

## ENERGIA WIATRU JAKO SZCZEGÓLNE ŹRÓDŁO ENERGII ODNAWIALNEJ

**Autor: Jacek Kiernicki, Grzegorz Bałuka - Instytut Automatyki Systemów Energetycznych Sp. z o.o.**

(„Energetyka” – 10/2009)

Rosnące niezmiennie od wielu lat zapotrzebowanie na energię elektryczną zmusza jej producentów do stałego zwiększania potencjału produkcyjnego przez rozbudowę istniejących i budowę nowych jednostek wytwórczych. Działania te napotyka coraz bardziej restrykcyjne wymagania ekologiczne mające na celu ochronę środowiska przed destrukcyjnymi skutkami tzw. konwencjonalnych źródeł energii elektrycznej. Degradacja środowiska powodowana przez elektrownie ciepłownicze emitujące do atmosfery olbrzymie ilości pyłów i gazów cieplarnianych jak też alarmujące prognozy przewidujące szybkie, w czasie niewiele dziesięcioleci, wyczerpanie kopalnych nośników energii: węgla, gazu i ropy naftowej, zmuszają do poszukiwań innych, bardziej przyjaznych otoczeniu i szeroko dostępnych źródeł energii elektrycznej.

Siłownie jądrowe, wolne od emisji gazów i pyłów są bardzo kosztowne i czas ich budowy trwa wiele lat. Do tego w społeczeństwach wielu krajów zakorzeniona jest obawa przed „atomem”, która znacznie utrudnia podejmowanie decyzji o budowie i samą realizację procesu inwestycyjnego. Niemałym problemem stanowi składowanie odpadów powstałych w czasie pracy tych elektrowni. Ogromne są też koszty ich likwidacji. Wielkie siłownie wodne mogą powstawać tylko tam gdzie są odpowiednie warunki hydrologiczne, a ich budowa ma często bardzo negatywny wpływ na środowisko.

Wolne od negatywnych oddziaływań na środowisko, a do tego praktycznie niewyczerpywalne są źródła energii odnawialnej. Zalicza się do nich generację wiatrową, ogniwa fotowoltaiczne, energię geotermiczną, biomasę, energię pływów morskich. Do grupy tej można również zaliczyć ogniwa paliwowe i helioelektrownie<sup>1)</sup>, których udział w skażeniu środowiska jest minimalny.

Odnawialne źródła energii są dostępne praktycznie wszędzie, choć intensywność ich występowania, a co za tym idzie celowość wykorzystania nie zawsze jest jednakowa. Takie odnawialne źródła energii jak energia pływów czy geotermiczna związane są z położeniem geograficznym i geologicznym, inne zależą od warunków klimatycznych i glebowych.

Rozkład odnawialnych źródeł energii na obszarze Polski i intensywność ich występowania pokazuje Tabela 1.

Tabela 1. Intensywność występowania odnawialnych źródeł energii na obszarze Polski

Województwo		Udział procentowy w odnawialnych źródłach energii			
		Wiatr	Woda	Biomasa	Biogaz
1	Dolnośląskie	0,03	6,8	-	8,5
2	Kujawsko - Pomorskie	10,4	22,3	19,9	7,3
3	Lubelskie	0,05	0,1	1,1	2,2
4	Lubuskie	0,1	12,2	-	1,3
5	Łódzkie	8,0	2,0	-	8,4

6	Małopolskie	0,1	18,6	-	6,4
7	Mazowieckie	1,0	2,3	41,2	11,9
8	Opolskie	0,08	2,7	-	0,4
9	Podkarpackie	2,8	22,0	0,2	5,0
10	Podlaskie	0,5	0,08		3,6
11	Pomorskie	25,1	3,3	36,4	9,8
12	Śląskie	0,4	3,8	0,09	16,1
13	Świętokrzyskie	0,6	0,2	-	2,0
14	Warmińsko - Mazurskie	8,5	1,5	0,3	3,6
15	Wielkopolskie	3,4	2,1	0,6	10,0
16	Zachodniopomorskie	38,4	1,3	-	3,3

Pośród wymienionych źródeł energii odnawialnej specyficzne miejsce zajmuje energia wiatrowa, a rozwój opartej na jej wykorzystaniu energetyki wiatrowej przebiega ze szczególnie dużą dynamiką.

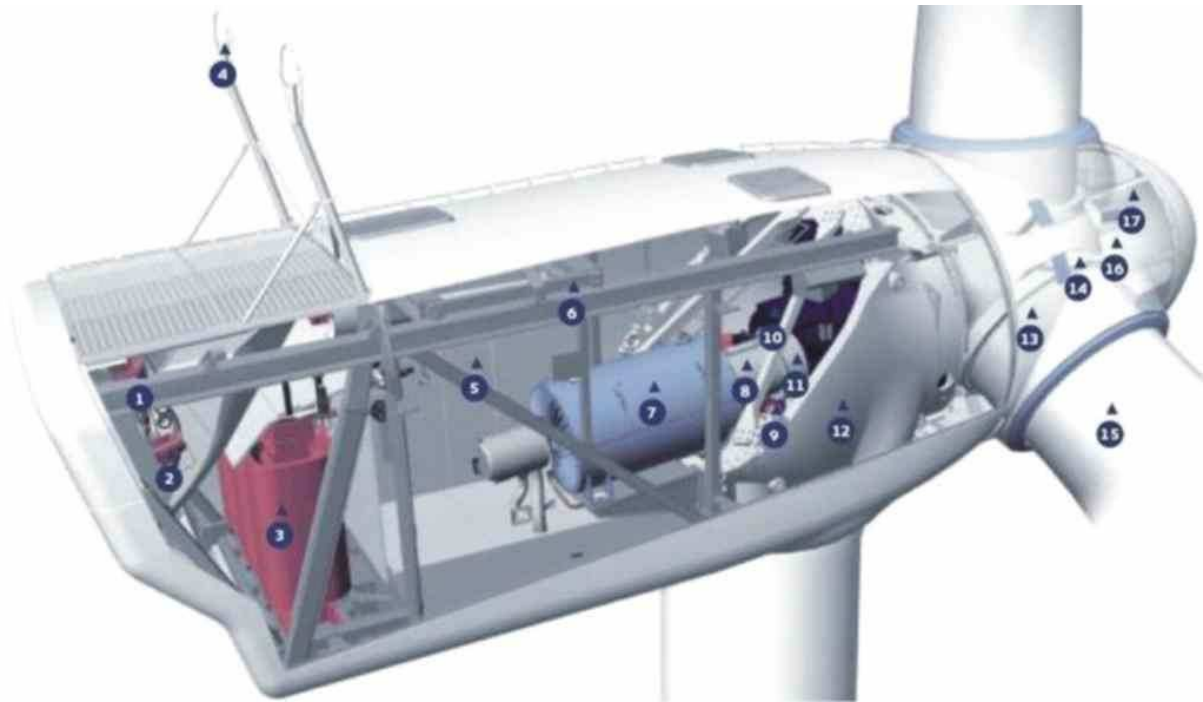
Jak prawie wszystkie rodzaje energii odnawialnych, energia wiatrowa jest pośrednią formą energii słonecznej otrzymywanej przez Ziemię, od 1 do 2 % tej energii jest przetwarzana na energię wiatrową. Niewątpliwą zaletą energii wiatrowej jest jej dostępność na całym prawie obszarze Ziemi. Oczywiście wielkość dostępnej energii wiatrowej nie jest wszędzie jednakowa i różni się dość znacznie. Tak jak złoża kopalnych nośników energii tak i obszary o dużym potencjale energii wiatrowej rozłożone są nierównomiernie, korzystne warunki do eksploatacji energii wiatrowej istnieją zwykle na terenach nadmorskich oraz na rozległych równinach. Pośród krajów europejskich najkorzystniejsze warunki do wykorzystania potencjału energii wiatrowej mają Wielka Brytania i Francja.

Energia wiatrowa przetwarzana jest na energię mechaniczną, służącą bezpośrednio do wykonywania określonych prac lub, co aktualnie jest jej podstawowym zadaniem, do generacji energii elektrycznej.

Elektrownie wiatrowe (turbiny wiatrowe) o mocach od kilkuset kilowatów do 5 czy 6 MW to skomplikowane urządzenia techniczne wyposażone w sprzężone z napędem wiatrowym generatory energii elektrycznej, systemy regulacji prędkości obrotowej napędu i systemy regulacji i kontroli wytwarzanej energii elektrycznej.

Turbina wiatrowa przetwarza energię wiatrową na energię mechaniczną, a następnie na energię elektryczną. Podstawowymi elementami turbiny wiatrowej są: wieża, zwykle o wysokości od kilkudziesięciu do około stu metrów podtrzymująca gondolę i wirnik na wysokości zapewniającej lepsze wykorzystanie wiatru; gondola mieści wewnątrz generator oraz system napędu i regulacji; wprawiany w ruch przez wiatr wirnik zapewnia moment napędowy. Stosowane obecnie turbiny wiatrowe pracują zwykle przy prędkościach wiatru od 3 m/s (prędkość startowa) do 25 m/s, przy wiatrach silniejszych turbina jest automatycznie wyłączana, a kąt natarcia łopat ustawiany w bezpiecznej pozycji.

Rys.1 przedstawia przekrój gondoli turbiny wiatrowej firmy Vestas Wind Systems, z widokiem na poszczególne zespoły napędowe i regulacyjne.



Rys.1. Przekrój gondoli turbiny wiatrowej firmy Vestas Wind Systems A/S

- 1-system chłodzenia. 2- system chłodzenia generatora. 3- transformator. 4-wiatromierz i wiatrowskaz ultradźwiękowy.  
 5-regulator VMP z przetwornikiem. 6-suwnica. 7-generator. 8- sprzęgło. 9- silnik kierunkowy. 10-multiplikator prędkości  
 11-hamulec mechaniczny. 12-korpus gondoli. 13- łożysko łopat. 14-piasta. 15- łopaty. 16. dźwignia regulacji poskoku.  
 17-regulator piasty.

Moc jednostkowa turbiny wiatrowej w porównaniu z mocami turbozespołów dużych elektrowni ciepłych czy wodnych osiągających rząd kilkuset, czy nawet ponad 1000 MW jest mała, ale wytwarzana przez nią energia nie jest obciążona grzechem degradacji środowiska, a zużyta energii pierwotnej nie ubywa. Dla uzyskania większych efektów energetycznych i ekonomicznych zarazem tworzy się w miejscach o korzystnych warunkach wiatrowych tzw. farmy wiatrowe gromadzące większą liczbę turbin. Moc całkowita takiej farmy wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset megawatów.

Zalety energii wiatrowej sprawiają, że spośród wszystkich źródeł energii odnawialnych ona znalazła największe zastosowanie i na jej rozwój przeznaczają się największe środki.

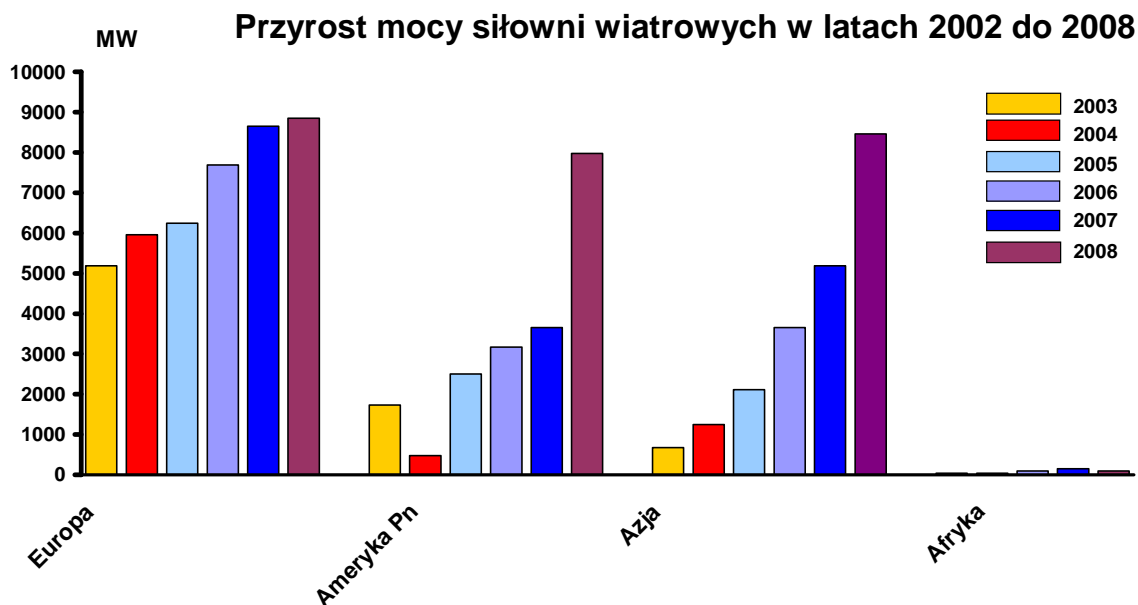
Na dzień 31 grudnia 2008 moc całkowita zainstalowanych w świecie elektrowni wiatrowych wyniosła 120 800 MW. W przedziale lat 2007 – 2008 przyrost zainstalowanych mocy wyniósł 36,2 % w stosunku do przedziału lat 2006 – 2007. Według przewidywań<sup>1)</sup> całkowita moc zainstalowana elektrowni wiatrowych świecie osiągnie w roku 2010 wielkość 186 400 MW.

Wśród krajów o największej dynamice rozwoju siłowni wiatrowych latach 2007 – 2008 znajdują się: USA z przyrostem 8 358 MW (30,9%), Chiny z przyrostem 6 300 MW (23,3%) i Indie z przyrostem 1 800 MW (6,7%).

<sup>1)</sup> Global Wind Energy Council

Dynamikę przyrostu mocy zainstalowanych elektrowni wiatrowych na poszczególnych kontynentach w latach 2003 – 2008 pokazuje Rys.2<sup>2)</sup>.

W Tabeli 2 przedstawiono dynamikę wzrostu mocy instalacji siłowni wiatrowych w 5 przodujących w tej dziedzinie krajach świata latach 2001 – 2008, największe przyrosty wystąpiły w latach 2007 – 2008. Zgodnie z prognozami Global Energy Council przyrosty mocy zainstalowanej w latach 2008 – 2009 i 2009 – 2010 będą jeszcze większe.



Rys. 2. Roczne przyrosty mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych latach 2003 – 2008 w rejonie Europy, Ameryki Północnej, Azji i Afryki

Tabela 3 pokazuje stan zaawansowania krajów Unii Europejskiej w budowie siłowni wiatrowych. Na czele znajdują się dwa kraje Niemcy i Hiszpania, które znacznie wyprzedzają wszystkie pozostałe.

Należy się jednak spodziewać, że mające duże potencjały energii wiatrowej i jednocześnie wsparcie władz Wielka Brytania i Francja wkrótce dołączą do liderów.

W chwili obecnej Polska z 553 MW mocy zainstalowanej w siłowniach wiatrowych i udziale generacji wiatrowej w krajowym zużyciu energii elektrycznej rzędu 0,51% odstaje daleko od europejskiej czołówki, ale biorąc pod uwagę duży potencjał rozwojowy i przyjazne trendy należy spodziewać się, że ten dystans zostanie wkrótce zmniejszony. Według planów rządowych w roku 2010 całkowita moc siłowni wiatrowych zainstalowanych w Polsce wyniesie 2000 MW, a udział generacji wiatrowej w całkowitym bilansie energetycznym osiągnie 2,3%.

<sup>2)</sup> Global Wind Energy Council

Tabela 2. Dynamika przyrostu mocy zainstalowanej siłowni wiatrowych w 5 zajmujących czołowe pozycje krajach świata w latach od 2001 do 2008

Kraj	Moc całkowita zainstalowanych siłowni wiatrowych w latach 2001 – 2008, w MW							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
USA	4245	4674	6361	6750	9149	11603	16818	25170
Niemcy	8743	11968	14612	16649	18428	20622	22247	23903
Hiszpania	3550	5043	6420	8263	10027	11615	15145	16754
Chiny	406	473	571	769	1267	2604	6050	12210
Indie	1456	1702	2125	3000	4430	6270	8000	9600

(wg Global Wind Energy Council)

Tabela 3. Moc całkowita siłowni wiatrowych zainstalowanych krajach Unii Europejskiej (na koniec roku 2008), w MW

Poz.	Kraj	Moc zainst.	Poz.	Kraj	Moc zainst.
1	Niemcy	23 903	14	Belgia	384
2	Hiszpania	16 740	15	Bułgaria	158
3	Włochy	3 736	16	Czechy	150
4	Francja	3 404	17	Finlandia	143
5	Wielka Brytania	3 241	18	Węgry	127
6	Dania	3 180	19	Estonia	78
7	Portugalia	2 862	20	Litwa	54
8	Holandia	2 225	21	Luksemburg	35
9	Szwecja	1 021	22	Łotwa	27
10	Irlandia	1 002	23	Rumunia	10
11	Austria	995	24	Słowacja	3
12	Grecja	985	25	Cypr	0
13	Polska <sup>*)</sup>	472	26	Słowenia	-

(wg World Wind Energy Association)

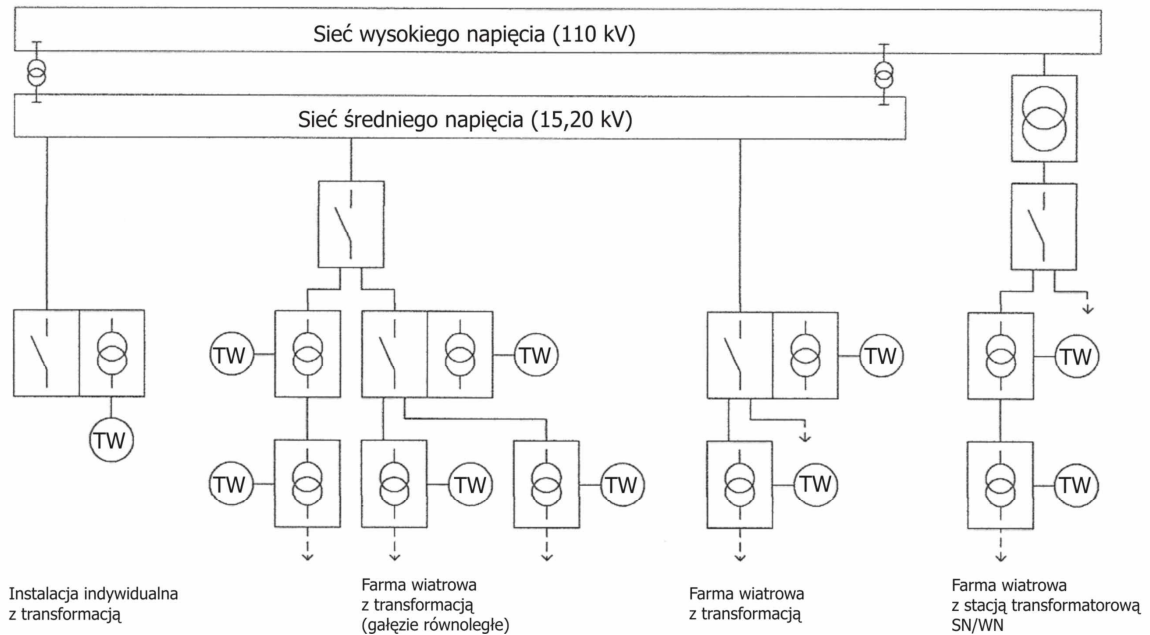
\*) na dzień 30.06.2009 całkowita moc siłowni wiatrowych zainstalowanych w Polsce wynosi 553 MW

Siłownie wiatrowe wykorzystywane są zarówno do zasilania obszarów izolowanych pozbawionych połączeń z siecią elektroenergetyczną jak i do pracy równoległej z siecią elektroenergetyczną średniego i wysokiego napięcia. Siłownie współpracujące z siecią elektroenergetyczną grupowane są zwykle w farmach wiatrowych liczących kilka, kilkanaście czy kilkadziesiąt jednostek. Moc farmy wiatrowej rzędu kilkudziesięciu lub kilkuset MW odpowiada wtedy mocy średniej wielkości elektrowni konwencjonalnej.

Punkt przyłączenia farmy wiatrowej do krajowej sieci elektroenergetycznej jest definiowany przez operatora sieci po sprawdzeniu kryteriów przyłączenia. Kryteria przyłączenia zależą od obowiązujących norm i przepisów oraz od parametrów sieci, do której farma miałaby być przyłączona. Te ostatnie dotyczą przede wszystkim poziomu napięcia i częstotliwości oraz mocy zwarciowej i kąta fazowego zwarcia. Kryteria przyłączenia pozwalają na sprawdzenie czy przyłączenie farmy wiatrowej nie wywoła w sieci niepożądanych zmian poziomu napięcia w stanach stacjonarnych i przy zmianach obciążenia, nie wprowadzi niedopuszczalnych

wahań napięcia i zakłóceń harmonicznych oraz nie spowoduje konieczności dostosowania przepustowości linii i transformatorów do nowych wartości prądów obciążenia i prądów zwarciovych. Farmy wiatrowe o dużych mocach przyłączane są zwykle do sieci 110 kV.

Rys.3 przedstawia stosowane sposoby przyłączania farm wiatrowych do sieci średniego i wysokiego napięcia. Ponieważ wielkość napięcia generatorowego turbiny wiatrowej zawiera się zwykle w granicach 400 V do 690 V do połączenia z siecią elektroenergetyczną SN konieczne jest stosowanie podwyższających transformatorów sprzęgających nN/SN, a do połączenia z siecią 110 kV konieczna jest dodatkowa transformacja SN/110 kV.



Rys.3 Sposoby przyłączania farm wiatrowych do sieci średniego i wysokiego napięcia (wg. NXX-4-grid-connection)

Energia wiatrowa jako źródło energii elektrycznej ma niestety sporo poważnych wad wynikających przede wszystkim z losowego, praktycznie niedającego się przewidzieć, charakteru. Zmienność prędkości i siły wiatru rzutuje na ilość i ciągłość wytwarzanej energii elektrycznej. Turbina wiatrowa o mocy 2 MW dostarcza w ciągu roku przeciętnie 4 400 MWh czyli jej moc znamionowa jest wykorzystywana zaledwie w 25% tj. znacznie mniej niż w przypadku źródeł konwencjonalnych.

Produkcja energii elektrycznej przez siłownie wiatrowe - farmy lub indywidualne turbiny - uzależniona jest bezpośrednio od warunków meteorologicznych, dlatego dla operatorów systemów elektroenergetycznych tak ważne są prognozy dotyczące siły i czasu występowania korzystnych dla wytwarzania energii wiatrów. Niepewność co do ilości i okresu doby dostarczanej przez siłownie wiatrowe energii elektrycznej bardzo utrudnia i komplikuje ich współpracę z systemem energetycznym. Operatorzy systemów przesyłowych i dystrybucyjnych chcąc wykorzystać w sposób maksymalny dostawę energii elektrycznej z siłowni wiatrowych, bilansując przepływy energii elektrycznej w sieci, muszą ustawicznie regulować poziom produkcji elektrowni podstawowych, co nie jest proste i łączy się z dodatkowymi kosztami.

Zgodnie z przewidywaniami, do roku 2020 udział energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii ma osiągnąć poziom 20%. Wiąże się to z zastąpieniem znacznej liczby konwencjonalnych źródeł energii źródłami odnawialnymi, w których energia wiatrowa będzie miała szczególnie duży udział. Realizacja programu wymagać będzie nie tylko odpowiednich nakładów na budowę nowych i rozbudowę istniejących siłowni wiatrowych, ale też niemałych nakładów na dostosowanie systemu elektroenergetycznego do współpracy z nowymi źródłami.

Ze względu na specyficzny, uzależniony od warunków atmosferycznych, charakter pracy siłowni wiatrowych konieczne też będzie znalezienie technicznych i uzasadnionych ekonomicznie metod pozwalających na magazynowanie energii w okresach jej nadprodukcji i wykorzystanie zgromadzonych zapasów dla pokrycia przyszłego deficytu.

---

## **Energia wiatru jako szczególne źródło energii odnawialnej”.**

### Streszczenie

W artykule dokonano przeglądu zagadnień związanych z wykorzystaniem energii wiatrowej jako głównego źródła pozyskania energii odnawialnej (OZE). Przedstawiono poziomy produkcji energii elektrycznej opartej na wykorzystaniu siły wiatru w krajach będących światowymi liderami w tej dziedzinie. Zaprezentowano dynamikę wzrostu wykorzystania energii wiatru w tych krajach. Zwrócono uwagę na niektóre problemy związane z wykorzystaniem uzyskiwanej z wiatru energii elektrycznej.

## **Wind Energy as a Main Source of Renewable Energy**

### Abstract

The paper contains review of topics of the farms of windmills, treated as the main source for acquiring energy from Renewable Energy Sources. It presents also total production of electric energy based on wind power attained in the countries which are the leaders in this area. The dynamics its growth in these countries is shown. The paper presents some problems associated with wind energy application.