POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL
2017 ✦ Tom 20 ✦ Zeszyt 4 ✦ 55–66
ISSN 1429-6675

Aleksandra AUGUSTYN*

Wpływ energetyki wiatrowej na generację energii elektrycznej w jednostkach wytwórczych centralnie dysponowanych

STRESZCZENIE: Elektrownie wiatrowe generują 7,14% energii elektrycznej w Polsce, ustępując miejsca tylko elektrowniom opalanym węglem kamiennym i brunatnym. Znaczący udział energetyki wiatrowej w strukturze krajowego systemu elektroenergetycznego skłania do badania wpływu tak produkowanej energii na pracę jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych.

Niniejszy artykuł obejmuje analizę krajowego systemu elektroenergetycznego. Pierwszym parametrem, jaki został poddany analizie, jest krajowe zapotrzebowanie na moc, zawierające zapotrzebowanie odbiorców krajowych, potrzeby własne elektrowni, straty w sieci przesyłowej i pompowanie w elektrowniach szczytowo-pompowych oraz uwzględniające saldo wymiany międzynarodowej równoległej i nierównoległej. Ponadto analizie poddano sumaryczną generację energii elektrycznej z jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD), generację energii elektrycznej w ramach umowy o świadczenie usługi pracy interwencyjnej, generację energii elektrycznej w ramach umowy o świadczenie usługi interwencyjnej rezerwy zimnej (IRZ), a także sumaryczną generację energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych.

W niniejszym artykule zbadano związki korelacyjne pomiędzy wielkością generacji jednostek wytwórczych świadczących usługi pracy interwencyjnej oraz interwencyjnej rezerwy zimna a wielkością generacji energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych. Dokonano również porównania tych wielkości z krajowym zapotrzebowaniem na moc.

SŁOWA KLUCZOWE: energetyka wiatrowa, KSE, praca interwencyjna, interwencyjna rezerwa zimna

* Mgr inż. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków; e-mail: augystyn@min-pan.krakow.pl

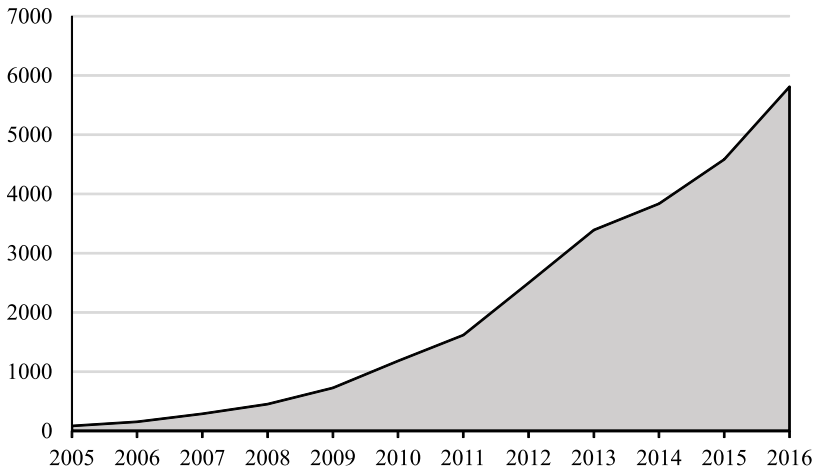
Wprowadzenie

Energia elektryczna generowana z elektrowni wiatrowych ma największy udział wśród całkowitej produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Polsce. Moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych wyniosła 5,8 GW na koniec 2016 roku, a produkcja energii elektrycznej 11 623 GWh. Pod względem wielkości mocy zainstalowanej Polska znajduje się na szóstym miejscu w Unii Europejskiej (UE), ustępując miejsca Niemcom, Hiszpanii, Wielkiej Brytanii, Francji, Włochom oraz Szwecji. Całkowita moc elektrowni wiatrowych w UE wyniosła 153 730 MW w 2016 roku (Wind… 2017).

Krajem o największej mocy elektrowni wiatrowych na świecie nieustannie są Chiny, posiadające 35% całkowitej mocy zainstalowanej. Państwami, które posiadają ponad 5% udział w skali światowej są Stany Zjednoczone (16,9%), Niemcy (10,3%) oraz Indie (5,9%). Całkowita moc elektrowni wiatrowych zainstalowana na świecie wyniosła 486 790 MW w 2016 roku. Wśród elektrowni wiatrowych zainstalowanych na morzu największą moc mają elektrownie Wielkiej Brytanii (5156 MW), Niemiec (4108 MW) oraz Chin (1627 MW) (Global… 2017).

Dominujący udział w strukturze produkcji energii elektrycznej w Polsce posiadają elektrownie opalane węglem kamiennym oraz brunatnym, wynoszący kolejno 50 i 31,4%. Kolejne miejsce zajmują elektrownie wiatrowe, które w 2016 roku odpowiadały za 7,14% produkowanej energii elektrycznej (PSE 2016). Należy zwrócić uwagę na dynamikę zmian w stosunku do roku poprzedniego, która w przypadku elektrowni opalanych węglem kamiennym i brunatnym jest ujemna (kolejno –0,65% oraz –4,41%), a w przypadku elektrowni wiatrowych dodatnia (15,6%). Dynamika wzrostu zainstalowanej mocy w elektrowniach wiatrowych została również zilustrowana na rysunku 1.

W 2004 roku udział energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) wynosił niecałe 3% konsumpcji finalnej energii elektrycznej. Natomiast Polska w Traktacie Akcesyjnym zobowiązała się do osiągnięcia 7,5% udziału do 2010 roku (DYREKTYWA 2001/77/WE). W celu wypełnienia wspomnianych zobowiązań wprowadzono w kraju system wsparcia OZE, a mianowicie system świadectw pochodzenia energii ze źródeł odnawialnych. Początkowo służyły one potwierdzeniu faktycznej ilości energii wyprodukowanej z OZE. Jak wynika z rysunku 1 w latach 2005–2008 dynamika wzrostu mocy zainstalowanej ze źródeł wiatrowych była niewielka. Wynikało to przede wszystkim z faktu, że koszty inwestycyjne były znacznie wyższe niż przychody możliwe do uzyskania ze sprzedaży wyprodukowanej energii. W celu pobudzenia rozwoju energetyki wiatrowej do świadectw pochodzenia przypisano zbywalne prawa majątkowe, nazywane zielonymi certyfikatami. Kwoty ze sprzedaży zielonych certyfikatów przez elektrownie wiatrowe (i pozostałych wytwórców energii z OZE) miały rekompensować różnicę pomiędzy kosztami wytworzenia a przychodami ze sprzedaży energii elektrycznej. Umowy na sprzedaż zielonych certyfikatów stanowiły również zabezpieczenie w przypadku zaciągania kredytu na nowe inwestycje. Jak wynika z rysunku 1, opisywany system wsparcia przyczynił się do wzrostu dynamiki instalowania nowych mocy i rozwoju energetyki wiatrowej.



Rys. 1. Moc zainstalowana energetyce wiatrowej w Polsce w latach 2005–2016 [MW]
Źródło: Opracowanie własne na postawie URE 2016

Fig. 1. Total installed capacity in wind power in the years 2005–2016 in Poland

1. Bilansowanie Krajowe Systemu Elektroenergetycznego

Prawidłowe i bezpieczne funkcjonowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) wymaga rozbudowanego i sprawnego układu urządzeń przeznaczonych do wytwarzania, przesyłania oraz rozdziału energii elektrycznej. W Polsce energia elektryczna jest wytwarzana przede wszystkim w elektrowniach cieplnych opalanych węglem kamiennym lub brunatnym. Mniejszy udział posiadają natomiast elektrownie wiatrowe, wodne oraz gazowe. Jednak dywersyfikacja źródeł pierwotnych wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej wymusza pewne działania, w celu zapewnienia bezpiecznego przesyłu energii z elektrowni do odbiorcy za pomocą sieci linii i stacji elektroenergetycznych. Należy mieć na uwadze, że zmiany napięcia wynikające z dywersyfikacji źródeł pierwotnych mogą wpływać na awaryjność sieci przesyłowych czy elektrowni (Gan i in. 2016).

Odpowiedzialność za sektor przesyłania energii elektrycznej ponosi Operator Systemu Przesyłowego (OSP), którego obowiązki wynikają z art. 9c ust. 2 ustawy Prawo Energetyczne (Prawo Energetyczne 1997). W związku ze zmianami zachodzącymi w strukturze produkcji energii eklektycznej w KSE OSP jest zobowiązany do podejmowania szeregu decyzji dotyczących bilansowania systemu i zarządzania ograniczeniami systemowymi. Wśród wymienionych we wspomnianej ustawie obowiązków znajdują się zatem między innymi zakup usług systemowych niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, nieza-

wodności pracy tego systemu i utrzymania parametrów jakościowych energii elektrycznej oraz bilansowanie systemu elektroenergetycznego, w tym równoważenie bieżącego zapotrzebowania na energię elektryczną z dostawami tej energii w krajowym systemie elektroenergetycznym, zarządzanie ograniczeniami systemowymi oraz prowadzenie z użytkownikami tego systemu rozliczeń wynikających z niezbilansowania energii elektrycznej dostarczonej i pobranej z krajowego systemu elektroenergetycznego lub zarządzania ograniczeniami systemowymi (Prawo Energetyczne 1997).

Wśród usług systemowych, na które OSP podpisuje umowy z jednostkami wytwórczymi w celu zapewnienia stabilności i prawidłowego funkcjonowania KSE, znajdują się między innymi:

- Regulacyjne usługi systemowe Jednostek Grafikowych Wytwórczych aktywnych (JGW_a), do których należą:
  - operacyjna rezerwa mocy, czyli zdolności wytwórcze JGW_a stanowiące nadwyżkę mocy dostępną dla OSP ponad zapotrzebowanie na energię elektryczną wynikające z umów sprzedaży oraz ponad generację swobodną na Rynku Bilansującym,
  - udział w regulacji pierwotnej oraz wtórnej, czyli praca JGW_a z załączonym układem regulacji pierwotnej lub wtórnej,
  - praca z zaniżeniem lub z przeciążeniem, polegająca na prowadzeniu ruchu JGW_a poniżej lub powyżej jej mocy osiągalnej,
  - udział w automatycznej regulacji napięcia i mocy biernej, czyli praca JGW_a z załączonym układem automatycznej regulacji napięcia elektrowni.
- Usługa uruchomienia JGW_a.
- Regulacyjne usługi systemowe w zakresie rezerwy interwencyjnej:
  - praca interwencyjna, czyli dostęp do szybkiej rezerwy interwencyjnej w zakresie zwiększania wytwarzania energii,
  - interwencyjna rezerwa zimna, czyli dostęp do jednostek wytwórczych (JW) utrzymywanych w gotowości do uruchamiania i wytwarzania energii,
  - redukcja zapotrzebowania na polecenie OSP, czyli dostęp do szybkiej rezerwy interwencyjnej w zakresie zmniejszenia odbioru energii.
- Usługa dyspozycyjności jednostek wytwórczych niebędących jednostkami wytwórczymi centralnie dysponowanymi (nJWCD).
- Usługa odbudowy krajowego systemu elektroenergetycznego (IRiESP 2017).

W niniejszym artykule skupiono się przede wszystkim na wielkościach energii produkowanej w ramach umów świadczenia usługi pracy interwencyjnej (PI) oraz rezerwy interwencyjnej zimnej (IRZ). Rezerwa interwencyjna jest aktywowana na polecenie OSP i służy do interwencyjnego równoważenia bilansu mocy w całym KSE lub w wybranych jego obszarach, ze względu na warunki pracy sieci, w celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy KSE. Umowy o świadczenie usługi pracy interwencyjnej są podpisywane pomiędzy OSP a wytwórcami energii elektrycznej posiadającymi jednostki wytwórcze pompowo-szczytowe lub gazowe i zapewniają dostęp do szybkiej rezerwy interwencyjnej w zakresie zwiększenia wytwarzania energii elektrycznej. Z kolei umowy o świadczenie usługi interwencyjnej rezerwy zimna zapewniają OSP dostęp do

JW utrzymywanych w gotowości do uruchomienia i wytwarzania energii elektrycznej. Stronami umowy są OSP oraz wytwórcy posiadający JW cieplne, które spełniają normy opisane w przedmiotowym dokumencie. Pierwszym warunkiem jest uzyskanie prawa do korzystania od 1 stycznia 2016 roku z czasowego odstępstwa od standardów emisyjnych. Natomiast drugi dotyczy zasadności wyboru JW przez OSP zgodnie z warunkami technicznymi i bilansowymi pracy KSE (IRiESP 2017).

2. Metodyka badań

W artykule przeanalizowano pracę KSE, uwzględniając:

- Krajowe zapotrzebowanie na moc, zawierające zapotrzebowanie odbiorców krajowych, potrzeby własne elektrowni, straty w sieci przesyłowej oraz pompowanie w elektrowniach szczytowo-pompowych oraz uwzględniające saldo wymiany międzynarodowej równoległej i nierównoległej.
- Sumaryczną generację energii elektrycznej z jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD), do których należą:
  - bloki elektrowni opalanych węglem kamiennym (następujące JW: Dolna Odra, Jaworzno 3, Kozienice 1, Kozienice 2, Łagisza, Łaziska 1, Łaziska 2, Opole, Ostrołęka B, Połaniec, Rybnik, Siersza, Stalowa Wola 3) o łącznej mocy osiągalnej 13 970 MW,
  - bloki elektrowni opalanych węglem brunatnym (następujące JW: Adamów, Bełchatów, Pątnów 1, Pątnów 2, Turów) o łącznej mocy osiągalnej 9 278 MW,
  - bloki elektrowni wodnych (następujące JW: Dychów, Porąbka Żar, Solina, Żarnowiec, Żydowo) o łącznej mocy osiągalnej 1 696 MW,
  - blok elektrowni gazowej (JW Włocławek) o mocy osiągalnej 485 MW.
- Generację energii elektrycznej w ramach umowy o świadczenie usługi praca interwencyjna.
- Generację energii elektrycznej w ramach umowy o świadczenie usługi interwencyjnej rezerwy zimnej.
- Sumaryczną generację energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych.

Dane na potrzeby niniejszego artykułu zostały zgromadzone dzięki udostępnieniu ich przez krajowego OSP – Polskie Sieci Przesyłowe SA (PSE). Analizie została poddana macierz danych zawierająca 8784 wiersze (wartości dotyczące krajowego zapotrzebowania na moc oraz generacji energii elektrycznej przez JW podane dla każdej godziny w roku, 2016 rok był rokiem przestępnym).

W celu określenia wpływu stochastycznej pracy elektrowni wiatrowych na pracę jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych zbadano, jak zmienia się udział energii elektrycznej produkowanej z JWCD w krajowym zapotrzebowaniu na moc wraz ze zmianą udziału energii elektrycznej generowanej przez elektrownie wiatrowe. Ponadto zbadano związki korelacyjne pomiędzy produkowaną energią elektryczną z elektrowni wiatrowych a wielkościami pracy in-

terwencyjnej oraz interwencyjnej rezerwy zimnej, zarówno w skali roku, jak i dla każdego miesiąca.

Wpływ pracy elektrowni wiatrowych na poziom rezerwy wirującej został już zbadany i przedstawiony w artykule (Połecki i Kacejko 2017), dlatego w niniejszej pracy pominięto badanie tego związku korelacyjnego.

3. Wyniki badań

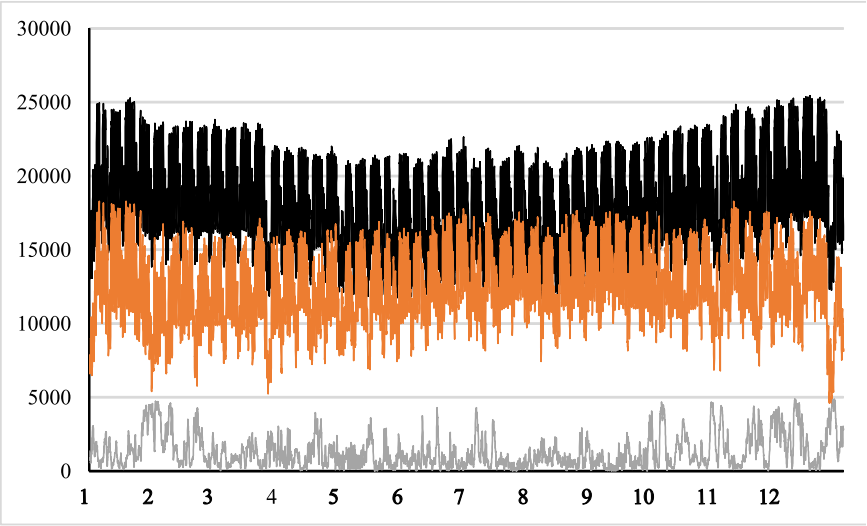
Rysunek 2 ilustruje krajowe zapotrzebowanie na moc, sumaryczną generację JWCD oraz sumaryczną generację źródeł wiatrowych. Maksymalne zapotrzebowanie na moc nastąpiło w szczycie popołudniowym 15 grudnia 2016 roku i wyniosło 25 546 MW. Wówczas 69% zapotrzebowania zostało pokryte przez JWCD, 26% przez nJWCD, z czego elektrownie wiatrowe zaledwie 0,35%. Minimalne zapotrzebowanie na moc wystąpiło w dolinie obciążenia 15 sierpnia 2016 roku i wyniosło 11 277 MW. Zapotrzebowanie w 74% zostało wówczas pokryte przez JWCD, w 32% nJWCD, z czego w 6% przez źródła wiatrowe.

Zapotrzebowanie na moce KSE jest zdecydowanie większe w okresie zimowym niż letnim. Dobowe przebiegi w różnych porach roku różnią się przede wszystkim szczytem wieczornym: zimą zaczyna się on około godziny 17, natomiast latem około godziny 20. Ponadto zimą trwa on dłużej niż w miesiącach letnich. Obciążenie minimalne, zarówno w miesiącach letnich, jak i zimowych, występuje około godziny 8.

Wykonana analiza wykazała, że udział generacji JWCD w krajowym zapotrzebowaniu na moc znajduje się w przedziale od 36,6% do 84,3%. W momencie, gdy zapotrzebowanie na moc było pokryte w 36,6% przez JWCD, udział źródeł wiatrowych wynosił 33,3% (25 grudnia 2016 r.). Natomiast gdy udział ten stanowił 84,3%, elektrownie wiatrowe generowały 0,4% (24 sierpnia 2016 r.). Z badań związków korelacyjnych dla wszystkich miesięcy wynika, że największa zależność pomiędzy generacją energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych a z JWCD występuje w grudniu. Dla porównania w grudniu współczynnik Pearsona wyniósł 0,56, a dla pozostałych miesięcy oscyluje w granicach 0,31–0,46.

Udział energetyki wiatrowej w strukturze produkcji energii elektrycznej w kraju znajduje się w przedziale od 0,1 do 35,3%. Energia elektryczna generowana przez elektrownie wiatrowe nie zależy od zapotrzebowania na moc, ale od warunków pogodowych. Tak więc operatorzy elektrowni wiatrowych powinni brać pod uwagę nie tylko maksymalizację oczekiwanej mocy wyjściowej przy stałym rozkładzie wiatru, ale również zmienność w czasie na etapie projektowania czy planowania inwestycji (Feng i Shen 2017).

Analiza wykazała, że największe zmiany w strukturze produkcji energii elektrycznej mają miejsce w miesiącach zimowych, w których to występują największe prędkości wiatru. Silna zależność pomiędzy analizowanymi wartościami wynika z kolei z faktu, że w chwili obecnej OSP jest zobligowany do zakupu każdej ilości wygenerowanej mocy ze źródeł wiatrowych po



Rys. 2. Krajowe zapotrzebowanie na moc (krzywa pierwsza), produkcja energii elektrycznej z JWCD (krzywa druga) oraz elektrowni wiatrowych (krzywa trzecia) w kolejnych miesiącach w 2016 roku [MWh]
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (PSE 2016a; PSE 2016b)

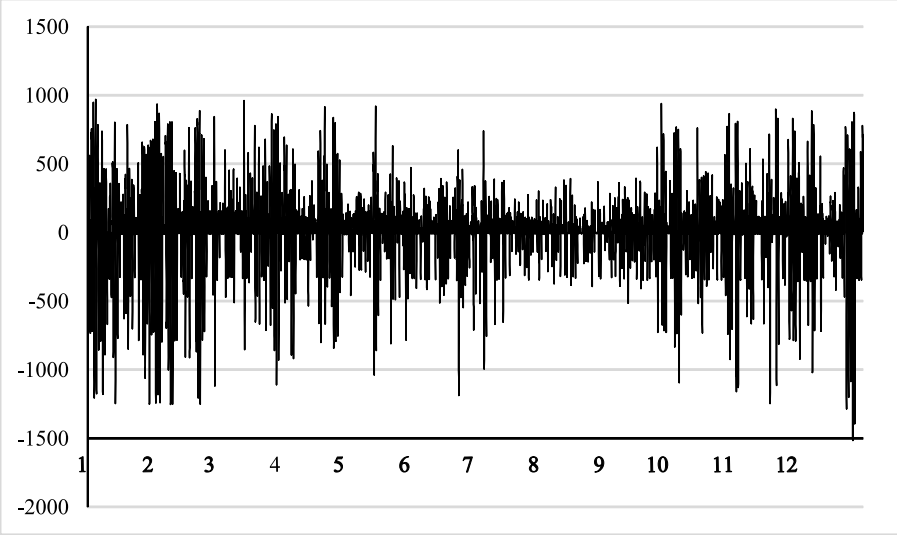
Fig. 2. Load of Polish Power System, electricity generation in CDGU and electricity generation in wind power in the year 2016 [MWh]

określonej z góry cenie (równej średniej cenie energii elektrycznej na rynku konkurencyjnymi w poprzedzającym kwartale). Wobec tego bilansowanie systemu możliwe jest za pomocą dysponowania JWCD. Związek korelacyjny pomiędzy analizowanymi wartościami może ulec zmianie od 1 stycznia 2018 roku, kiedy to obowiązek zakupu energii elektrycznej pochodzącej z OZE zostanie wyeliminowany (Ustawa OZE) i zaczną obowiązywać zasady rynkowe.

Kolejnym etapem pracy było zbadanie, jak wielkość produkowanej energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych wpływa na poziom generacji JW świadczących usługę pracy interwencyjnej oraz interwencyjnej rezerwy zimna. W przypadku usługi pracy interwencyjnej jednostkami wytwórczymi są elektrownie szczytowo-pompowe. Usługę taką świadczy PGE Energia Odnawialna SA w ramach umowy na lata 2015–2018, polegającą na dysponowaniu i wykorzystaniu przez PSE elektrowni Dychów, Porąbka Żar, Solina, Żarnowiec do interwencyjnego równoważenia bieżącego bilansu mocy czynnej i biernej w systemie oraz do sterowania rozpływami mocy w sieci przesyłowej (Raport PGE… 2017). Umowę na świadczenie omawianej usługi podpisała również Energa Wywarzanie SA przekazując do dyspozycji operatorowi swoją elektrownię szczytowo-pompową Żydowo do końca 2019 roku (Energa… 2017).

Rysunek 3 przedstawia pracę elektrowni szczytowo-pompowych w Polsce świadczących usługę praca interwencyjna. Ilustruje on, że w miesiącach jesienno-zimowych OSP w największym stopniu wykorzystuje ich pracę do równoważenia bieżącego bilansu mocy w systemie. W miesiącach tych występują również największe zapotrzebowania na moc, dlatego wykonano badania związków korelacyjnych zarówno pomiędzy pracą elektrowni szczytowo-pompowych

a pracą elektrowni wiatrowych, jak i pomiędzy pracą elektrowni szczytowo-pompowych a krajowym zapotrzebowaniem na moc. Oba związki osobno były badane w momentach pompowania wody, jak i uwalniania energii do sieci. W momentach uwalniania energii do sieci przez elektrownie wyniki przedstawiają się następująco: współczynnik korelacji Pearsona na poziomie 0,34 pomiędzy pracą elektrowni szczytowo-pompowych a pracą elektrowni wiatrowych oraz na poziomie 0,17 pomiędzy pracą elektrowni szczytowo-pompowych a krajowym zapotrzebowaniem na moc. W pierwszym przypadku występuje słaba zależność, a w drugim brak związku liniowego. W momentach pobierania energii z sieci na potrzeby pompowania współczynniki korelacji wynoszą kolejno: –0,4 oraz 0,36 i również wskazują na słabą korelację pomiędzy analizowanymi danymi systemu.



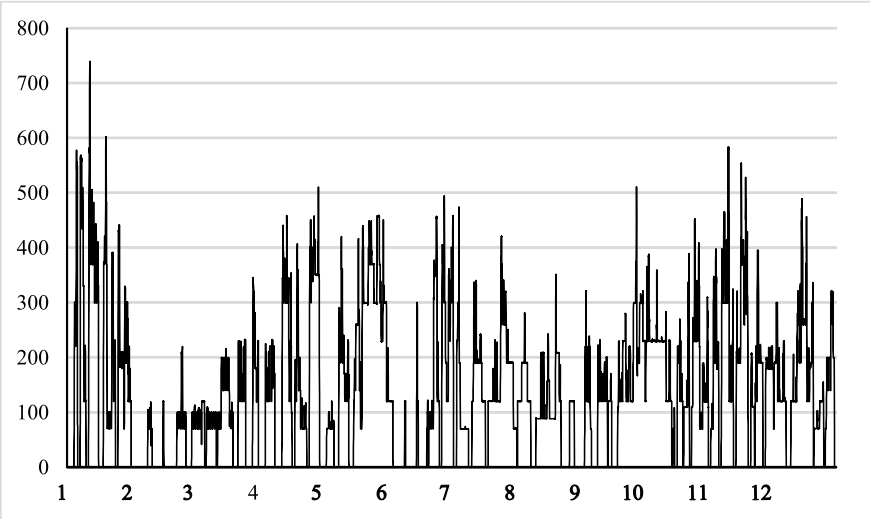
Rys. 3. Generacja energii elektrycznej w ramach świadczenia usługi pracy interwencyjnej [MWh]
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (PSE 2016a)

Fig. 3. Electricity generation – Intervention Work [MWh]

Kolejną usługą poprawiającą bezpieczeństwo funkcjonowania KSE jest interwencyjna rezerwa zimna. Usługa ta jest świadczona przez następujące JW: blok nr 1 i blok nr 2 w elektrowni Dolna Odra, blok nr 3 i blok nr 6 w elektrowni Siersza oraz blok nr 8 elektrowni Stalowa Wola. Łączna moc osiągalna wymienionych jednostek wytwórczych wynosi 830 MW. Źródła te są planowane do pracy w ostatecznej kolejności, czyli w momencie wyczerpania możliwości pokrycia zapotrzebowania na moc (wraz z utrzymaniem niezbędnej rezerwy mocy) przez JW uczestniczące w rynku.

Rysunek 4 przedstawia produkcję energii eklektycznej w ramach świadczenia usługi IRZ w roku 2016. Dla zgromadzonych danych również wykonano analizę dotyczącą zależności wielkości tej produkcji zarówno od energii produkowanej z elektrowni wiatrowych, jak i od krajowego zapotrzebowania na moc. W pierwszym przypadku współczynnik korelacji Pearsona

wyniósł –0,13, natomiast w drugim 0,35. Wykonana analiza nie wskazuje na zależność generacji IRZ od pracy elektrowni wiatrowych. Pomiędzy krajowym zapotrzebowaniem na moc a produkcją energii elektrycznej w ramach świadczenia usługi interwencyjnej usługi zimnej zależność jest również słaba.



Rys. 4. Generacja energii elektrycznej w ramach świadczenia usługi interwencyjnej rezerwy zimna [MWh]
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (PSE 2016a)

Fig. 4. Electricity generation – Cold Intervention Reserve [MWh]

Podsumowanie

Wyniki przedstawione w artykule wskazują na słabą korelację pomiędzy generacją energii elektrycznej przez JW świadczące usługi PI i IRZ a generację energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych. Zmiany zachodzące w pracy elektrowni świadczących usługi PI oraz IRZ można również interpretować jako odpowiedź na zmiany w krajowym zapotrzebowaniu na moc. Posiadane dane nie pozwalają jednoznacznie stwierdzić, który z obu czynników mocniej wpływa na analizowane wielkości.

W publikacji (Połecki i Kacejko 2017), gdzie została zbadana zależność pomiędzy rezerwą wirującą a generacją energii ze źródeł wiatrowych, stwierdzono, że wzrost mocy generowanej w elektrowniach wiatrowych nie wymusza nieadekwatnego do potrzeb KSE wzrostu rezerwy mocy.

Generacja elektrowni wiatrowych najbardziej wpływa zatem na zmianę struktury produkowanej energii KSE. Jednak należy spodziewać się zmian w 2018 roku, kiedy zostanie zniesiony

obowiązek zakupu energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii i energetykę wiatrową również zaczną obowiązywać zasady rynkowe.

Na wyniki przeprowadzonych analiz wpływa również sprawdzalność przygotowywanych prognoz zapotrzebowania na energię. Należy mieć na uwadze, że jednym z elementów integracji energetyki wiatrowej z KSE i jego prawidłowego funkcjonowania są skuteczne metody prognozowania wielkości energii elektrycznej produkowanej z elektrowni wiatrowych obarczone niewielkimi błędami. Rozwój energetyki wiatrowej w ostatnich latach powoduje wzrost znaczenia prognoz zarówno w procesie bilansowania mocy w systemie, jak i w procesie optymalizacji rozdziału obciążeń. Prognozy obarczone niewielkim błędem mają zalety, zarówno w przypadku zapewniania niezawodności systemu, jak i optymalizacji kosztowej pracy elektrowni wiatrowych.

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

Literatura

Energa… 2017. Komunikat prasowy [Online] Dostępne w: http://www.energa-wytwarzanie.pl/aktualnosci/podpisanie-umowy-o-swiadczenie-uslugi-pracy-interwencyjnej-pomiedzy-energa-wytwarzanie-s-a-a-pse-s-a-,27.html [Dostęp: 22.08.2017].

Global… 2017. Global Wind Report. 2017.

Dyrektywa 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych (Dz.U. L 283 z 27.10.2001, str. 33).

Feng, i Shen, 2017. Wind farm power production in the changing wind: Robustness quantification and layout optimization. *Energy Conversion and Management* Vol. 148, s. 905–914.

Gan i in. 2016 – Gan, L., Gengyin, L. i Zhou. 2016. Coordinated planning of large-scale wind farm integration system and regional transmission network considering static voltage stability constraints. *Electric Power Systems Research* v. 136, s. 298–308.

IRiESP 2017. Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej: Bilansowanie systemu i zarządzanie ograniczeniami systemowymi. PSE SA. Tekst jednolity obowiązujący od dnia: 03.03.2017 r. [Online] Dostępne w: http://www.pse.pl/index.php?modul=10&gid=405 [Dostęp: 22.08.2017].

Połecki, i Kacejko, 2017. Analiza wpływu generacji wiatrowej na poziom rezerwy mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym. *Rynek Energii* nr 1(128).

PSE 2016. Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. Raporty za rok 2016.

PSE 2016a. Raporty dobowe z pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego: Wielkości podstawowe.

PSE 2016b. Raporty dobowe z pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego: Generacja źródeł wiatrowych.

Prawo Energetyczne 1997. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne z późniejszymi zmianami. Opracowano na podstawie: t.j. Dz.U. z 2017, poz. 220, 791, 1089, 1387.

Raport PGE… 2017. Sprawozdanie Zarządu z działalności PGE Polska Grupa Energetyczna S.A. oraz Grupy Kapitałowej PGE za rok 2016.

URE 2017. Raport Urzędu Regulacji Energetyki: Potencjał OZE w liczbach – moc zainstalowana. 31.03.2017.

Ustawa OZE. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. Tekst jednolity. Opracowano na podstawie: tj. Dz.U. z 2017, poz. 1148, 1213.
Wind… 2017. Wind in power: 2016 European statistics. 2017.

Aleksandra AUGUSTYN

The impact of wind power on electricity production in centrally dispatched generating units

Abstract

Increasing the share of energy production from renewable sources plays a key role in the sustainable and more competitive development of the energy sector. The electricity from wind power is about 7.14% in Poland. There are only hard coal-fired plants and brown coal-fired plants before wind power in the Polish National Power System. The share of wind power is significant and a lot of scientists try to research its impact on the work on electricity production in centrally dispatched generating units. It should be noted that RES are an increasingly important element of the power systems and that their share in the energy production will continue to increase.

The author analyzed the work of the Polish National Power System, especially: the load of the Polish Power System (domestic energy consumption, own needs of power plants, losses, pumping hydro plants, import and export), electricity generation in centrally dispatched generating units, electricity generation under intervention work and cold intervention reserve agreements and electricity generation in wind power in the year 2016.

The objective of this article is researching the dependence between electricity generation in centrally dispatched generating units under intervention work and cold intervention reserve agreements and electricity generation from wind power. Moreover the author researched the connections between the load of the Polish Power System and electricity production form wind power.

KEYWORDS: wind power, the Polish National Power System, intervention work, cold intervention reserve