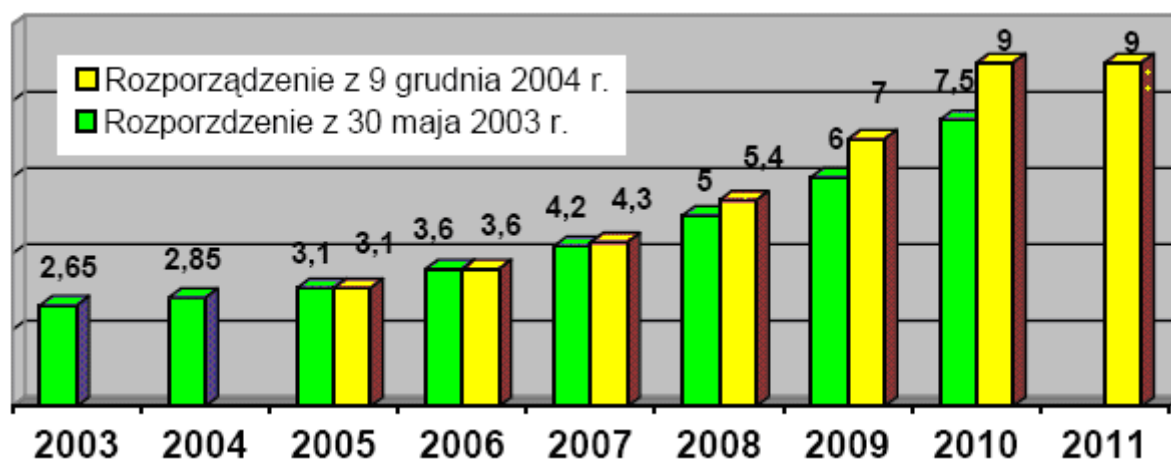


## Ocena wielkości energii elektrycznej produkowanej przez elektrownie wiatrowe w kontekście wybranych parametrów

### 1. Opis stanu aktualnego (2006)

Wg danych GUS, moc zainstalowana elektrowni wiatrowych w Polsce w 2004 roku wyniosła 65 MW, przy 60 MW w 2003 roku i 59 MW w 2002 roku. (źródło: [http://www.stat.gov.pl/dane\\_spol-gosp/prod\\_bud\\_inw/naklady/2006/lkw06/index.html](http://www.stat.gov.pl/dane_spol-gosp/prod_bud_inw/naklady/2006/lkw06/index.html)).

Na skutek m.in. lobbingu środowisk związanych z energetyką wiatrową, Ministerstwo Gospodarki wprowadziło do obowiązującego Rozporządzenia (o obowiązku zakupu energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych) zapisy, które zwiększyły zainteresowanie oraz liczbę konkretnych inwestycji.

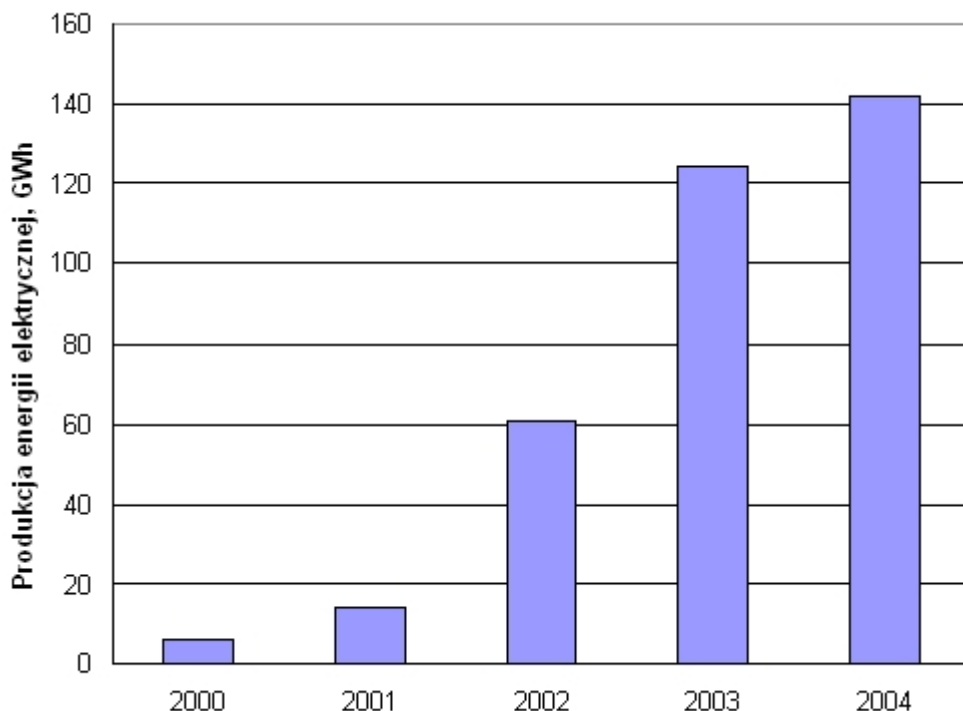


Rys. 1. Cele indykatorywne udziału energii OZE w sprzedaży dla odbiorców końcowych [%]

Wg rejestrów URE na dzień 31 sierpnia 2006 roku w Polsce, pracuje 86 aktywnych instalacji wiatrowych, o łącznej mocy nominalnej na poziomie **142,93 MW**.

Zwraca się w tym miejscu uwagę, że pod pojęciem instalacji wiatrowej rozumie się tu elektrownię lub zespół elektrowni wiatrowych zgłoszonych w procesie uzyskania koncesji w ramach jednego wniosku (np. farma wiatrowa w Tymieniu złożona z 25 siłowni stanowi tu „tylko” jedną instalację).

Wg KAPE (<http://www.ozee.kape.gov.pl/>) w 2004 roku elektrownie wiatrowe wyprodukowały w Polsce 142 GWh energii elektrycznej (rys.2.), co stanowiło 4,9 % energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych i tylko 0,1 % krajowego zużycia energii elektrycznej brutto.



Rys.2. Produkcja energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych w latach 2000-2004

Produkcja energii elektrycznej przez elektrownie wiatrowe w roku 2005, wg URE, wyniosła nieco ponad 135 GWh. Wartość tę zarejestrowano tam na podstawie wydanych świadectw pochodzenia energii. (źródło: URE- Burzyński R., GoO system in Poland, Budapest, czerwiec 2006)

Warto zauważyć, że przy łącznej produkcji energii elektrycznej z elektrowni krajowych w 2005 roku na poziomie 156023 GWh, znaczenie elektrowni wiatrowych w bilansie energetycznym Polski (po stronie zużycia) wyznacza wartość pomiędzy 0,09 a 0,1%!

		2003 r.	2004 r.	2004/2003	2005 r.	2005/2004
		GWh	GWh	%	GWh	%
1	Produkcja energii elektrycznej ogółem	150 750	153 361	101,7	156 023	101,7
2	Wymiana zagraniczna	-10 160	-9 292	91,5	-11 186	120,3
3	Krajowe zużycie energii	140 590	144 069	102,5	144 837	100,5

Według danych Agencji Rynku Energii SA przedstawionych w tabeli 2, średnia cena energii elektrycznej z OZE w roku 2004 wyniosła 219 zł/MWh. Rzeczywista cena energii elektrycznej z OZE bez uwzględnienia tej produkowanej

w dużych elektrowniach wodnych (Solina, Włocławek itp.) była jednak znacznie wyższa.

Tabela 1. Ceny zakupu energii elektrycznej przez przedsiębiorstwa dystrybucyjne po 4 kwartałach roku 2003 i 2004.

	4 kwartały		Dynamika
	2003	2004	
	zł/MWh		%
<b>Średnia cena ogółem</b>	<b>124,68</b>	<b>124,36</b>	<b>99,74</b>
w tym:			
z odnawialnych źródeł energii elektrycznej	201,50	219,13	108,75
z PSE SA wg. taryfy (MIE)	124,44	125,24	100,64
z elektrowni zawodowych	124,11	123,67	99,64
z elektrowni przemysłowych	123,34	119,45	96,85
z elektrowni własnych i zależnych	135,00	132,12	97,87
z przedsiębiorstw obrotu	124,82	118,52	94,95
na giełdzie energii	113,63	114,83	101,05
na rynku bilansującym	155,24	149,43	96,26

W 2006 roku, z uwagi m.in. na nadwyżkę popytu nad podażą, właściciele elektrowni wiatrowych nie mają problemu ze zbyt produkowaną przez nich energią elektryczną za cenę 260-280 zł/MWh (zdarzają się kontrakty powyżej 300 zł/MWh!).

Aktualnie, całość energii z OZE w bilansie energetycznym Kraju stanowi jedynie ok. 3%. Biorąc zatem pod uwagę cele indykatoryjne jak na rys.1 oraz zakładając dalszą restrykcyjną politykę URE w zakresie egzekucji już nałożonych na Operatorów sieci obowiązków w tym zakresie, należy się spodziewać zwiększenia dynamiki i dalszego rzeczywistego przyrostu mocy i liczby instalacji OZE, w tym elektrowni wiatrowych w szczególności.

To z kolei nakłada i uzasadnia obowiązek szczególnie starannego doboru typu oraz parametrów instalowanych elektrowni wiatrowych tak, aby zamierzone cele w skali Kraju osiągnąć minimalną liczbą urządzeń (unikając tzw. nadmiernego zaśmiecania krajobrazu).

## 2. Efektywność przedsięwzięcia pod kątem wybranych czynników

Obowiązujące cele indykatoryjne jw., odnoszą się do wielkości zużycia energii elektrycznej (sprzedaży odbiorcom końcowym). Tę z kolei należy wprawdzie wyprodukować...

Z tego też tytułu, rozpatrując elektrownie wiatrowe jako źródła OZE - których znaczenie może w krajowym bilansie wzrosnąć najbardziej, niezwykle ważnym i interesującym zagadnieniem jest kwestia możliwości zwiększenia sprawności procesu konwersji energii wiatru na energię elektryczną.

Z uwagi na szereg ograniczeń teoretycznych (m.in. prawo Betza), optymalizacja w tym zakresie może być prowadzona jedynie po stronie technologicznej, tak aby faktyczna ilość energii elektrycznej produkowanej przez poszczególne źródła była bliska maksymalnej (przy zachowaniu odpowiednich standardów w zakresie jakości).

Między innymi z powodu jak wyżej, na przestrzeni kilkudziesięciu ostatnich lat - związanych z rozwojem energetyki wiatrowej, wystąpiła łatwo zauważalna tendencja wzrostu mocy oraz gabarytów pojedynczych jednostek (elektrowni). Jak podaje m.in. witryna <http://www.energies-renouvelables.org/>, na przestrzeni ostatnich kilku lat, wartość mocy nominalnej „średniej” elektrowni wiatrowej praktycznie uległa multiplikacji.

Rok	Niemcy	Dania	Hiszpania	Francja	Włochy	USA
1999	919	750	589	135	569	617
2000	1101	931	648	376	600	795
2001	1281	850	721	509	635	941
2002	1397	1443	845	713	776	843
2003	1650	1988	872	795	802	1773
2004	1696	1800	1057	1036	918	1674

Rys. 2. Średnia wielkość pojedynczych elektrowni wiatrowych instalowanych w poszczególnych krajach [kW]

Wraz ze wzrostem mocy nominalnej - oprócz wzrostu ceny, wzrastały także rozmiary poszczególnych jednostek i ich efektywność ekonomiczna.

Podczas praktycznego doboru typu elektrowni wiatrowych do warunków danej lokalizacji pod kątem ich efektywności ekonomicznej, z reguły już na początku procesu doboru odnosiło się (i czyni się to nadal) do tzw. współczynnika omiotu (mierzonego w kWh/m<sup>2</sup> powierzchni rotora/rok).

Biorąc pod uwagę proponowany m.in. przez OSEA (Ontario Sustainable Energy Association) (<http://www.ontario-sea.org/ARTs/ARTsOSEAProposal.html>) podział, oraz kierując dostępnymi atlasami wiatru, można w prosty sposób oszacować przewidywaną produkcję energii elektrycznej. I tak:

- Słaby wiatr = <600 kWh/m<sup>2</sup> pow. rotora/rok
- Silny wiatr = >800 kWh/m<sup>2</sup> pow. rotora/rok
- Średni wiatr = 600-800 kWh/m<sup>2</sup> pow. rotora/rok

Decydując się zatem na konkretny typ elektrowni wiatrowej (z czym związana jest powierzchnia omiotu rotora) oraz szacując z dostępnych źródeł literaturowych

poziom siły wiatru, można (wstępnie, zgrubnie) określić oraz wyznaczyć roczną produkcję energii elektrycznej w warunkach danej lokalizacji.

Sposób ten jest znacznym uproszczeniem całej teorii doboru typu elektrowni wiatrowej do warunków orografii terenu, jednak jak pokazuje doświadczenie, w literaturze często występuje i jest stosowany.

Zwykle uważa się, że kryterium opłacalności turbin występuje, gdy współczynnik omiotu przekracza  $1000 \text{ kWh/m}^2$  pow. rotora/rok. W wielu jednak sytuacjach „sztywne” podejście do tego kryterium jest zjawiskiem niepożądanym.

Jak pokazuje doświadczenie, rzeczywista wartość współczynnika omiotu nie zależy także w prosty sposób od postępu technologicznego stosowanych urządzeń.

Zgodnie z raportem CEC (California Energy Commission) już w 1996 roku było możliwe osiągnięcie współczynnika omiotu równego  $1700 \text{ kWh/m}^2$  pow. rotora. Co ciekawe wartość tę osiągnęły turbiny Vestas V27.

Podobne wartości osiągały także inne siłownie w warunkach innych lokalizacji np. La Ventosa w Meksyku, Wellington w Nowej Zelandii. Co ciekawe, wartość tego współczynnika ulegała ciągłemu pogorszeniu w kolejnych latach pracy tych siłowni. W 2002 roku współczynnik ten wyniósł dla turbin jw. już tylko  $1260 \text{ kWh/m}^2$  rotora, potwierdzając znane w starożytności powiedzenie: że nic nie jest stałe...

Maksymalną odnotowaną przez literaturę wartością współczynnika omiotu jest  $2300 \text{ kWh/m}^2$ . Wartość tę zarejestrowano przy produkcji energii elektrycznej przez tajwańskie turbiny Delta. Ponieważ brak jest jednak wiarygodnego potwierdzenia uzyskanych rezultatów, wynik ten traktuje się najczęściej z przymrużeniem oka (źródło: Paul Gipe, California Updates Wind Stats—Finally, [WindStats](#) 2002).

Próbując odnieść dywagacje na temat współczynnika omiotu i jego znaczenia do polskich realiów można przedstawić przykład jednego z krajowych parków wiatrowych.

Park ten zlokalizowano w terenie, który określa się pod względem warunków wietrzności (np. w powszechnie znanych mapach IMGW) - jako wybitnie korzystny.

Inwestor parku, przed rozpoczęciem inwestycji, w sposób bardzo profesjonalny, dokonał walidacji warunków wietrzności i dobrał typ elektrowni wiatrowej. Wg swoich kalkulacji, z jednej turbiny zamierzał uzyskać co najmniej 4500 MWh/rok.

Przy powierzchni omiotu rotora na poziomie 5027m<sup>2</sup>, prognozowana wartość współczynnika omiotu zamykała się w tej sytuacji wartością 895 kWh/m<sup>2</sup>/rok.

Tymczasem, jak wynika z Informacji URE z 8.6.2006r. dostępnej pod adresem [http://www.ure.gov.pl/index\\_wai.php?dzial=178&id=822](http://www.ure.gov.pl/index_wai.php?dzial=178&id=822)), produkcja tego parku wiatrowego wyniosła w 2005 roku nieco ponad 61 tys. MWh.

Tak uzyskany wynik plasuje się zdecydowanie poniżej deklaracji Inwestora i odpowiada w praktyce raptem ok. 4,1 GWh/rok z jednej siłowni.

Jeżeli przyjąć, a inaczej chyba nie można, że dane URE są poprawne i dodatkowo że na przestrzeni roku pomiarowego nie wystąpiły w tym parku wiatrowym znaczące czasowo - nieoczekiwane przestoje spowodowane awarią urządzeń, to uzyskany współczynnik omiotu wyniósł tam rzeczywiście jedynie około 809 kWh/m<sup>2</sup> pow. rotora/rok.

To zaś, wg klasyfikacji OSEA nakazuje stwierdzenie, że w danych warunkach odnotowano wiatr silny – lecz bliższy raczej średniemu, aniżeli bardzo silnemu (który w notacji IMGW odpowiada warunkom wybitnie korzystnym).

Jeżeli dodatkowo przeciwstawimy, iż wartość współczynnika omiotu wyniosła tu tylko nieco ponad 800 kWh/m<sup>2</sup> - w porównaniu do wartości przekraczających 1500 kWh/m<sup>2</sup> – możliwych do uzyskania już przez urządzenia „technologicznie archaiczne” w 1996 roku, to można na tym tle wysunąć zapytanie o fakt możliwości wystąpienia w tym przypadku sytuacji określanej w literaturze (<http://www.windpower.org/en/tour/wres/annu.htm>) mianem „paradoksu współczynnika wydajności” (ang. The Capacity Factor Paradox ).

Jak się bowiem okazuje, w bardzo wietrznych lokalizacjach, lepsze rezultaty (wyższą wydajność) uzyskuje się stosując większy generator przy takiej samej średnicy rotora. Innymi słowy dla danego typu generatora, powinno się użyć rotor o mniejszej średnicy. W takiej sytuacji obniża się współczynnik wydajności, ale zwiększa roczną produktywność.

Poszukiwanie optymalnego współczynnika wydajności wyznacza zatem wybór pomiędzy stabilnością produkowanej energii, a jej wielkością produkcji – przy mniejszym współczynniku wydajności. Oznacza to również potwierdzenie zapisanego wcześniej stwierdzenia, że daleko idące uproszczenia (z jakimi moglibyśmy mieć do czynienia podczas wyboru typu maszyny w sytuacji zastosowania jako jedyne kryterium omiotu) mogłyby spowodować błąd z gatunku tzw. grubych.

Czy zatem w analizowanym przypadku mogło dojść do nieoptymalnego doboru typu maszyn do warunków wietrzności?

Na podstawie posiadanych danych nie można wysunąć takiego wniosku, choć z pewnością istnieją przesłanki, by bliżej przyjrzeć się takiej możliwości (np. poprzez analizę kolejnych danych rocznych) i ewentualnie zapobiec podobnym w przyszłości.

Wydaje się także, że w trakcie procesu inwestycyjnego należy spojrzeć na kwestię doboru typu maszyn z większą aniżeli dotychczas pokazuje praktyka (głównie w zakresie repoweringu) starannością. Z pewnością zwiększenie wydajności elektrowni wiatrowych przysłuży się wtedy i inwestorom i krajowemu bilansowi energetycznemu...

dr inż. Grzegorz Barzyk

e-mail: [grzegorz.barzyk@wp.eu](mailto:grzegorz.barzyk@wp.eu)

<http://barzyk.ps.pl/publikacje.htm/>