

Stanisław Gumuła, Krzysztof Pytel

Analiza możliwości lokalizacji elektrowni wiatrowych

Wprowadzenie

Energetyka naszego kraju w 95% opiera się na energii pochodzącej z kopalini. Stale rosnące ich ceny, spowodowane między innymi ich wyczerpywaniem się, zwiększyły zapotrzebowanie na alternatywne źródła energii, przyjazne dla środowiska i w zasadzie niewyczerpywalne.

W 2009 roku średnia cena energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych wynosiła 155,44 zł/MWh, wysokość opłaty zastępczej to 258,89 zł/MWh, co daje gwarantowany przychód średnio 414,33 zł/MWh. Jest to duża zachęta dla inwestorów. W 2009 roku obowiązek produkcji energii ze źródeł odnawialnych wynosił 8,7% dostaw. W 2009 roku sprzedaż energii do odbiorców końcowych to 113 TWh. Łączna produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii wyniosła około 8,6 TWh, czyli do wypełnienia zobowiązań w roku 2009 zabrakło około 1,2 TWh energii odnawialnej. Skutkowało to wnoszeniem opłat zastępczych, w których udziałowcami są odbiorcy końcowi, zamiast zysków z konkretnych inwestycji w odnawialne źródła energii.

Wciąż jeszcze konwencjonalne źródła energii są podstawowym źródłem energii dla przemysłu, energetyki, transportu i gospodarstw domowych. Biorąc pod uwagę fakt wyczerpywania się paliw kopalnych, wiele państw promuje wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Jednym z nich jest energetyka wiatrowa, która w całej Europie staje się masowym źródłem energii elektrycznej. W Polsce sektor ten nie ma jeszcze dużego znaczenia, niemniej regulacje prawne oraz warunki ekonomiczne dają podstawę do eksploatacji zasobów energetycznych wiatru. Aby istniała możliwość rozwoju energetyki wiatrowej, należy instalować zespoły elektrowni wiatrowych o coraz większej mocy, której wzrost skutkuje zazwyczaj wzrostem rozmiarów wirnika oraz wysokości wieży, dochodzącym do 100 i więcej metrów. Stwarza to problemy związane z silnym uzależnieniem produkcji energii od warunków wiatrowych oraz problemy lokalizacyjne. Konieczność przezwyciężenia tych problemów stwarza warunki do rozwoju bardziej ekonomicznych elektrowni wiatrowych. W Polsce najwięcej zainstalowanej mocy znajduje się w województwie zachodniopomorskim, pomorskim i kujawsko-pomorskim. Najmniej zainstalowanych

mocy znajduje się na południu Polski, w województwach: dolnośląskim, opolskim, lubelskim i małopolskim.

Społeczny aspekt inwestowania w energetykę wiatrową

Energetyka wiatrowa to źródło energii odnawialnej, ograniczającej zużycie paliw kopalnych. Produkcja energii z ruchu mas powietrza jest najczystsza i dostarcza wystarczających ilości energii do skutecznego zachowania tempa postępu technicznego odznaczającego się powszechną elektryfikacją urządzeń, zaawansowanymi procesami automatyzacji, powszechnym stosowaniem elektroniki oraz bezustannym wzrostem potrzeb oświetleniowych.

Energetyka wiatrowa może stanowić pokaźny udział w bilansie energetycznym zarówno w skali kraju, jak i regionu. Może przyczynić się do zwiększenia lokalnego bezpieczeństwa energetycznego oraz do poprawy stanu powietrza. Rozwój energetyki wiatrowej może mieć znaczenie w rejonach dotkniętych bezrobociem, gdzie powiązane inwestycje skutkują powstawaniem nowych miejsc pracy i przyczyniają się do rozwoju gospodarczego całego regionu. W obszarze rozwoju elektroenergetyki przewiduje się głównie rozwój źródeł opartych na energii wiatru, nie wykluczając innych źródeł energii. Według Polityki energetycznej Polski do 2030 roku relatywnie największą dynamikę wzrostu do roku 2020 zanotują energetyka wiatrowa (pięćdziesięcioczekrotny wzrost) i solarna (trzydziestopięciokrotny wzrost). W warunkach polskich decydujące znaczenie, w kontekście osiągnięcia postawionego celu 15% udziału energii odnawialnej w strukturze energii finalnej brutto w 2020 roku, będzie miała energetyka wiatrowa, która wspólnie z produkcją energii z biogazu, biomasy stałej oraz biopaliw transportowych w 2020 roku, stanowić będzie około 94% zużycia energii ze wszystkich źródeł odnawialnych. Udział elektrowni wiatrowych w produkcji energii elektrycznej wzrośnie do 17% w 2020 roku i prawie 29% w 2030 roku.

Biorąc pod uwagę walory ekologiczne, wykorzystanie energii wiatru jest obecnie jedną z najbardziej obiecujących technologii przyszłości redukujących problemy zagrożenia środowiska naturalnego. Energetyka wiatrowa eliminuje z produkcji energii niezwykle szkodliwy dla środowiska proces emisji gazów i pyłów, będąc jedną z najtańszych opcji technologicznych redukcji emisji CO₂. Istnieje realna szansa na redukcję emisji CO₂ do atmosfery dzięki energetyce wiatrowej o 33 x 10⁶ t w 2020 roku z dalszym potencjałem wzrostu do 65 x 10⁶ t w 2030 roku. Kolejny walor ekologiczny związany z ideą zrównoważonego rozwoju to oszczędność paliw tradycyjnych z jednoczesną możliwością wykorzystania terenu wokół elektrowni pod uprawy.

Biorąc pod uwagę walory ekonomiczne, zauważymy stały koszt jednostkowy uzyskiwanej energii oraz niskie koszty eksploatacyjne, prostą obsługę i krótki okres montażu.

Biorąc pod uwagę walory społeczne i gospodarcze, zauważymy brak kosztów paliwa, gdyż źródło pozbawione jest ryzyka wahań cen paliw, pozwala na wyeliminowanie wpływu wahań cen paliw na gospodarkę i rozwój nowych technologii i innowacji. Kolejne zalety to dywersyfikacja źródeł energii i zmniejszenie uzależnienia od importu energii, w szczególności od importu surowców, wzrost bezpieczeństwa

energetycznego i zabezpieczenia przed nadmiernym wzrostem cen energii wytwarzanej przez konwencjonalne źródła, rozwój infrastruktury przesyłu i dystrybucji energii i korzystny wpływ na zrównoważony rozwój.

Energetyka wiatrowa jeszcze dwadzieścia lat temu z uwagi na niedostateczną efektywność, wysokie koszty pozyskania, a przede wszystkim dostępność i niską cenę ropy naftowej nie była traktowana jako równoprawne źródło energii. Obecnie sytuacja się zmieniła, ceny ropy wzrosły, a technologia pozwalająca w efektywny sposób pozyskiwać energię wiatru znacznie się poprawiła. Bardzo ekologiczne elektrownie wiatrowe stały się pożądanym elementem krajobrazu. Dla oceny opłacalności energetyki wiatrowej w danej lokalizacji konieczne jest poprawne określenie zasobów energii wiatru, gdyż ilość wyprodukowanej energii elektrycznej bardzo silnie zależy od średniej prędkości wiatru w terenie rozważanym pod inwestycję.

Szacuje się, że ludzkość zużyła blisko 2/3 całej wyprodukowanej przez siebie energii w ciągu ostatniego stulecia. Kończące się zapasy paliw kopalnych doprowadziły do szybkiego rozwoju i stosowania energetyki wiatrowej, wolnej od emisji GHG do atmosfery. Podpisanie konwencji w Kioto w 1997 roku dało energetyce wiatrowej kolejny impuls do wejścia na nowy i ważny etap rozwoju. Protokół z Kioto wygasa w 2012 roku, ale inicjuje kolejne globalne porozumienia mające na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, czyli między innymi inwestycje w wykorzystanie energii wiatru, które są kosztowne, jednakże wiatr jest czystym i najobfitszym źródłem energii odnawialnej na kuli ziemskiej. Energia wiatru była wykorzystywana przez ludzi od tysięcy lat i również obecnie to czyste ekologicznie i niewyczerpalne źródło energii znajduje coraz szersze zastosowanie i cieszy się coraz większym poparciem społecznym. Zawodowa energetyka wiatrowa znacznie odbiega zarówno wyglądem, jak i technologią wykonania od swoich poprzedników.

Korzyści wynikające ze stosowania energii wiatru

Biorąc pod uwagę zainteresowanie energetyką wiatrową, z punktu widzenia inwestora w projektach aeroenergetycznych istotny jest rachunek ekonomiczny. Biorąc pod uwagę bardzo wysokie nakłady inwestycyjne, konieczne jest opracowanie studium wykonalności danego przedsięwzięcia. W strukturę kosztów wchodzi nakłady inwestycyjne na środki trwałe. W strukturę nakładów inwestycyjnych wchodzi zakup lub dzierżawa gruntów (2–9% nakładów), budowa dróg dojazdowych (2–3%), fundamenty (3–5%) oraz część elektroenergetyczna przedsięwzięcia, uwzględniająca zakup (60–75%), transport i montaż (5%) elektrowni oraz podłączenie energetyczne wraz z linią kablową (10–20%).

Przy analizie możliwości lokalizacji elektrowni wiatrowych uwzględnia się uwarunkowania ekonomiczne, prawne, czynniki społeczne oraz problemy techniczne. Uwarunkowania ekonomiczne uwzględniają dostępne dla energetyki wiatrowej lokalizacje, które pozwalają uzyskać korzystne wyniki ekonomiczne inwestycji. Zależą od: wietrzności na danym obszarze, kosztów przyłączenia czy kosztów dzierżawy. Akceptowalny dziś poziom wietrzności dla realizacji projektu jest znacznie niższy niż kilka lat temu, dzięki stosowaniu wyższych wież i wysoko sprawnych elektrowni wiatrowych. Oznacza to akceptację terenów wewnątrz naszego kraju dla rozwoju energetyki wiatrowej, co skutkuje rozproszeniem energetyki na większym

obszarze, z jednoczesnym zmniejszeniem jednostkowych kosztów przyłączenia i dzierżawy terenów pod elektrownie wiatrowe.

Uwarunkowania prawne uwzględniają regulacje dotyczące budowy elektrowni wiatrowych oraz ograniczenia środowiskowe związane z obowiązującymi formami ochrony przyrody i wypełnianiem norm w zakresie emisji hałasu. Uwarunkowania prawne związane z budową urządzeń energetycznych wykorzystujących energię wiatru określa prawo budowlane, w myśl którego obiekty służące do wytwarzania energii są budowlami, natomiast warunkiem uzyskania pozwolenia na budowę jest zgodność wykonania obiektu z warunkami zabudowy i zagospodarowania terenu w planach gminy, pozytywna opinia Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska oraz pozytywna ekspertyza możliwości współpracy elektrowni wiatrowej z siecią energetyki zawodowej wydana przez zakłady energetyczne.

Czynniki społeczne uwzględniają akceptację społeczną dla energetyki wiatrowej, której poziom może podlegać wahaniom w zależności od czynników ekonomicznych, świadomości ekologicznej oraz stopnia nasycenia obszaru elektrowniami.

Problemy techniczne nie wynikają z budowy elektrowni wiatrowej, lecz ze słabości węzła sieciowego współpracującego z elektrownią. Warunek, że moc elektrowni nie może przekraczać 5% mocy zwarciowej węzła, ogranicza możliwość budowy w wielu lokalizacjach o niestabilnych prędkościach mas powietrza. Obecnie przyłączanie elektrowni wiatrowych do sieci jest jednym z bardziej skomplikowanych problemów z uwagi na słabą infrastrukturę sieci, potęgowaną stosunkowo niskimi nakładami na rozwój sieci oraz spekulacją wynikającą z obecności na rynku wielu potencjalnych inwestycji, które nie zostaną zrealizowane, ale zarezerwowały moc u operatora.

Poniżej przedstawiono trzy przykładowe obliczenia możliwości lokalizacji elektrowni wiatrowych w warunkach polskich przy maksymalnej teoretycznej prędkości wiatru, dla lokalizacji w północnej oraz w południowej Polsce. Oceniono ilość wytwarzanej energii, koszty w cyklu życia inwestycji dla różnych typów efektywnych i odnawialnych technologii energetycznych.

Przykład 1

W tabelach przedstawiono podstawowe dane elektrowni wiatrowej (tabela 1) oraz ocenę zasobów dla maksymalnej średniorocznej prędkości wiatru w Polsce (tabela 2). W tabeli 3 przedstawiono analizę finansową projektu elektrowni dla maksymalnej średniorocznej prędkości wiatru w Polsce.

Tab. 1. Podstawowe dane elektrowni wiatrowej

Technologia	Elektrownia wiatrowa	
Współczynnik wykorzystania mocy	%	30,0
Cena eksportowanej energii elektrycznej	€/MWh	100
Moc jednej turbiny	kW	2 000
Liczba turbin		25
Moc elektryczna	kW	50 000
Wysokość piasty	m	80

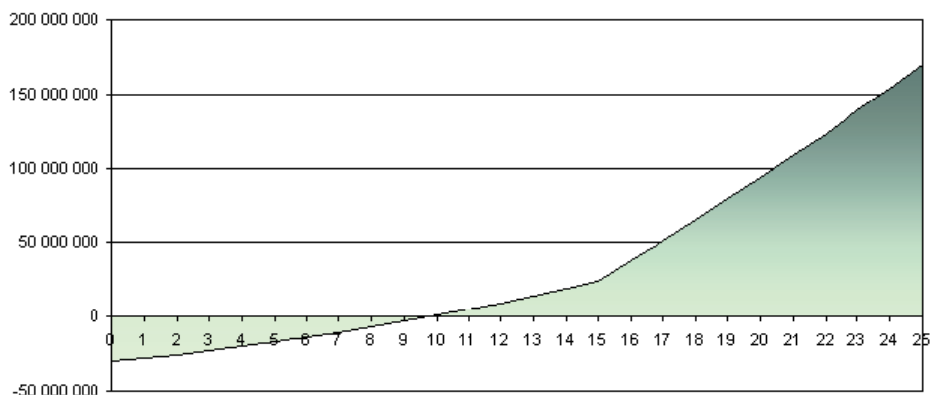
Średnica wirnika na turbinę	m	90
Pow. zasięgu łopat na turbinę	m ²	6 362
Krzywa zasobów energii	Standardowo	
Parametr kształtu	2,0	

Tab. 2. Ocena zasobów dla lokalizacji o teoretycznie maksymalnej średniorocznej prędkości wiatru w Polsce

Prędkość wiatru – roczna	m/s	12,4
Pomiar na wysokości	m	10,0
Współczynnik gwałtownych zmian wiatru		0,14
Temperatura powietrza – roczna	°C	0,9
Ciśnienie atmosferyczne – roczne	kPa	97,7

Tab. 3. Analiza finansowa

Straty instalacji	%	7
Straty łopatkowe	%	3
Pozostałe straty	%	5
Dostępność	%	94
Współczynnik wykorzystania mocy	%	29,9
Energia elektryczna dostarczona do sieci	MWh	130 804
Cena eksportowanej energii elektrycznej	€/MWh	100,00
Parametry finansowe		
Stopa inflacji	%	2,0
Czas trwania projektu	rok	25
Wskaźnik zadłużenia	%	70
Oprocentowanie zadłużenia	%	7
Okres zadłużenia	rok	15
Koszty początkowe	€	100 000 000
Łączne koszty roczne	€	11 185 624
Łączne roczne oszczędności i przychody	€	13 080 419
Wykonalność finansowa		
IRR przed opodatkowaniem – kapitał	%	13,7
IRR przed opodatkowaniem – aktywa	%	4,2
Prosty okres zwrotu	rok	10,4
Zwrot kapitału	rok	10,0



Rys. 1. Skumulowane przychyły pieniężne w okresie funkcjonowania inwestycji

Na podstawie analizy wyników inwestycja wydaje się być bardzo opłacalna finansowo. SPBT szacowany na około 10 lat informuje o stosunkowo krótkim okresie zwrotu zainwestowanego kapitału. Wysoka wartość IRR przed opodatkowaniem – kapitał lokuje inwestycję na wysokiej pozycji pod kątem opłacalności.

Przykład 2

W tabeli 4 przedstawiono ocenę zasobów dla okolic wybrzeża w Polsce.

Tab. 4. Ocena zasobów dla lokalizacji w północnej Polsce

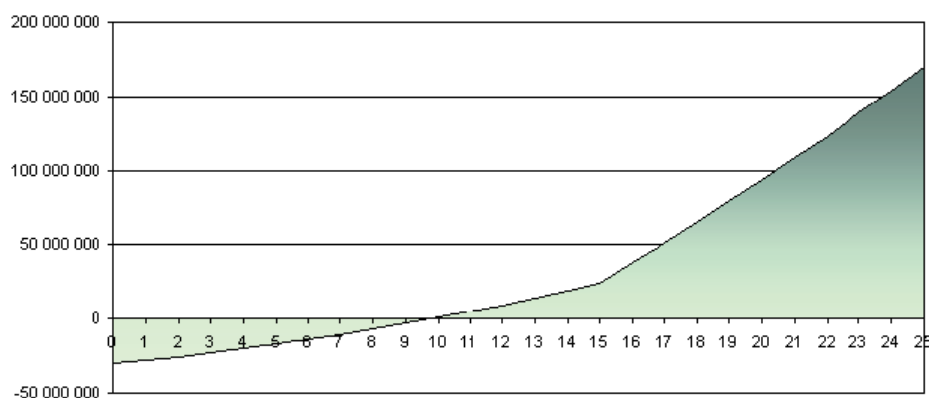
Prędkość wiatru – roczna	m/s	6
Pomiar na wysokości	m	10,0
Współczynnik gwałtownych zmian wiatru		0,14
Temperatura powietrza – roczna	°C	7,1
Ciśnienie atmosferyczne – roczne	kPa	100,3

W tabeli 5 przedstawiono analizę finansową projektu elektrowni dla lokalizacji w północnej Polsce.

Tab. 5. Analiza finansowa

Model	300 kW / 30 m	
Straty instalacji	%	7
Straty łopatkowe	%	3
Pozostałe straty	%	5
Dostępność	%	94
Współczynnik wykorzystania mocy	%	30
En. elektryczna dostarczona do sieci	MWh	788
Cena eksportowanej en. elektrycznej	€/MWh	100,00

Parametry finansowe		
Stopa inflacji	%	2,5
Czas trwania projektu	Rok	25
Wskaźnik zadłużenia	%	0
Koszty początkowe	€	1 033 625
Łączne koszty roczne	€	26 074
Łączne roczne oszczędności i przychody	€	78 840
Wykonalność finansowa		
IRR przed opodatkowaniem – aktywa	%	4,5
Prosty okres zwrotu	rok	19,6
Zwrot kapitału	rok	15,8



Rys. 2. Skumulowane przychływy pieniężne w okresie funkcjonowania inwestycji

Na podstawie analizy wyników inwestycja wydaje się być opłacalna finansowo. SPBT szacowany na około 19 lat informuje o akceptowalnym okresie zwrotu zainwestowanego kapitału. Wartość wewnętrznej stopy zwrotu informuje o akceptowalnej inwestycji pod kątem opłacalności finansowej.

Przykład 3

W tabelach przedstawiono podstawowe dane elektrowni wiatrowej (tabela 6) oraz ocenę zasobów dla lokalizacji w południowej Polsce (tabela 7). W tabeli 8 przedstawiono analizę finansową projektu elektrowni dla lokalizacji w południowej Polsce.

Tab. 6. Podstawowe dane elektrowni wiatrowej

Technologia	Elektrownia wiatrowa	
Współczynnik wykorzystania mocy	%	30,0
Cena eksportowanej en. elektrycznej	€/MWh	100

Moc jednej turbiny	kW	2000
Liczba turbin		25
Moc elektryczna	kW	50000
Wysokość piasty	m	80
Średnica wirnika na turbinę	m	90
Pow. zasięgu łopat na turbinę	m ²	6362
Krzywa zasobów energii	Standardowo	
Parametr kształtu	2,0	

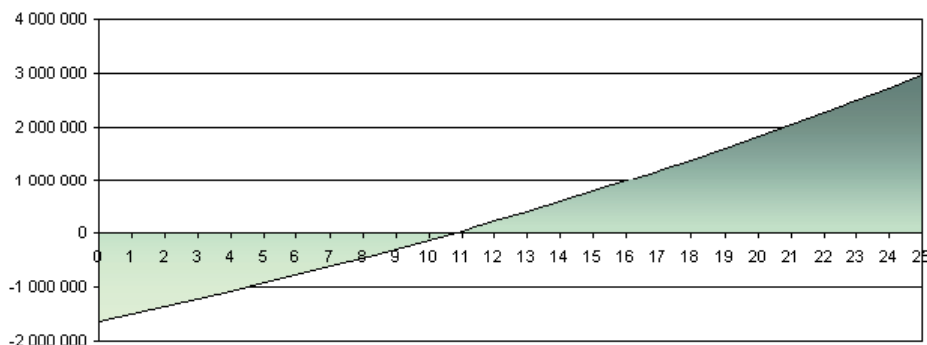
Tab. 7. Ocena zasobów dla lokalizacji w południowej Polsce

Prędkość wiatru – roczna	m/s	12,4
Pomiar na wysokości	m	10,0
Współczynnik gwałtownych zmian wiatru		0,14
Temperatura powietrza – roczna	°C	0,9
Ciśnienie atmosferyczne – roczne	kPa	97,7

Tab. 8. Analiza finansowa

Straty instalacji	%	7
Straty łopatkowe	%	3
Pozostałe straty	%	5
Dostępność	%	94
Współczynnik wykorzystania mocy	%	29,9%
En. elektryczna dostarczona do sieci	MWh	1577
Cena eksportowanej en. elektrycznej	€/MWh	100,00
Parametry finansowe		
Stopa inflacji	%	2,0
Czas trwania projektu	Rok	25
Wskaźnik zadłużenia	%	0
Koszty początkowe	€	1633625
Roczne koszty i spłaty	€	w26074
Łączne roczne oszczędności i przychody	€	157680
Wykonalność finansowa		
IRR przed opodatkowaniem – aktywa	%	9,0
Prosty okres zwrotu	rok	12,4
Zwrot kapitału	rok	10,7

Na podstawie analizy wyników inwestycja wydaje się być bardzo opłacalna finansowo. SPBT szacowany na około 12 lat informuje o stosunkowo krótkim okresie zwrotu zainwestowanego kapitału. Wysoka wartość IRR przed opodatkowaniem – aktywa lokuje inwestycję na wysokiej pozycji pod kątem opłacalności.



Rys. 3. Skumulowane przychływy pieniężne w okresie funkcjonowania inwestycji

Podsumowanie

Dokonanie analizy kosztów wytwarzania energii elektrycznej dla różnych technologii jest niezwykle trudne. Koszty produkcji energii elektrycznej z różnych źródeł nawet tego samego typu są uzależnione od ram instytucjonalnych, prawnych, ekonomicznych i finansowych. Na ostateczną cenę energii wpływa się poprzez wspieranie określonych technologii dotacjami, grantami czy ulgami. Szacuje się, że wytworzenie 1 MW energii w elektrowni zawodowej przynosi straty ekologiczne o wartości 133 zł, a zatem elektrownia wiatrowa o mocy 2 MW przy średniej rocznej produkcji rzędu 5000 MWh przyniesie oszczędności około 665 000 zł. Uwzględniając szacunkowy czas pracy elektrowni uzyskamy całkowite oszczędności dla środowiska na poziomie powyżej 13 300 000 zł. Z ekonomicznego punktu widzenia instalacja elektrowni wiatrowych stanowi zatem opłacalne przedsięwzięcie. Jednakże, aby dokładnie określić opłacalność inwestycji, należy przeanalizować wszystkie wydatki związane z uruchomieniem, eksploatacją elektrowni oraz generowane przez nią zyski. Szacunkowy koszt wytworzenia 1 MW mocy wymaga nakładów na poziomie 1,5 miliona €. Realny koszt w zależności od wielkości inwestycji może kształtować się na poziomie do kilkunastu procent mniej. Dlatego na podstawie przeprowadzonych symulacji możemy stwierdzić, że inwestowanie w energetykę wiatrową może być bardzo interesującą alternatywą dla inwestora na większości obszarów w Polsce.

Literatura

- [1] Depešová J., Širka J., *Tradičné technologie a ich využití v ergoterapii*, [w:] *Zborník Technické vzdelanie ako súčasť všeobecného vzdelania*, B. Bystrica 2003, s. 409–413
- [2] Gumuła S., Pytel K., *Analysis of influence of climate factors on treatment chosen hybrid system of renewable energy sources*, [w:] *Problemy współczesnej techniki w aspekcie inżynierii i edukacji*, AP im. KEN w Krakowie, Kraków 2005, s. 252

- [3] Noga H., *Ekologia stanowiska komputerowego*, „Wychowanie Techniczne w Szkole” 1998, nr 5, s. 296–298
- [4] Tomková V., Vargová M. *Mimoškolská technická záujmová činnosť*, [w:] *Technické vzdelávanie v informačnej spoločnosti*, Nitra 2004, s. 341–350

Analysis of wind energy localization

Abstract

A real estimation of usefulness of selected areas for wind turbine localization is one of the most important decisions in the investment process in wind energy industry. Wind turbine can be located in areas of high wind speed that are located on the Polish coast, in the north – east and the south part of Poland. It is possible to locate wind turbines in one-third of Poland's territory, because there are wind conditions good enough for investments. In other parts of Poland installing could be economically profitable. In this publication, economic and financial aspects of wind energy projects are presented.

Keywords: wind energy, ecology, RES

Stanisław Gumuła
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Krzysztof Pytel
Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie
Instytut Techniki
ul. Podchorążych 2
30-084 Kraków