

## Energetyka wiatrowa Aktualne trendy rozwoju w Polsce

### Wind power industry Actual development trends in Poland

Istotny wpływ energetyki wiatrowej na funkcjonowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego stał się w roku 2012 faktem. W ubiegłym roku nastąpiło przekroczenie bariery 2000 MW mocy zainstalowanej w zlokalizowanych w Polsce siłowniach wiatrowych (tab. 1 i 2). Przyrost mocy zainstalowanej według danych Urzędu Regulacji Energetyki (na podstawie udzielonych koncesji na wytwarzanie energii elektrycznej) w końcu roku 2012, w stosunku do jego początku, był równy 880 MW, co stanowi ponad 50% poziomu wyjściowego. Energetyka wiatrowa pod względem mocy zainstalowanej jest największą pozycją w kategorii odnawialnych źródeł energii (OZE) zasilających KSE w energię elektryczną. Łączna moc zainstalowana w siłowniach wiatrowych już wcześniej stała się wyższa od łącznej mocy elektrowni wodnych.

Tabela 1

Elektrownie i elektrociepłownie odnawialne,  
stan na koniec roku 2011

Rodzaj instalacji	Liczba	Łączna moc, MW
Elektrownie biogazowe	171	103 487
Elektrownie fotowoltaiczne	6	1 124
Elektrownie wodne	746	951 389
Elektrownie biomasowe	19	409 679
Elektrownie wiatrowe	526	1 616 361
Instalacje współspalania (biomasy)	47	-

Źródło: URE

Tabela 2

Elektrownie i elektrociepłownie odnawialne,  
stan na koniec roku 2012

Rodzaj instalacji	Liczba	Łączna moc, MW
Elektrownie biogazowe	199	131 247
Elektrownie fotowoltaiczne	9	1 289
Elektrownie wodne	770	966 103
Elektrownie biomasowe	27	820 700
Elektrownie wiatrowe	696	2 496 748
Instalacje współspalania (biomasy)	43	-

Źródło: URE

Powyższe fakty skutkują w oczywisty sposób istotnym oddziaływaniem na funkcjonowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Jest to związane z udziałem mocy zainstalo-

wanej w stosunku do łącznej mocy zainstalowanej w Systemie (przekroczono barierę udziału 5% mocy), uznawaną zwyczajowo za graniczną wartość mocy pojedynczego bloku energetycznego dla bezpieczeństwa funkcjonowania systemów elektroenergetycznych.

Moc zainstalowana w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w końcu III kwartału roku 2012, według danych ARE, była równa 38 116 MW, z tego 2386,7 MW w siłowniach wiatrowych. Jak z tego wynika, udział mocy zainstalowanej w siłowniach wiatrowych był równy w tym momencie już około 6,3% całej mocy zainstalowanej w KSE.

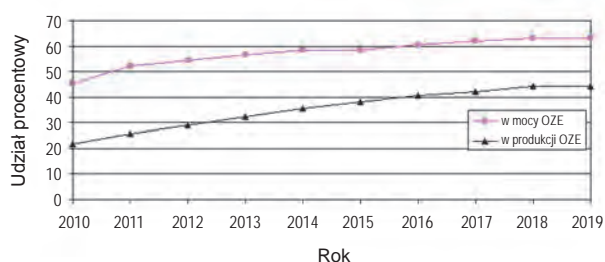
#### Plany rozwoju energetyki wiatrowej

Dominujące źródło energii odnawialnej generowanej w Polsce stanowi biomasa. Udział w mocy zainstalowanej jest tu trudny do jednoznacznego określenia ze względu na powszechne stosowanie instalacji współspalania w dużych blokach energetycznych. Udział w generacji jest wysoki ze względu na duży w porównaniu z elektrowniami wiatrowymi czas wykorzystania mocy zainstalowanej. Znaczący udział przypada jednak także na energetykę wiatrową. Krajowa produkcja energii elektrycznej osiągnęła w roku 2011 poziom 163 550 TWh ogółem, z tego 3,2 TWh przypadło na elektrownie wiatrowe (1,5% energii elektrycznej wygenerowanej w roku 2011). Według założeń zapisanych w Pakiecie Energetyczno-Klimatycznym, na podstawie których zbudowano z kolei założenia Polityki Energetycznej Polski do roku 2030 [1] udział energii ze źródeł odnawialnych w ostatecznym zużyciu energii w 2020 r. powinien w Polsce osiągnąć poziom 15%. Przekłada się to w [1] na prognozowany udział energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej wynoszący około 19,3% w roku 2020. Realizacja ścieżki dojścia do tego celu jest monitorowana oraz prognozowana w kolejnych raportach przygotowywanych przez Ministerstwo Gospodarki [2, 3]. Jak wynika z porównania danych z tabel 1, 2 i 3 moc zainstalowana w źródłach wiatrowych przekraczała zauważalnie na koniec ostatnich dwóch lat poziom zaplanowany wcześniej, choć produkcja okazała się zbliżona do zakładanej. W poprzednich latach istniały obawy o dotrzymanie planów rozwoju w zakresie energetyki wiatrowej.

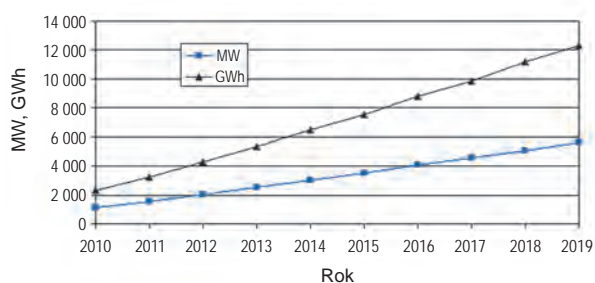
Moc zainstalowana oraz produkcja energii elektrycznej z OZE, prognozowane w [3], w tym z energetyki wiatrowej do roku 2019

Rok	Ogółem moc i produkcja OZE			Wiatrowa ogółem		Biomasa ogółem	
	% elektroenergetyka	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
2010	7,53	2 433	10 618	1 100	2 310	380	6 028
2011	8,85	2 963	12 678	1 550	3 255	450	7 110
2012	10,19	3 704	14 845	2 010	4 308	720	8 192
2013	11,13	4 444	16 478	2 520	5 327	940	8 774
2014	12,19	5 204	18 338	3 030	6 491	1 180	9 438
2015	13,00	6 074	19 875	3 540	7 541	1 530	9 893
2016	13,85	6 704	21 605	4 060	8 784	1 630	10 348
2017	14,68	7 385	23 374	4 580	9 860	1 780	11 008
2018	15,64	8 065	25 416	5 100	11 210	1 930	11 668
2019	16,78	8 895	27 828	5 620	12 315	2 230	12 943

Prognozowany według [3] rozwój produkcji energii elektrycznej z siłowni wiatrowych zilustrowano na rysunkach 1 i 2 oraz podano w tabeli 3. Można zauważyć, że prognozowany przyrost mocy zainstalowanej oraz produkcji energii jest blisko trzykrotny w stosunku do zakładanego na koniec roku 2012. Jak wynika z rysunku 1, w [3] przyjęto, że udział energetyki wiatrowej, zarówno w mocy zainstalowanej jak i generacji z OZE, ma mieć tendencję rosnącą. W końcu dekady około 44% energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii pochodzić powinno z siłowni wiatrowych. Przy rosnącym ogólnym udziale energii generowanej na potrzeby KSE ze źródeł odnawialnych, udział energetyki wiatrowej ma charakteryzować się silną tendencją wzrostową.



Rys. 1. Udział procentowy energii z siłowni wiatrowych w prognozowanej według [3] mocy zainstalowanej OZE oraz energii elektrycznej generowanej ze źródeł odnawialnych do roku 2019



Rys. 2. Prognozowana według [3] moc zainstalowana źródeł wiatrowych oraz produkcja energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych do roku 2019

### Charakter zmienności w czasie produkcji energii elektrycznej z siłowni wiatrowej

W siłowni wiatrowej następuje proces przetwarzania energii poruszającego się powietrza na energię mechaniczną, a następnie elektryczną. Teoretyczna chwilowa moc możliwa do uzyskania z tego strumienia opisana jest zależnością:

$$N_w(t) = 0,5(\rho S v(t)^3)$$

gdzie:

- $\rho$  – gęstość powietrza (zależna od warunków atmosferycznych, ciśnienia i temperatury),
- $S$  – powierzchnia przekroju strumienia,
- $v(t)$  – prędkość (zmienna w funkcji czasu t).

Zgodnie z powyższą zależnością moc możliwa do odebrania od strumienia powietrza jest proporcjonalna do prędkości wiatru w potęgze trzeciej. Jak z tego wynika, nawet niewielka zmiana prędkości wiatru skutkuje istotną zmiennością uzyskiwanej z turbiny mocy. Średnią moc uzyskiwaną ze strumienia powietrza można próbować wyznaczyć jako funkcję uśrednionej wartości trzeciej potęgi prędkości chwilowej wiatru:

$$\overline{N_w(t)} = 0,5(\rho S \overline{v(t)^3})$$

Tak wyznaczona średnia jest zawsze większa bądź równa trzeciej potęgze wartości średniej:

$$\overline{v(t)^3} \geq (\overline{v(t)})^3$$

Zależność tę łatwo można zobrazować obliczając średnią moc strumienia dla dwóch mas powietrza: poruszającej się ze stałą prędkością  $v$  i takiej, w której prędkość w pierwszej połowie pomiaru wynosi  $0$ , natomiast w drugiej  $2v$ . Ważona po czasie średnia arytmetyczna prędkość w obu przypadkach okazuje się jednakowa, natomiast uzyskiwana moc chwilowa różni się ośmiokrotnie. Wygenerowana energia jest w drugim przypadku wyższa czterokrotnie. Jak z tego wynika, w celu obliczenia mocy nie wystarczy jedynie wyznaczenie średniej prędkości wiatru. Konieczne jest określenie sposobu jego zmienności, czyli lokalnej natury wiatru.

Gęstość prawdopodobieństwa wystąpienia wiatrów o danej prędkości (histogram prędkości) wyznacza się standardowo na podstawie dwuparametrycznego rozkładu Weibulla:

$$f(v) = \frac{k}{\gamma} \left(\frac{v}{\gamma}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{\gamma}\right)^k}$$

gdzie:

$v$  – zmienna reprezentująca prędkość wiatru,

$k$  – parametr kształtu,

$\gamma$  – parametr skali.

Przybliżony wykres rozkładu prawdopodobieństwa powstaje na bazie pomiaru z godzin, w których średnio w ciągu roku wieje wiatr zawierający się w pewnym przedziale prędkości. Dokładnie w taki sam sposób można się nim posłużyć w celu odczytania przez ile godzin będzie wiał wiatr o danej prędkości.

Zmienność rozumianą jako rozrzut pomiarów prędkości wiatru w kontekście rozkładu Weibulla określana jest przez parametr  $k$ . Dla  $k \approx 1$  rozkład jest bardzo spłaszczony, a prawdopodobieństwo wystąpienia wiatrów o różnej prędkości duże. Wraz ze wzrostem  $k$  rośnie prawdopodobieństwo występowania prędkości wiatru mieszczącej się w wąskim przedziale, co reprezentuje charakterystyczny pik na rozkładzie. Parametr  $k$  wyraża tym samym zmienność wiatru, a więc ma wpływ na średnią moc strumienia wiatru. Jak podano w [4] wartość  $k$  w warunkach polskich zawiera się w granicach 1,2 – 2,2.

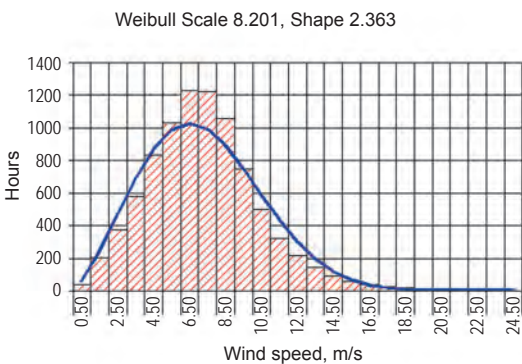
Kolejnym czynnikiem charakteryzującym zmienność wiatru jest jego kierunek. Turbina wiatrowa, aby wykorzystać energię wiatru w sposób możliwie bliski optymalnego, powinna cechować się zdolnością dostosowania do zmian kierunku przepływu powietrza. Przykładowe wyniki badań zmienności wiatru dla jednej z rozważanych lokalizacji elektrowni wiatrowej na terenie Mazowsza przedstawiono na rysunku 3 (według [6]) - histogram prędkości oraz, na jego tle, rozkład Weibulla, a także na rysunku 4 - (róża wiatrów).

Na powyższą zmienność możliwej do pozyskania ze strumienia wiatru mocy nakładają się charakterystyki przetwarzających energię wiatru siłowni. Zdolność generacyjna zmienia się tu w funkcji prędkości wiatru w sposób prezentowany na rysunku 5 dla kilku przykładowych turbin.

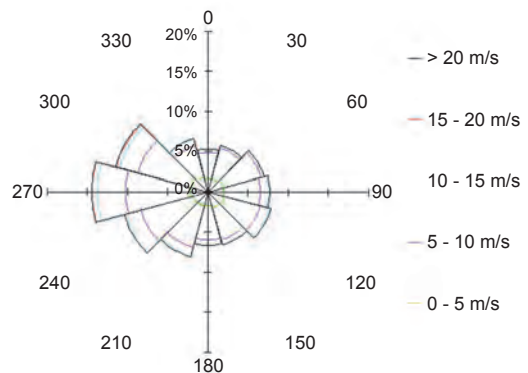
Charakterystycznymi punktami są tu:

- punkt startu (Cut on), prędkość wiatru, przy której elektrownia zaczyna pracować,
- punkt wyłączenia (Cut off) określający prędkość wiatru, dla której elektrownia zostaje zatrzymana przy zbyt silnym wietrze,
- punkt mocy znamionowej, prędkość wiatru, dla której elektrownia osiąga swoją moc znamionową.

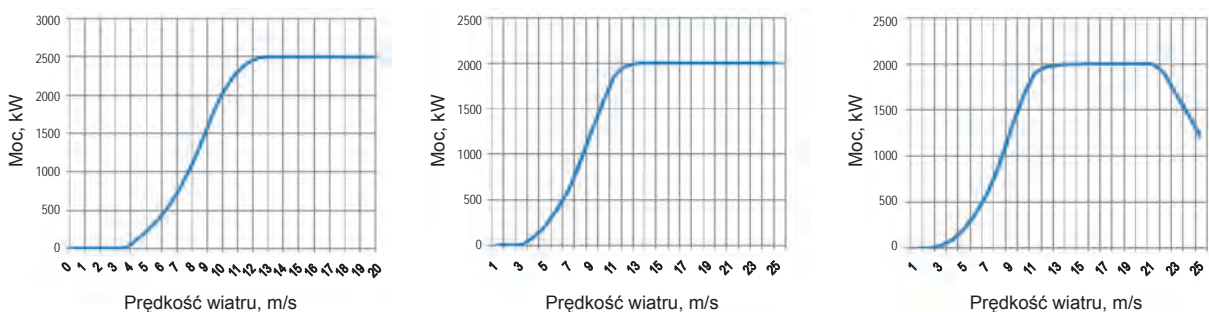
Przykład zmienności mocy generowanej przez zainstalowaną oraz generującą energię elektryczną turbinę wiatrową przedstawiono na rysunku 6. Dotyczy on przedziału czasu kilkunastu godzin, przy archiwizacji mocy chwilowej z dużą częstotliwością (przebieg czasu na osi poziomej w sekundach).



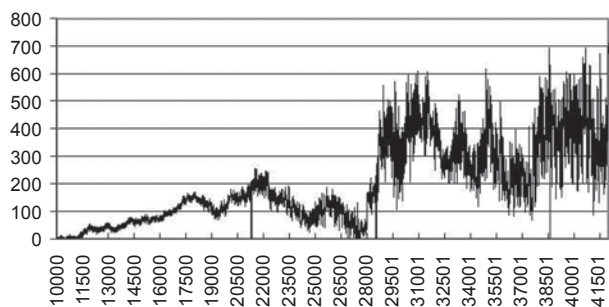
Rys. 3. Histogram prędkości wiatru oraz rozkład Weibulla na wysokości 100 m nad poziomem gruntu [6]. Przykładowy wynik badania dla jednej z rozważanych lokalizacji elektrowni wiatrowej na terenie Mazowsza



Rys. 4. Częstościowa róża wiatrów na wysokości 100 m nad poziomem gruntu [6]. Wynik badania dla lokalizacji identycznej jak dla rysunku 3



Rys. 5. Charakterystyki ilustrujące zmienność mocy w funkcji prędkości wiatru dla przykładowych elektrowni wiatrowych



Rys. 6. Przykład historii zmian obciążenia w okresie kilkunastu godzin, kW. Turbina wiatrowa o umiarkowanej mocy 0,8 MW

## Analiza zmienności pracy siłowni wiatrowych w KSE

Równoległa praca wielu turbin zasilających równocześnie Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE), mimo zróżnicowania lokalnych warunków wietrzności, charakteryzuje się również wysoką dynamiką. Źródłem informacji syntetycznej dla skali krajowej są dane dotyczące generacji źródeł wiatrowych, publikowane na stronie internetowej *PSE-Operator S.A.* Dane historyczne można pozyskać w postaci sumarycznej produkcji źródeł wiatrowych, z rozdzielczością godzinową. Na ich podstawie sporządzono wykresy ilustrujące zmienność produkcji elektrowni wiatrowych. Sumaryczna produkcja godzinowa odpowiada wartościom średniej mocy generowanej w danej godzinie przez źródła krajowe łącznie.

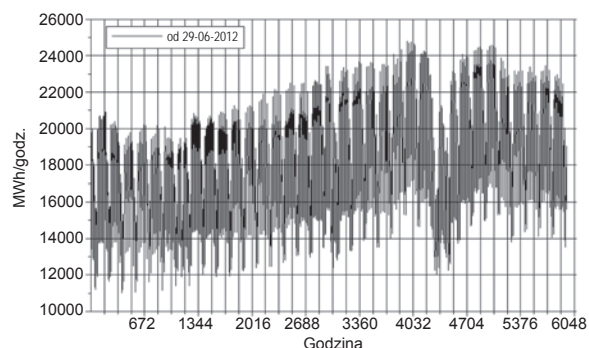
Na rysunku 7 przedstawiono zmiany zapotrzebowania KSE na moc, w okresie od końca (29) czerwca roku 2012 do dnia 3 marca roku 2013. Analizowany okres obejmuje 5953 godziny pracy systemu (jedna godzina należy do wydłużonej doby w okresie zmiany czasu z letniego na zimowy). Na skali czasu przedstawiono jego upływ mierzony w godzinach od początku pierwszej analizowanej doby. Podziałka w układzie 168 godzin odpowiada liczbie godzin w tygodniu. Minimalne średniogodzinowe zapotrzebowanie na moc odnotowane w tym okresie było równe 11 011 MW, zaś maksymalne - 24 895 MW. Zmiany zapotrzebowania funkcjonują w charakterystycznym cyklu dobowym, tygodniowym, z wyraźnymi spadkami w okresie weekendowym.

Nieco bardziej wyraźnie jest to widoczne przy zestawieniu na tym samym wykresie danych z krótszego okresu. Na rysunku 8 przedstawiono zmiany zapotrzebowania KSE na moc w okresie od 21 grudnia 2012 do 3 marca 2013. Skala czasu obejmuje ten sam zestaw godzinowy wyrażony wartościami liczbowymi, co na rysunku 7. Chwila czasowa 4201 godzin odpowiada początkowi doby 21 grudnia 2012 (godzina 0-1). Ten dzień to piątek. Kolejne 168-godzinne odcinki oznaczają na wykresie następujące po sobie tygodnie. Wyraźny okres spadku zapotrzebowania na moc w pierwszym tygodniu odpowiada terminowi Świąt Bożego Narodzenia, w kolejnym tygodniu – okresowi noworocznemu. W dalszych tygodniach nieco mniejsze wahania odpowiadają kolejnym weekendom.

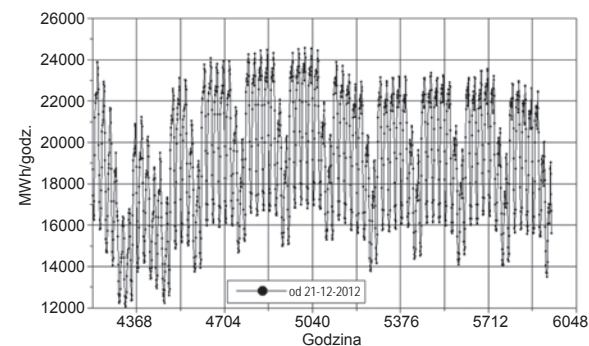
Okres zimowy związany jest w warunkach krajowych z najwyższym poziomem zapotrzebowania na energię elektryczną. Jest to w znacznym stopniu skorelowane z warunkami pogodowymi (temperatura powietrza, wiatr). Jak można zauważyć na rysunkach 7 i 8, spadek zapotrzebowania w okresie świątecznym okazał się w ostatnim roku znacznie silniejszy od związanego

z sezonem wakacyjnym w lecie 2012. Okres najwyższego zapotrzebowania na moc przypadł w analizowanym przedziale czasu na przełom listopada i grudnia – okres silnych mrozów.

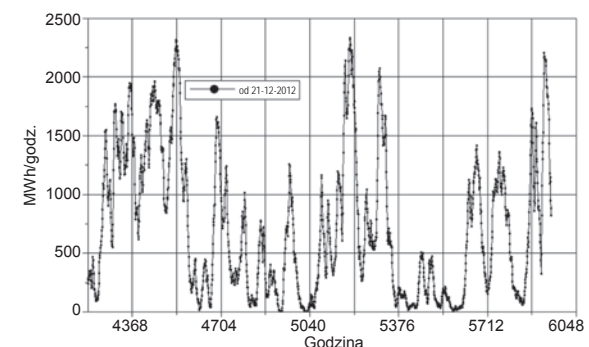
Na rysunku 9 przedstawiono dla tego samego okresu, co ilustrowany na rysunku 8 generację średniogodzinową energii ze źródeł wiatrowych. Najniższa moc oddawana przez te źródła w Polsce w czasie od 21 grudnia 2012 do 3 marca 2013 wyniosła 5,54 MW, najwyższa 2332,6 MW. Moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych na początku tego okresu to, zgodnie z danymi przytoczonymi wcześniej, ponad 2400 MW. Uwagę zwraca, że najwyższa generacja energii elektrycznej z siłowni wiatrowych, na poziomie mocy sięgającym 2300 MW, miała miejsce w okresach nocnych. Charakterystyczne jest także, że kilkakrotnie produkcja energii z tych źródeł praktycznie się wyzerowała, zaś amplituda wahań w krótkich okresach czasu kilkakrotnie sięgała poziomu 2000 MW.



Rys. 7. Zmiany zapotrzebowania na moc w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w Polsce, okres od 29 czerwca 2012 do 3 marca 2013

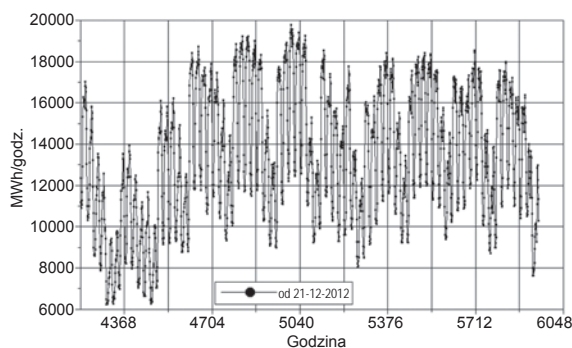


Rys. 8. Zmiany zapotrzebowania na moc w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w Polsce, okres od 21 grudnia 2012 do 3 marca 2013



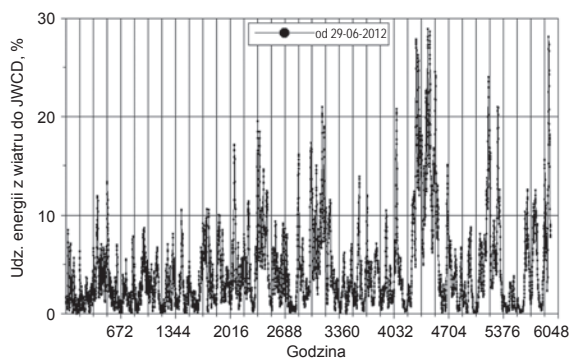
Rys. 9. Zmiany mocy generowanej przez elektrownie wiatrowe zainstalowane w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w Polsce, okres od 21 grudnia 2012 do 3 marca 2013.

Operator Systemu Przesyłowego wyróżnia w systemie dwie zasadnicze kategorie źródeł: Jednostki Wytwórcze Centralnie Dysponowane (JWCD), w odniesieniu do których posiada możliwości wpływu na poziom generowanej przez nie mocy. Te jednostki stanowią więc o możliwościach regulacyjnych systemu. Osobną kategorię stanowią jednostki niedysponowane centralnie. Do niej zaliczają się w głównej mierze źródła energetyki rozproszonej, także (nawet duże) elektrownie wiatrowe. Na rysunku 10 przedstawiono sumaryczną średniogodzinową generację JWCD w realizacji zapotrzebowania KSE w okresie identycznym jak na rysunkach 8 i 9. Najniższa generowana przez JWCD moc w analizowanym okresie sięgała zaledwie poziomu 6236 MW. Niska moc odbierana z tych źródeł związana była przede wszystkim z okresem świątecznym i noworocznym. Maksymalne średniogodzinowe obciążenie Jednostek Dysponowanych Centralnie wyniosło w analizowanym przedziale czasu 19 769 MW.



Rys. 10. Sumaryczna, średniogodzinowa generacja JWCD w realizacji zapotrzebowania KSE, okres od 21 grudnia 2012 do 3 marca 2013

Interesujące jest, jak się wydaje, zestawienie relacji pomiędzy mocą oddawaną do systemu przez Jednostki Dysponowane Centralnie w porównaniu z generowaną z siłowni wiatrowych. Dokonano tego na rysunku 11 – dla takiego samego okresu jak na rysunku 7. Przedstawiono tu moc (średniogodzinową) elektrowni wiatrowych w odniesieniu do mocy JWCD. Jak można zauważyć w okresie świąteczno-noworocznym, przy stosunkowo niskim poziomie mocy generowanej centralnie, siłownie wiatrowe wytwarzały chwilami moc na poziomie zbliżonym do 30% generowanej przez JWCD. Podobna sytuacja miała miejsce w końcu analizowanego przedziału czasu.



Rys. 11. Stosunek energii generowanej w elektrowniach wiatrowych do energii wytwarzanej przez JWCD, okres od 29 czerwca 2012 do 3 marca 2013

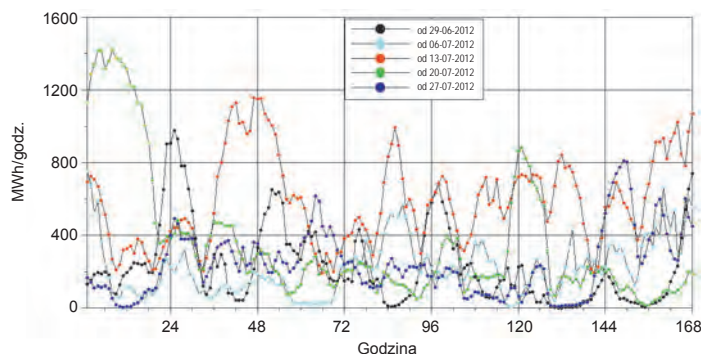
Amplituda wahań tego udziału w krótkich okresach sięgała, a nawet przekraczała, 20% tej mocy.

Zwraca uwagę silne narastanie poziomu maksymalnego zdolności generacyjnych siłowni wiatrowych, które skutkuje, wraz z upływem czasu, coraz większym ich wpływem na bilans KSE. W tym przypadku nałożyły się na siebie dwa czynniki: znaczący przyrost mocy zainstalowanej siłowni wiatrowych oraz intensyfikacja wietrzności w sezonie zimowym.

Ujmując to innymi słowami można stwierdzić, że w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym „pojawiała się” i „znikała” elektrownia o mocy 2000 MW, a więc duża elektrownia systemowa – z pełną mocą majątku wytwórczego.

Dla Operatora stanowi to poważne wyzwanie. Skutkiem jest silny wzrost dynamiki pracy elektrowni systemowych. Należy przypomnieć, że podstawę KSE w zakresie JWCD tworzą elektrownie ciepłe opalane węglem kamiennym, wrażliwe na dynamikę obciążenia. Ich eksploatacja w warunkach wymuszania silnej zmienności mocy oddawanej przez poszczególne bloki skutkować będzie nie tylko obniżeniem efektywności, ale również trwałości, co najmniej poprzez skrócenie okresów międzyremontowych. Poza elektrowniami szczytowo-pompowymi i niektórymi elektrowniami wodnymi praktycznie brakuje w warunkach krajowych źródeł budowanych z myślą o pracy szczytowej.

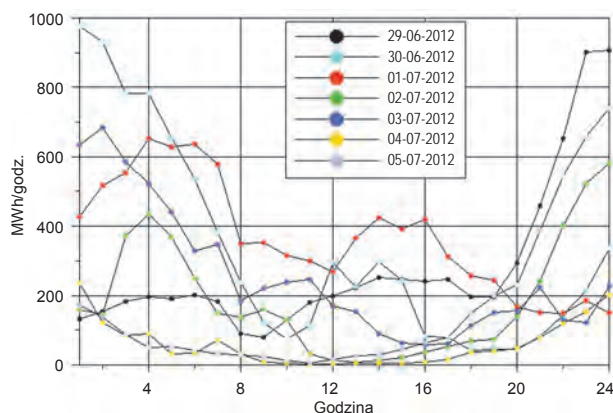
Innym interesującym aspektem związanym z dynamiką generacji energii przez siłownie wiatrowe jest związek poziomu ich mocy z porą doby i tygodnia. Na rysunku 12 widoczne jest zestawienie



Rys. 12. Zmienność mocy generowanej przez elektrownie wiatrowe zainstalowane w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym, wybranych 5 tygodni z okresu letniego w roku 2012

dla pięciu wybranych tygodni okresu letniego (lipiec), ilustrującą zmienność mocy generowanej przez krajowe elektrownie wiatrowe. Każda z linii prezentowanych na wykresie odpowiada okresowi pełnego tygodnia. Każdy z tych okresów rozpoczyna się od piątku (godz.0-1). Pionowe linie siatki reprezentują na rysunku porę północy w kolejnych dobach. Daje się zauważyć silne zróżnicowanie charakteru zmian dla poszczególnych tygodni. Widoczna jest tendencja do wyższej niż średnia mocy generowanej w okresie nocnym oraz stosunkowo niskiej generacji z siłowni wiatrowych w okresach przedwieczornych. Wszystkie te cechy w znaczącym stopniu kolidują z „oczekiwaniem” po stronie KSE.

Jako typowy przykład ilustrujący wysoki poziom generacji z siłowni wiatrowych w okresie nocnym wybrano pierwszy tydzień z analizowanego okresu (rys. 13). Na sześć spośród siedmiu dni tygodnia ma tu miejsce sytuacja, że po nocnej aktywności mamy do czynienia z wyraźnym spadkiem generacji pomiędzy godz. 6 a 8 rano. Po „dolinie dziennej”, ze szczególnym spadkiem mocy w godzinach popołudniowych, następuje „najazd z mocą”, mniej więcej od godz. 20. Nie można tego co prawda uznać za przypadek w pełni reprezentatywny. W kolejnych tygodniach analizowanych na rysunku 12 miała miejsce zmienność o nieco innym charakterze.



Rys. 13. Zmiany mocy generowanej przez elektrownie wiatrowe zainstalowane w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w Polsce, wybrany zestaw 7 dni z jednego tygodnia

## Podsumowanie

Postępujący rozwój energetyki wiatrowej w Polsce skutkować będzie dalszym dynamicznym wzrostem mocy zainstalowanej w tej kategorii źródeł. Perspektywa budowy nowych zasobów w źródłach energetyki ciepłej wiąże się z dość długim horyzontem czasowym. Duże bloki energetyczne opalane węglem pojawią nie wcześniej niż za około 5 lat, warunkiem jest dokończenie w terminie rozpoczętych (i będących na etapie uruchomienia) w ostatnim okresie inwestycji. Pierwsze duże (ale kogeneracyjne) bloki gazowo-parowe zostaną włączone do systemu nie wcześniej niż w roku 2015.

W tym okresie możemy spodziewać się rosnących trudności z opanowaniem problemu współpracy źródeł wiatrowych z KSE. Konieczne być może okaże się wprowadzenie nowych zasad współpracy siłowni wiatrowych z Krajowym Systemem - na przykład włączenie części z nich do zasobów JWCD.

Trudności z opanowaniem generacji energii ze źródeł wiatrowych nie ograniczają się do generacji „rodzimej” w zasobach krajowych. Od lat diskutowanym problemem są tak zwane prądy karuzelowe generowane przez siłownie wiatrowe zainstalowane w Niemczech. Zasadniczym problemem jest niewydolność niemieckiego systemu elektroenergetycznego w transferze energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych ulokowanych głównie na północy tego kraju. Brak jest odpowiednio rozbudowanej struktury linii przesyłowych w układzie północ-południe. Z tego względu mamy do czynienia ze zjawiskiem przepływu energii przez Polskę, Czechy i Austrię jako jedną z możliwych dróg.

W 2011 roku za pośrednictwem polskich sieci przepłynęło w ten sposób, według danych PSE, około 5 TWh energii elektrycznej wygenerowanej przez wiatraki w północnych Niemczech. Należy zwrócić uwagę, że w Niemczech poziom mocy zainstalowanej w źródłach wiatrowych kształtuje się już na poziomie 30 000 MW. W stosunku do całkowitej mocy zainstalowanej w Niemczech jest to znacząco więcej niż obecnie w Polsce.

Podjęte zostały co prawda przez stronę polską oraz niemiecką wspólne działania mające na celu ograniczenie tego zjawiska (instalacja przesuwników fazowych), ale ich skutki będą odczuwalne dopiero za kilka lat (po roku 2015).

Czynnikiem hamującym w pewnym stopniu rozwój energetyki wiatrowej może się okazać powstałe zamieszanie na rynku świadectw pochodzenia energii odnawialnej (wysoka podaż tych świadectw oraz istotne załamanie ich cen rynkowych na początku roku 2013).

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Polityka Energetyczna Polski do roku 2030. Ministerstwo Gospodarki, listopad 2009.
- [2] Raport zawierający analizę realizacji celów ilościowych i osiągniętych wyników w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii. Ministerstwo Gospodarki, listopad 2009. *Monitor Polski* 2010, nr 7, poz. 64.
- [3] Raport określający cele w zakresie udziału energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii znajdujących się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, w krajowym zużyciu energii elektrycznej na lata 2010-2019. Ministerstwo Gospodarki, kwiecień 2011. *Monitor Polski* 2011, nr 43, poz. 468 (dokument przyjęty przez Radę Ministrów na posiedzeniu w dniu 12 kwietnia 2011).
- [4] Gumuła S.: Energetyka wiatrowa. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, 2006.
- [5] Barnat T.: Projekt farmy wiatrowej o mocy 15 MW. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa. Warszawa 2012.
- [6] Tywonek P.: Studium koncepcyjne farmy wiatrakowej. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Warszawa 2011.

