterowania łopatom oraz cyfrowe narzędzia do optymalizacji pracy farm wiatrowych, znacząco poprawiają efektywność energetyczną instalacji poprzez redukcję strat aerodynamiki i adaptację pracy turbiny do zmieniających się warunków atmosferycznych. Warto również zwrócić uwagę, że postęp technologiczny przyczynia się do zwiększenia średniej mocy jednostkowej turbin oraz rozszerza możliwości eksploatacyjne na obszary o niższej prędkości wiatru, co w znaczący sposób podnosi globalny potencjał energetyki wiatrowej.

Równie ważnym elementem oceny efektywności jest analiza ekonomiczna, uwzględniająca koszty inwestycyjne (CAPEX) oraz koszty eksploatacji i utrzymania (OPEX). Projekty wiatrowe charakteryzują się wysokim nakładem finansowym na etapie budowy, obejmującym koszty zakupu turbin, infrastruktury elektrycznej, montażu, przygotowania terenu oraz podłączenia do sieci. Jednak w porównaniu z tradycyjnymi źródłami energii koszty operacyjne są stosunkowo niskie, ponieważ w procesie wytwarzania energii nie występuje koszt paliwa, a konieczność prac serwisowych jest znacząco mniejsza niż w przypadku elektrowni węglowych czy gazowych. Jednym z najważniejszych wskaźników oceny efektywności ekonomicznej jest współczynnik LCOE (Levelized Cost of Energy), który pozwala porównać koszt produkcji energii z różnych źródeł. Energetyka wiatrowa w ostatnich latach wykazuje znaczący spadek wartości LCOE, co czyni ją konkurencyjną w porównaniu z konwencjonalnymi

technologiami energetycznymi. Efektywność ekonomiczna jest również uzależniona od warunków rynkowych i regulacyjnych, w tym mechanizmów wsparcia, takich jak taryfy gwarantowane, aukcje energii, systemy zielonych certyfikatów czy ulgi podatkowe, które mogą przyspieszać zwrot kapitału i stabilizować ryzyko inwestycyjne.

Nie można pomijać aspektów środowiskowych i społecznych, które stanowią integralny element analizy efektywności przedsięwzięć wiatrowych. Energetyka wiatrowa, mimo że uznawana jest za technologię przyjazną środowisku, może generować określone oddziaływania, takie jak hałas, oddziaływanie wizualne, wpływ na lokalne ekosystemy, w tym kolizje ptaków i nietoperzy, czy zmianę użytkowania terenu. Dlatego istotnym elementem oceny projektów jest przeprowadzenie rzetelnej analizy oddziaływania na środowisko (OŚ), w tym badanie migracji gatunków, ocena krajobrazowa oraz opracowanie działań minimalizujących potencjalne skutki. Jednocześnie warto podkreślić, że korzyści ekologiczne wynikające z wykorzystania energii wiatrowej, takie jak redukcja emisji CO₂, ograniczenie zużycia paliw kopalnych oraz poprawa jakości powietrza, znacząco przewyższają potencjalne oddziaływania negatywne. Z punktu widzenia społecznego efektywność projektów wiatrowych zależy od poziomu akceptacji społecznej, transparentności konsultacji oraz korzyści lokalnych, takich jak tworzenie miejsc pracy, dochody z podatków oraz poprawa infrastruktury lokalnej. Wysoki poziom partycypacji społecznej oraz odpowiednie programy komunikacji sprzyjają lepszej integracji projektów w przestrzeni publicznej i minimalizują konflikty społeczne.

Analiza efektywności przedsięwzięć w dziedzinie energetyki wiatrowej nie może również pomijać aspektu integracji z systemem elektroenergetycznym. Zmienny charakter produkcji energii wiatrowej stawia przed operatorami sieci wyzwania związane z bilansowaniem systemu, rezerwami mocy oraz integracją magazynów energii. Wprowadzenie elastycznych technologii magazynowania, inteligentnych sieci (smart grids)

oraz mechanizmów zarządzania popytem i podażą odgrywa zatem kluczową rolę w zwiększeniu stabilności i niezawodności energetyki opartej na wietrze. Ponadto rozwój transgranicznych połączeń energetycznych oraz integracja rynków energii przyczyniają się do maksymalizacji wykorzystania energii odnawialnej oraz do zwiększenia odporności systemu energetycznego na zmienność produkcji wiatrowej. Technologie predykcji pogody i algorytmy sztucznej inteligencji odgrywają coraz większą rolę w prognozowaniu mocy generowanej przez farmy wiatrowe, co pozwala na optymalne planowanie pracy systemu elektroenergetycznego i redukcję kosztów operacyjnych.

Analiza efektywności przedsięwzięć w dziedzinie energetyki wiatrowej wymaga uwzględnienia szerokiego spektrum czynników technicznych, ekonomicznych, środowiskowych i społecznych. Energetyka wiatrowa stanowi obecnie jedną z najbardziej perspektywicznych i dynamicznie rozwijających się gałęzi sektora energetycznego, oferując ogromny potencjał w zakresie dekarbonizacji, innowacji technologicznych oraz rozwoju gospodarki niskoemisyjnej. W miarę rozwoju technologii oraz doskonalenia systemów wsparcia i zarządzania energią, efektywność projektów wiatrowych będzie nadal rosła, co uczyni je kluczowym filarem globalnej transformacji energetycznej. W perspektywie przyszłości dalszy postęp technologiczny, integracja sektorowa oraz rozwój lokalnych i regionalnych strategii energetycznych stanowiąc będą fundament dla budowy zrównoważonego systemu energetycznego, opartego na czystych i odnawialnych źródłach energii, w którym energetyka wiatrowa odgrywać będzie dominującą rolę.

Jeśli potrzebujesz pomocy w napisaniu pracy z zakresu ochrony środowiska, to polecamy serwis [pisanie prac](#) - prace z ekologii i innych kierunków pisane na (prawie) każdy temat.