

Tomasz MIROWSKI*, Wojciech KALAWA**

Problem zabezpieczenia produkcji energii elektrycznej z wiatru w okresach ciszy wiatrowej

STRESZCZENIE. Wzrost mocy zainstalowanej w źródłach odnawialnych w Polsce w ostatnich latach zawdzięczamy głównie turbinom wiatrowym. Zmienność i nieprzewidywalność warunków pogodowych w pewnych okresach roku powoduje trudności w bilansowaniu energii wiatrowej. W artykule przedstawiono problem zabezpieczenia produkcji energii elektrycznej z wiatru oraz przykład współpracy farmy wiatrowej z układami kogeneracyjnymi. Wyniki obliczeń zostały oparte na danych rzeczywistych.

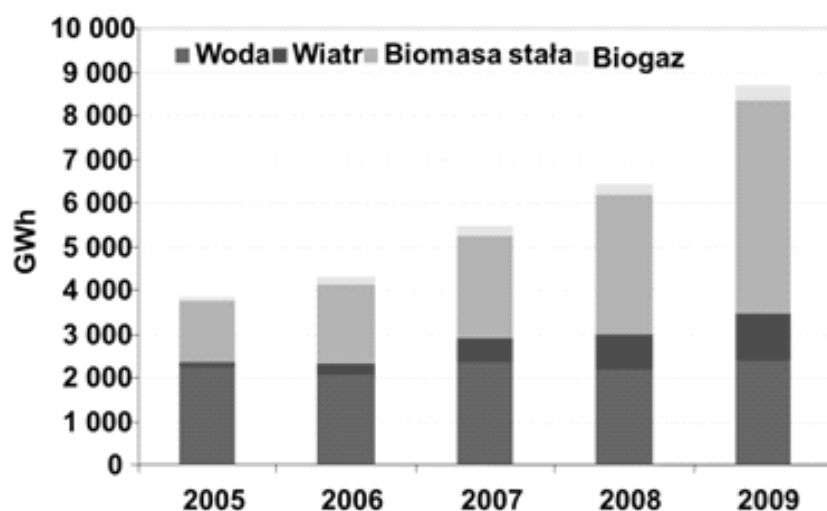
SŁOWA KLUCZOWE: energia wiatru, cisza wiatrowa, bezpieczeństwo systemu elektroenergetycznego

Wprowadzenie

Zmiany zachodzące w strukturze wytwarzania energii elektrycznej w polskim systemie elektroenergetycznym generują nowe problemy, z jakimi musi się borykać operator systemu przesyłowego (PSE-Operator SA). Znaczący wzrost, sprawiający najwięcej problemów dla Operatora w produkcji energii ze źródeł odnawialnych stanowi energia pochodząca z wiatru (rys. 1). W przypadku energetyki wiatrowej zasadniczym problemem jest zmienność oraz nieprzewidywalność warunków pogodowych. Modelowanie pracy turbiny jest bardzo ważnym elementem działania całego systemu (Popławski i in. 2010). W momencie, kiedy

* Dr inż., ** Mgr inż. – Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego, e-mail: mirowski@agh.edu.pl

turbina wiatrowa przestaje oddawać energię do sieci przesyłowej, wymagane jest zapewnienie pokrycia niedoboru mocy z innych źródeł. Musi istnieć tzw. rezerwa operacyjna, czyli rezerwa zimna jednostki wytwórczej, która może być uruchomiona w ciągu kilku godzin zależnie od charakterystyki rozruchowej jednostki oraz rezerwa wirująca, rozpalony kocioł energetyczny zasilający generator z wirującym wirnikiem na biegu jałowym czyli bez oddawania mocy. Rezerwa wirująca stanowi sumę rezerwy sekundowej, minutowej oraz godzinowej i dostępna jest w czasie nie dłuższym niż 15 minut od wydania polecenia przez Operatora Systemu Przesyłowego.



Rys. 1. Zmiany struktury produkcji energii elektrycznej z OZE w latach 2005–2009
Źródło: CIRE, 2010

Fig. 1. The changes in the structure of electricity production from RES in the years 2005–2009

1. Krótka charakterystyka OZE w Polsce

Obecnie (23.03.2011) w Polsce jest zainstalowanych 413 jednostek wytwórczych energii z wiatru o łącznej mocy 1180,272 MW. Jednak większość tych jednostek to jednostki małej mocy. Liczba jednostek powyżej 10 MW to zaledwie 26. Produkcja oraz moc zainstalowana w 2009 roku w stosunku do innych OZE w Polsce została przedstawiona w tabeli 1.

Taka struktura nie generuje jeszcze zbyt dużych problemów w sieci przesyłowej, jednak dalszy wzrost mocy zainstalowanej może doprowadzić do zapaści funkcjonowania systemu. Według różnych prognoz moce zainstalowane w energetyce wiatrowej będą wzrastać. I tak PSE SA podaje, że w 2015 roku moc zainstalowana będzie wynosić 4469 MW, a w 2020 roku 8600 MW, natomiast Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej podaje, że w 2015 roku zainstalowanych będzie 5000 MW, a w roku 2020 będzie to 10 893 MW. Taki wzrost

TABELA 1. Moce zainstalowane oraz produkcja energii z OZE w 2009 roku

TABLE 1. RES capacity installed and electricity production in year 2009

Rodzaj OZE	2009	
	Moc zainstalowana [MW]	Ilość energii [MW·h]
Elektrownie biogazowe	70,888	293 105,386
Elektrownie biomasowe	252,490	525 919,895
Elektrownie wytwarzające energię elektryczną z promieniowania słonecznego	0,001	0,000
Elektrownie wiatrowe	724,657	1 028 862,054
Elektrownie wodne (w tym szczytowo-pompowe)	945,210	2 374 643,314
Razem	1 993,246	4 222 530,649

Źródło: Raport krajowy Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki 2010

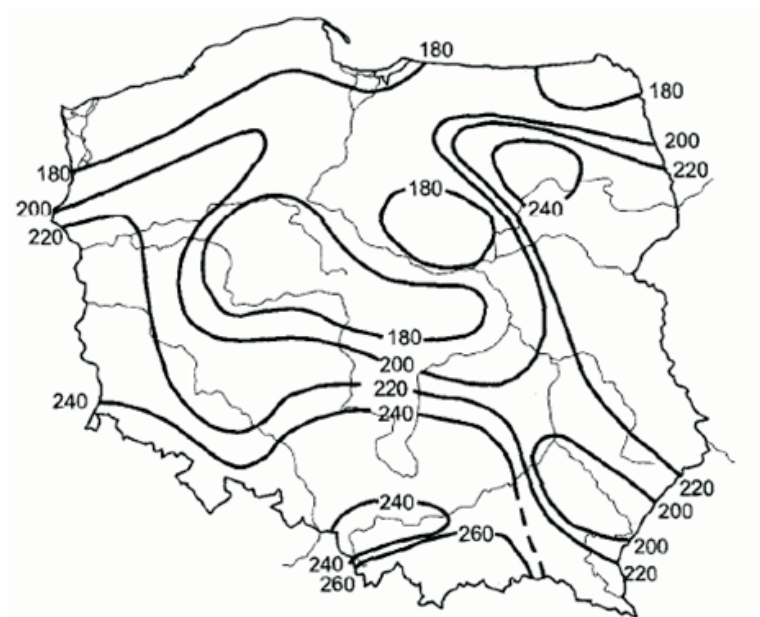
mocy zainstalowanej spowoduje pojawienie się problemów w przyszłości. Lokalizacje obecnych i przyszłych farm wiatrowych nie pokrywają się z lokalizacjami jednostek wytwórczych oraz strukturą sieci przesyłowej.

2. Produkcja energii z wiatru a cisza wiatrowa

W 2009 roku z energii wiatrowej wyprodukowano 1 028 862,054 MW·h, co oznacza, że średnio instalacje pracowały z pełną mocą przez 16,46% czasu w roku. Na rysunku 2 przedstawiono mapę długości cisz energetycznych.

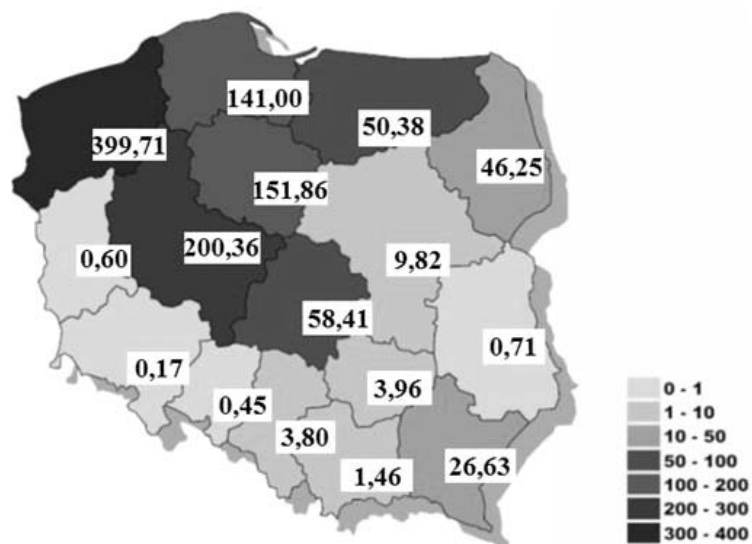
Z problemem cisz zmagali się Niemcy, będące liderem w ilości pozyskiwanej energii w Europie. Według niemieckiej firmy E.ON, pod koniec 2005 roku udział energii wiatrowej w pokryciu dziennego zapotrzebowania szczytowego sieci energetycznej wahał się od 0,1 do 32%. Na terenie Niemiec znajdowało się około 16 tys. turbin wiatrowych, które powinny pokrywać około 15% zapotrzebowania na energię elektryczną, w rzeczywistości jednak pokrywały jedynie około 3%, co jest efektem częstego występowania zjawiska ciszy wiatrowej. Na rysunku 2 przedstawiono mapę rozkładu cisz wiatrowych w Polsce w postaci izolinii. Największe wartości występują w paśmie południowym oraz części północno-wschodniej Polski. Najkrótsze przerwy w pasie przybrzeżnym oraz w okolicy Suwałk, a także w centralnej części kraju.

Na rysunku 3 przedstawiono moce zainstalowane w energetyce wiatrowej w układzie wojewódzkim. W województwach zachodniopomorskim i wielkopolskim jest zainstalowanych najwięcej mocy w turbinach wiatrowych, odpowiednio około 400 MW i około



Rys. 2. Długość cisz energetycznych (poszczególne liczby oznaczają ilość dni ciszy w roku)
 Źródło: Sobolewski, Żurański, 1981

Fig. 2. Length of the quiet zone (each numbers means the amount of days of silence per year)

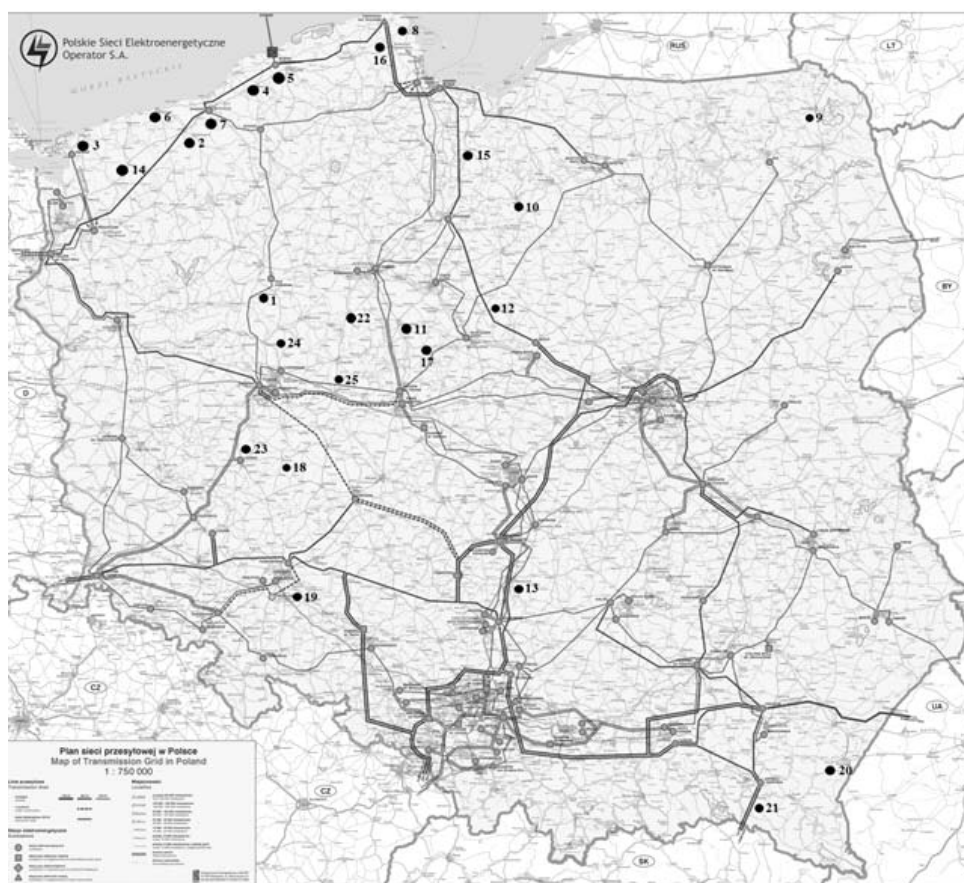


Rys. 3. Moce zainstalowane elektrowni wiatrowych w poszczególnych województwach na koniec 2010 roku według PSE Operator SA [MW]

Fig. 3. Installed capacity of wind power plants by the voivodships at the end of 2010 according to the PSE-Operator SA [MW]

200 MW. Najmniejsze wartości odnotowuje się w województwach lubuskim (0,17 MW) i dolnośląskim (0,45 MW).

Lokalizacje największych farm w Polsce obrazuje mapa na rysunku 4. Numery od 1 do 25 odpowiadają powiatom, w których całkowita moc zainstalowana wynosi powyżej 10 MW. Szczegółowe dane zamieszczono w tabeli 2 (liczba porządkowa w tabeli odpowiada zaznaczonej lokalizacji na mapie).



Rys. 4. Przybliżone lokalizacje farm wiatrowych powyżej 10 MW

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych URE (stan na 30.09.2010) i mapy PSE-Operator SA

Fig. 4. The approximate locations of wind farms over 10 MW

Farmy wiatrowe będą powstawać w pasie nadmorskim, gdzie występują dobre warunki wiatrowe, a jednocześnie słabo rozwinięta jest infrastruktura sieciowa i wytwórcza (Polityka... 2009). Sytuacja ta powoduje obawy o możliwości „uzupełniania” mocy w sieci w warunkach ciszy wiatrowej przez elektrownie systemowe zlokalizowane na południu Polski; chodzi tu o możliwości przesyłowe sieci elektroenergetycznej.

Tabela 2. Moc zainstalowana elektrowni wiatrowych w układzie powiatowym według stanu z 30.09.2010

Table 2. Installed capacity of wind power stations by province at the end of Sep. 2010

Lp.	Powiat	Województwo	Moc [MW]
1.	chodzieski	wielkopolskie	121,650
2.	białogardzki	zachodniopomorskie	90,000
3.	kamieński	zachodniopomorskie	89,400
4.	ślawieński	zachodniopomorskie	77,258
5.	słupski	pomorskie	60,000
6.	kołobrzeski	zachodniopomorskie	51,000
7.	koszaliński	zachodniopomorskie	50,075
8.	pucki	pomorskie	46,000
9.	suwalski	podlaskie	45,650
10.	iławski	warmińsko-mazurskie	44,500
11.	inowrocławski	kujawsko-pomorskie	39,335
12.	lipnowski	kujawsko-pomorskie	36,950
13.	radomszczański	łódzkie	31,625
14.	gryficki	zachodniopomorskie	29,900
15.	sztumski	pomorskie	18,300
16.	wejherowski	pomorskie	12,695
17.	radziejowski	kujawsko-pomorskie	12,675
18.	gostyński	wielkopolskie	12,500
19.	włocławski	kujawsko-pomorskie	12,040
20.	przemyski	podkarpackie	12,000
21.	krośnieński	podkarpackie	11,680
22.	żniński	kujawsko-pomorskie	11,575
23.	leszczyński	wielkopolskie	10,520
24.	mogileński	kujawsko-pomorskie	10,340
25.	wrzesiński	wielkopolskie	10,000

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych URE

Te obawy skutkują podjęciem decyzji o budowie nowych jednostek wytwórczych, szybko reagujących na zmiany obciążenia sieci, w okolicach istniejących i planowanych farm wiatrowych. Nie są znane wytyczne przetargów na moce interwencyjne dla elektrowni

wiatrowych, jednak PSE operator wskazuje na siłownie gazowe jako najbardziej odpowiednio do zapewnienia zabezpieczenia mocy.

Źródła gazowe ze względu na niskie nakłady inwestycyjne oraz dużą elastyczność pracy (krótkie czasy rozruchu oraz szeroki zakres regulacji mocy) są najlepszym rozwiązaniem problemu ubytków mocy związanych z warunkami pogodowymi.

3. Problem zabezpieczenia pracy systemu elektroenergetycznego

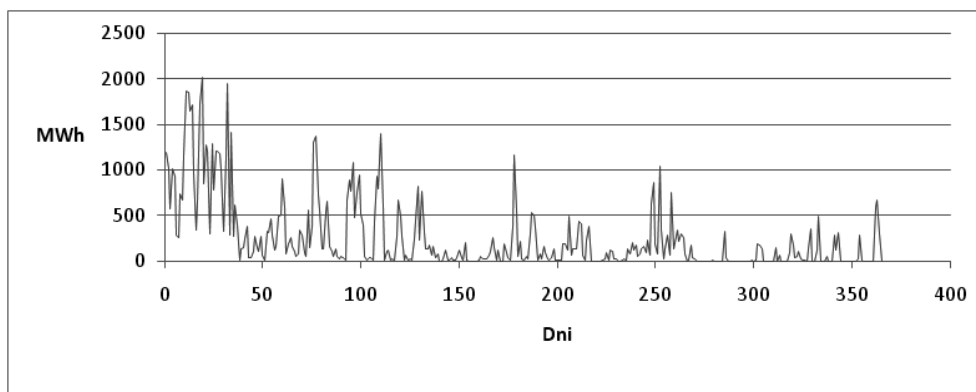
W procesie planowania dostaw energii elektrycznej w celu zabezpieczenia pracy systemu elektroenergetycznego należy rozważać najbardziej niekorzystne scenariusze. Oznacza to, że przy planowaniu wielkości rezerwy mocy należy wziąć pod uwagę ekstremalne możliwe zmiany mocy dostarczanej przez elektrownie wiatrowe, których z wielu względów nie można łatwo przewidzieć. Jak przedstawiono w publikacjach (Luickx 2009; Black i in. 2006; BP...2006; Buchta i in. 2010) wymagana wartość rezerw mocy wynosi odpowiednio 20, 50, 65 i 80% mocy zainstalowanej w turbinach wiatrowych. Obecnie całkowita moc elektryczna zainstalowana w KSE znacznie przewyższa zapotrzebowanie szczytowe. Sugeruje to, że ewentualne niedobory mocy z turbin wiatrowych mogłyby zostać zbilansowane przez istniejące jednostki węglowe. Z drugiej jednak strony w sektorze wytórczym można zaobserwować zjawisko rosnącej awaryjności. Problemy związane ze zbilansowaniem KSE, pokazuje bilans mocy z dnia 29 stycznia 2008 r., gdy rzeczywista rezerwa operacyjna niewiele przekroczyła 4% (Obwieszczenie... 2009).

Biorąc pod uwagę obecną strukturę zainstalowanych mocy wiatrowych oraz ich rozproszenie można dojść do wniosku, że obecne stosowanie jednostek gazowych o dużej mocy, jako źródeł rezerwowych, jest nieopłacalne i stanowiłoby problem bilansowania KSE. W związku z tym, można zaproponować rozwiązanie oparte na małych układach kogeneracyjnych. Układy takie o mocach do 5 MW można by zastosować do kompensacji mocy w sieci przesyłowej i dystrybucyjnej. Odpowiednie dobranie oraz umiejscowienie takich źródeł w systemie mogłoby zapewnić stabilność pracy źródeł wiatrowych. Jednocześnie wykorzystanie ciepła produkowanego w jednostkach kogeneracyjnych oraz dodatkowych źródeł ciepła lub akumulatorów ciepła mogłoby zastąpić tradycyjne źródła ciepłownicze.

Dla przykładu zaprezentowane zostaną wyniki analizy teoretycznej zastosowania agregatów kogeneracyjnych dla zabezpieczenia 20% mocy zainstalowanej w 100 MW farmie wiatrowej.

System składałby się z farmy wiatrowej oraz pięciu agregatów kogeneracyjnych o mocy elektrycznej 4 MW, które opisane są jako silniki nr 1–5.

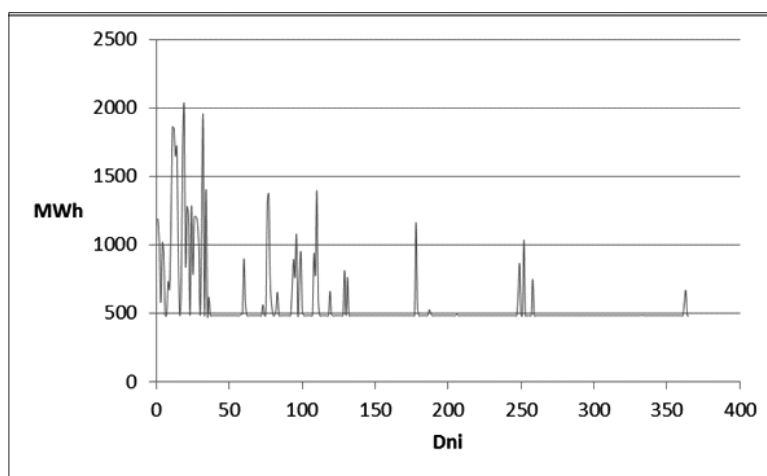
Przedstawiona na rysunku 5 produkcja energii elektrycznej poddawana jest znacznym wahaniom. Bilansowanie takiej produkcji z klasycznych źródeł byłoby skomplikowane oraz trudne do realizacji z technicznego punktu widzenia.



Rys. 5. Teoretyczna produkcja energii elektrycznej w farmie wiatrowej 100 MW w 2007 roku
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. The theoretical production of electricity in the 100 MW wind farm in 2007

Zastosowanie układów kogeneracyjnych w czasie obniżenia lub zaniku produkcji energii doprowadziłyby do „wygładzenia” charakterystyki produkcji. Przedstawia to rysunek 6, na którym produkcja energii elektrycznej do poziomu 500 MW·h jest pokrywana z agregatów kogeneracyjnych.



Rys. 6. Charakterystyka współpracy farmy wiatrowej z silnikami nr 1, nr 2, nr 3, nr 4 i nr 5
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Characteristics of joint operation the wind farm and the gas engine No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 and No. 5

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, układy tak współpracujące z farmą wiatrową znacząco poprawiają charakterystykę produkcji, a dzięki temu ułatwiają ewentualną kompensację większej ilości energii z innych źródeł.

Wnioski

Zastosowanie układów kogeneracyjnych, które autorzy przedstawili w artykule niewątpliwie zwiększyłyby udział kogeneracji w polskim systemie elektroenergetycznym oraz mogłyby spowodować zastępowanie mniej wydajnych tradycyjnych ciepłowni bardziej sprawnymi i „ekologicznymi” systemami gazowymi. Jednocześnie obecne systemy wsparcia dla małej i wysokosprawnej kogeneracji mogą spowodować, że takie rozwiązania staną się konkurencyjne dla obecnie stosowanych rozwiązań rynku bilansującego.

Literatura

- [1] POPLAWSKI i in., 2010 – Zastosowanie modeli ARMA do przewidywania mocy i energii pozyskiwanej z wiatru. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2, s. 385–400.
- [2] LUICKX P., 2009 – The backup of wind Power. Analysis of the parameters influencing the wind power integration in electricity generation system. Katholieke Universiteit Leuven. Praca doktorska.
- [3] BLACK M., STRBAC G., 2006 – Value of storage in providing balancing services for electricity generation systems with high wind penetration. *Journal of Power Sources* 162 (2006) 949–953.
- [4] BP Power. The costs of generating electricity. Opracowanie elektroniczne przez The Royal Academy of Engineering, 2006.
- [5] BUCHTA F. i in., 2010 – O potencjale technicznym przyłączenia elektrowni wiatrowych do krajowego systemu elektroenergetycznego. Wydawnictwo EM&CA SA.
- [6] Obwieszczenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2009 r. Sprawozdanie z wyników nadzoru nad bezpieczeństwem zaopatrzenia w energię elektryczną. M.P. 09.56.771., 2009.
- [7] PIASKOWSKA M., 2009 – Potencjał techniczny i opłacalność wykorzystania energii wiatru w Polsce. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2, s. 465–474.
- [8] *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2009.

Tomasz MIROWSKI, Wojciech KALAWA

The problem of security of electricity generation from wind in periods of quiet zone

Abstract

Increase of installed capacity from renewable sources in Poland in recent years mainly due to the wind turbines. Variability and unpredictability of the weather conditions at certain times of the year makes it difficult of balancing of wind energy. The paper was presented to the problem of security of electricity production from wind and the wind farm example of joint operation of the CHP units. The results of the calculations were based on real data.

KEY WORDS: wind energy, wind quiet zone, security of energy sector