

Janusz Badur, Rafał Hyrzyński, Bartosz Kraszewski, Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN;  
Paweł Ziółkowski, Politechnika Gdańska; Waldemar Dudda, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

# Analiza zmienności generacji energii elektrycznej

w okresie pierwszych pięciu miesięcy 2019 r. ze szczególnym uwzględnieniem generacji energii ze źródeł wiatrowych

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z szeroko pojętym rozwojem energetyki wiatrowej. Omówiono stan rozwoju energetyki wiatrowej na świecie. Na podstawie dostępnych badań przybliżono także zagadnienia związane z czynnikami wpływającymi na rozwój odnawialnych źródeł energii oraz ich oddziaływanie na środowisko naturalne. Główny nacisk położono jednakże na analizę zjawisk w pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) w okresie od 1 stycznia 2019 r. do dnia 21 maja 2019 r. Analiza ta była zogniskowana przede wszystkim na uchwyceniu korelacji pomiędzy zapotrzebowaniem na moc KSE, a mocą generowaną przez farmy wiatrowe. W ramach analizy przedstawiono charakterystyczne stany pracy dla KSE, jak też z punktu widzenia generacji energii przez źródła wiatrowe. Praca nie podejmuje zagadnień związanych z bezpieczeństwem pracy systemu elektroenergetycznego.

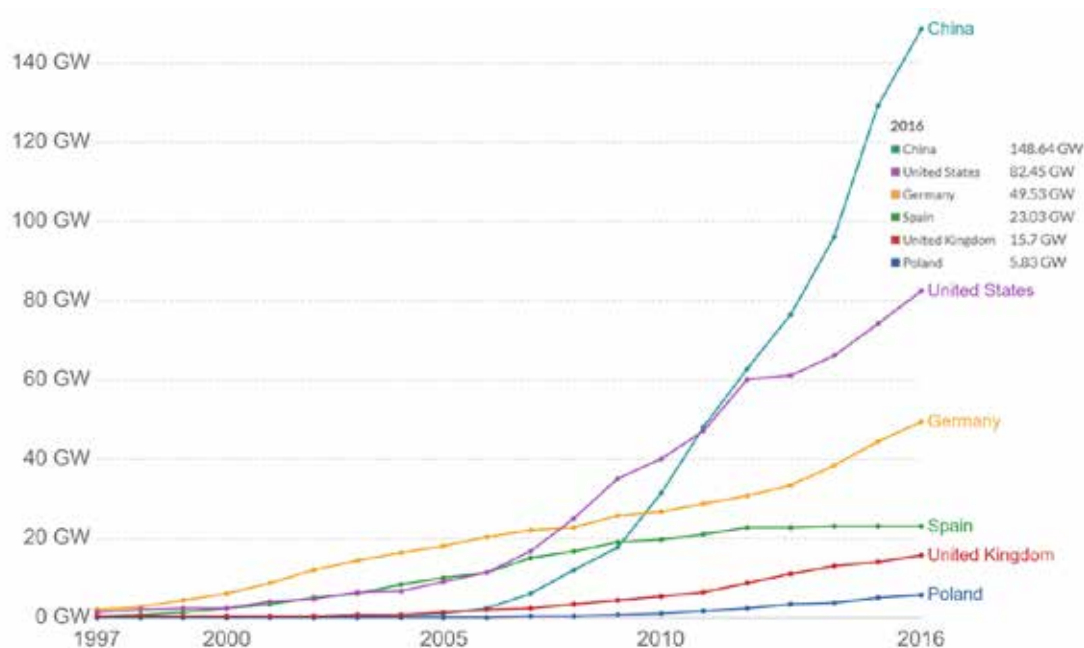
W 1988 r. UNEP (Program Narodów Zjednoczonych do Spraw Środowiska; z ang. *United Nations Environment Programme*) wraz ze Światową Organizacją Meteorologiczną (z ang. *World Meteorological Organization, WMO*), powołał do życia Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu (z ang. *The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) [1]. IPCC to międzynarodowy organ, którego głównym celem jest dostarczanie rządcom rzetelnej, opartej na badaniach

naukowych, wiedzy o zmianach klimatu, przyczynach tych zmian, oceny ryzyk będących następstwem zmian klimatycznych oraz wskazywaniem (rekomendowaniem) działań, które należy podjąć, by uniknąć katastrofalnych skutków zmian klimatycznych [2].

Wiedza ta jest przekazywana poprzez raporty (podsumowujących i specjalnych) dostępnych na stronie IPCC, akceptowanych na kolejnych sesjach IPCC, a także publicznie przedstawia-

nych na Konferencjach Stron Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, które określane są jako COP (Konferencje Stron, z ang. *Conference of the Parties*).

Tak było też z ostatnim raportem IPCC, który został przedstawiony na COP24 w Katowicach. Generalny kierunek, który wyłania się z raportów IPCC, to konieczność odejścia od gospodarki opartej na źródłach emitujących gazy cieplarniane tak szybko jak to możliwe.



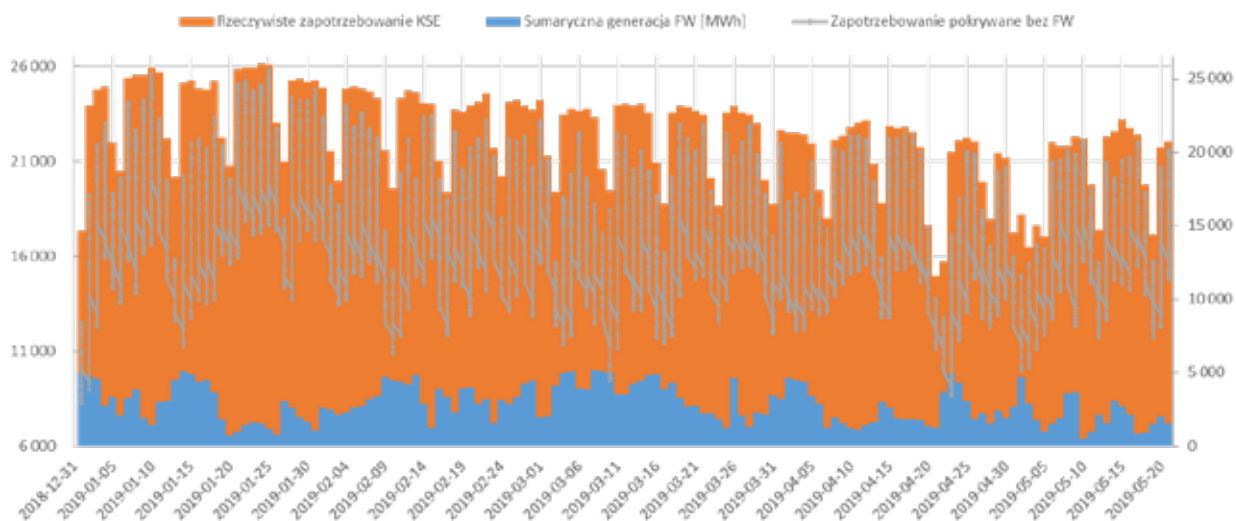
Rys. 1. Rozwój energetyki wiatrowej na świecie. Moc zainstalowana w źródłach wiatrowych [GW]  
Źródło: Our World in Data

Raport nie wskazuje tutaj na perspektywę wielu dekad, a perspektywę jednej dekady w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o połowę, po to, by ograniczyć wzrost temperatury na Ziemi na poziomie 1,5°C.

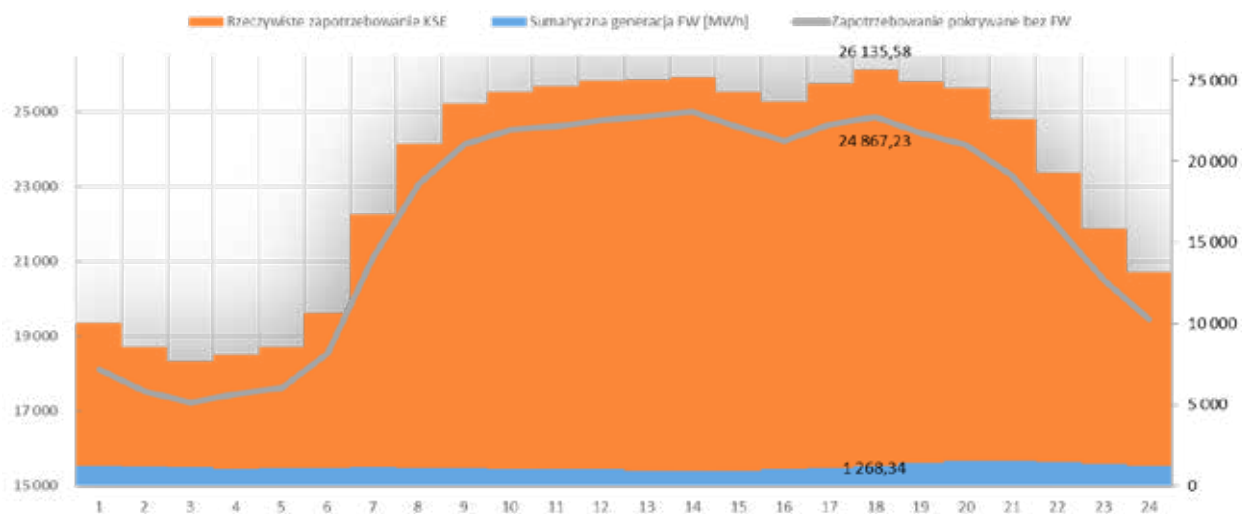
Działania ONZ (poprzez Konferencje Stron, COP) wymiennie wpły-

wają na globalną politykę energetyczną większości państw, czy wręcz regionów świata. Szczególne miejsce znajdują jednak w polityce Unii Europejskiej. UE właśnie w ramach polityki w zakresie klimatu i energii do 2030 r. zdefiniowała trzy podstawowe cele:

1. ograniczenie o co najmniej 40% emisji gazów cieplarnianych (w stosunku do poziomu z 1990 r.),
2. zapewnienie co najmniej 27% udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii,
3. zwiększenie o co najmniej 27% efektywności energetycznej.



Rys. 2. Pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie od 1 stycznia 2019 r. do 21 maja 2019 r. [MWh]  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]



Rys. 3. Przebiegi zapotrzebowania na moc w dniu, w którym wystąpiło maksymalne<sup>2</sup> krajowe zapotrzebowanie w 2019 r. (24 stycznia 2019 r.) [MW]  
*Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]*

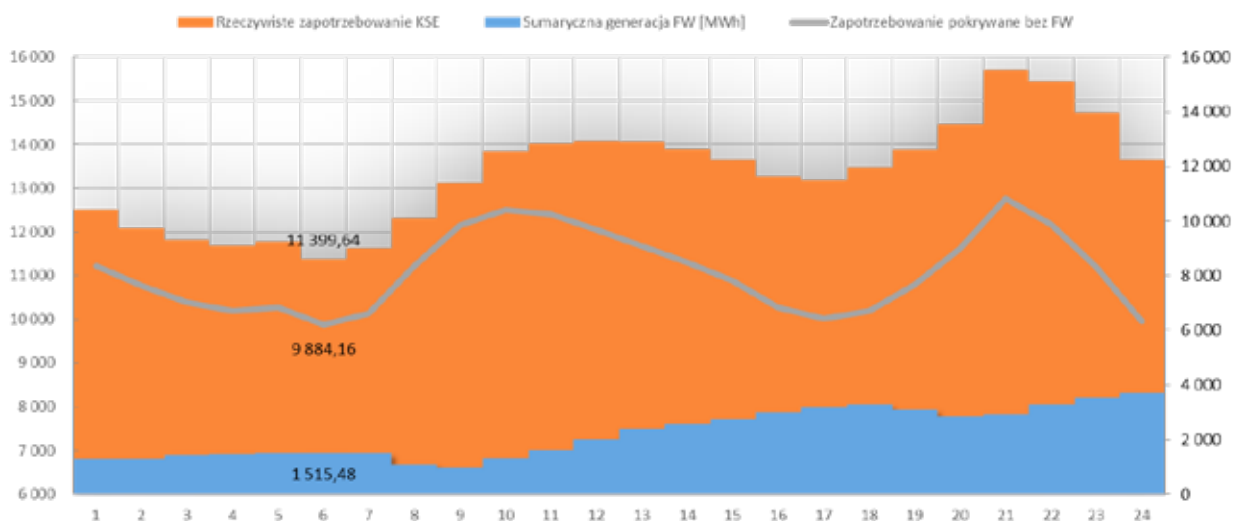
Cele te zostały przyjęte podczas posiedzenia Rady Europejskiej, które miało miejsce w dniach 23-24 października 2014 r. [3].

Cele te są zbieżne również ze zidentyfikowanymi wiodącymi megatrendami, które z kolei wskazują, iż rozwój energetyki odnawialnej będzie jednym z najbardziej zauważalnych następstw transformacji systemów

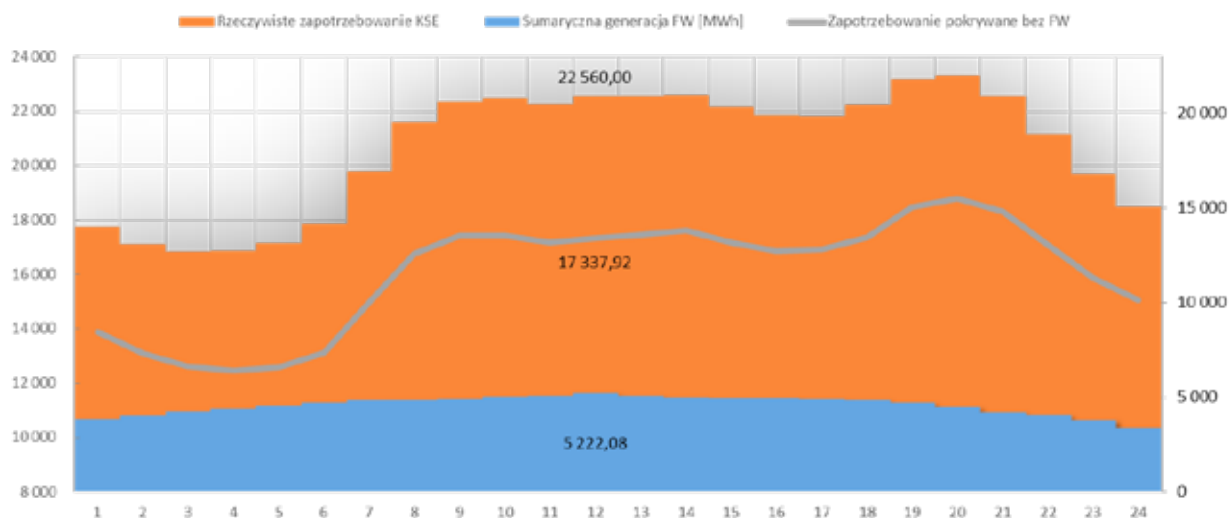
elektroenergetycznych [2]. Czy rzeczywiście się tak dzieje? Czy poszczególne kraje systematycznie zwiększają udział źródeł odnawialnych w swoich systemach energetycznych?

W 2017 r. na świecie wyprodukowano 25 551,3 TWh (20 046,5 TWh w 2007 r.) energii elektrycznej, a w Unii Europejskiej 3 286,6 TWh (3 384,3 TWh w 2007 r.). W tymże

2017 r. w bilansie światowym 6 211,4 TWh pochodziło ze źródeł odnawialnych (24,31%), natomiast w Unii Europejskiej 1 009,0 TWh pochodziło ze źródeł odnawialnych (30,7% [udział energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii elektrycznej brutto.]). W 2007 r. na świecie wyprodukowano zaś 3 409 TWh energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych,



Rys. 3. Przebiegi zapotrzebowania na moc w dniu, w którym wystąpiło maksymalne<sup>2</sup> krajowe zapotrzebowanie w 2019 r. (24 stycznia 2019 r.) [MW]  
*Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]*



Rys. 5. Przebiegi zapotrzebowania na moc w dniu, w którym wystąpiła maksymalna<sup>2</sup> generacja z FW (18 kwietnia 2019 r.) [MW]  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]

co stanowiło 18,3% całkowitej produkcji, natomiast w Unii Europejskiej 544,9 TWh energii ze źródeł odnawialnych, co z kolei stanowiło 16,1%<sup>1</sup> [4], [5], [6]. Wzrost udziału produkcji energii ze źródeł odnawialnych jest na tyle istotny, że nie wymaga szerszego komentarza.

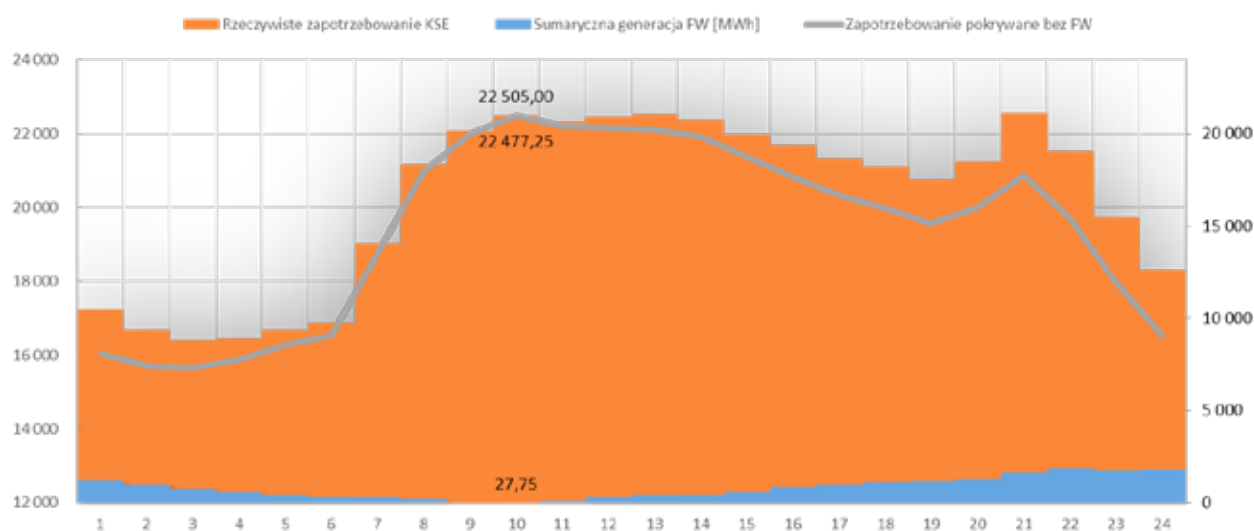
Jednym z motorów rozwoju energetyki odnawialnej jest energetyka wiatrowa. Dynamika inwestycji w obszarze

energetyki wiatrowej na świecie została zobrazowana na rys. 1.

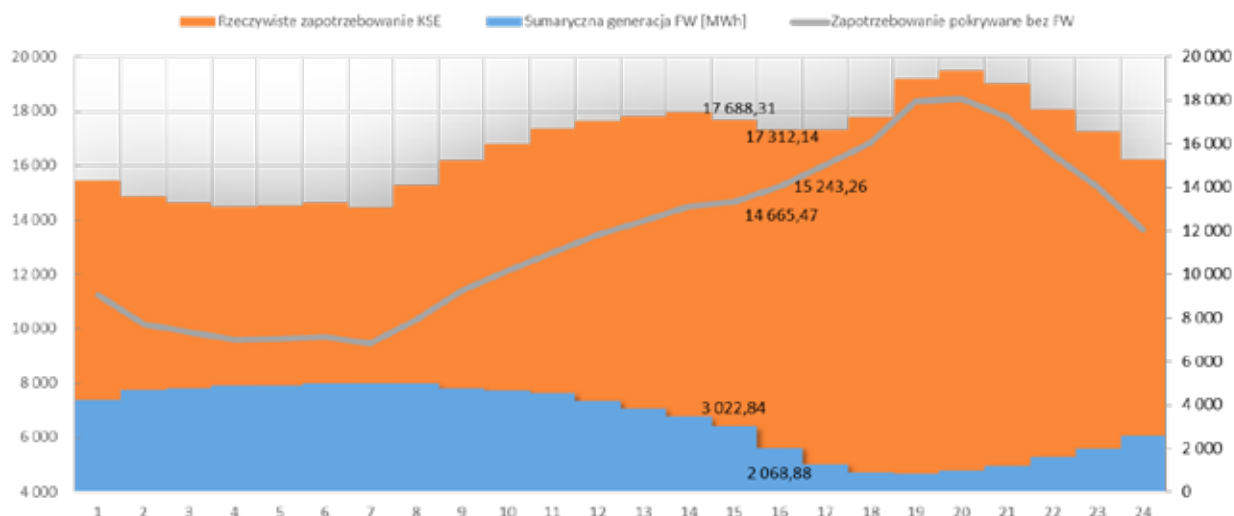
Tak szybki rozwój źródeł trudno prognozowanych nie pozostaje bez wpływu na pozostałe źródła wchodzące w skład systemu elektroenergetycznego. W szczególności istotnej modyfikacji uległy wymagania stawiane źródłom konwencjonalnym, na których wymuszana jest zmiana charakteru ich pracy: z pracy w podstawie obciążenia

do pracy podszczytowej i szczytowej.

Dla zobrazowania zmiennej charakterystyki generacji energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych, autorzy przeanalizowali profil generacji energii elektrycznej z farm wiatrowych, począwszy od dnia 1 stycznia 2019 r. do dnia 21 maja 2019 r. Dla każdego z rysunków oś wartości po lewej stronie odnosi się do „Rzeczywistego zapotrzebowania KSE” oraz „Zapotrzebowania pokrywanego bez FW”,



Rys. 6. Przebiegi zapotrzebowania na moc w dniu, w którym wystąpiła minimalna<sup>2</sup> generacja z FW (8 marca 2019 r.) [MW]  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]



Rys. 7. Przebiegi zapotrzebowania na moc w dniu, w którym wystąpiła maksymalna<sup>2</sup> godzinna zmienność mocy generacji z FW (954 MW; 10 marca 2019 r. pomiędzy godz. 15 i 16) [MW]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]

natomiast oś po prawej stronie odnosi się do „Sumarycznej generacji FW”.

Jak możemy zaobserwować na rys. 2, polski system elektroenergetyczny wykazuje charakterystyczną zmienność, zależną od harmonogramu pracy odbiorników, w szczególności odbiorników przemysłowych, warunków pogodowych, pór roku, wydarzeń kulturalnych, społecznych, itp. [8]. Możemy wyróżnić okresy szczytowego zapotrzebowania na moc (szczyty poranne i wieczorne) oraz okresy obciążenia minimalnego, które przypadają na dolinę nocną, co zostało zobrazowane na rys. 3 i 4.

Maksymalne<sup>2</sup> krajowe zapotrzebowanie na moc wystąpiło w czwartek 24 stycznia i wyniosło 26 135,58 MW, natomiast obciążenie minimalne<sup>2</sup> w dolinie nocnej miało miejsce w poniedziałek wielkanocny, tj. 22 kwietnia i wyniosło 11 399,64 MW. W tych charakterystycznych godzinach maksymalnego i minimalnego zapotrzebowania KSE na moc, generacja energii ze źródeł wiatrowych była na poziomie odpowiednio 1 268,34 MW (FLEOH<sup>3</sup> % 21,6%) oraz 1 515,48 MW (FLEOH% 25,8%).

Z punktu widzenia dobowej zmien-

ności pracy źródeł konwencjonalnych bardziej praktyczne byłoby przedstawienie dni, w których wystąpiła maksymalna i minimalna generacja ze źródeł wiatrowych oraz doby, w której nastąpiła maksymalna godzinowa zmienność generacji w źródłach wiatrowych (maksymalna różnica, która wystąpiła pomiędzy godziną n, a godziną n+1). Im wyższa zmienność generacji energii w źródłach trudno prognozowanych, tym mniej optymalne warunki pracy źródeł konwencjonalnych. Dane obrazujące powyższe prezentujemy na kolejnych wykresach, a w szczególności na wykresie zamieszczonym na rys. 6.

Analiza danych zamieszczonych na rys. 5-7 wskazuje, że w okresie objętym analizą (pomiędzy 1 stycznia 2019 r., a 21 maja 2019 r.) źródła wiatrowe pracowały z maksymalną<sup>2</sup> mocą w piątek 8 marca 2019 r., tj. z mocą 5 222,08 MW (FLEOH% 89,0%). Minimalna<sup>2</sup> generacja ze źródeł wiatrowych miała natomiast miejsce w czwartek 18 kwietnia. Źródła te pracowały wówczas z mocą 27,75 MW (FLEOH% 0,5%).

Na bardziej szczegółową analizę zasługuje przebieg generacji ener-

gii ze źródeł wiatrowych w niedzielę 10 marca 2019 r. W tym dniu wystąpiła bowiem maksymalna<sup>2</sup> godzinna zmienność mocy generacji z farm wiatrowych. Sytuacja ta miała miejsce pomiędzy godziną 15, a godziną 16. W ciągu godziny zmiana mocy farm wiatrowych wyniosła -954 MW. Zmiana zapotrzebowania na moc samego Krajowego Systemu Elektroenergetycznego wyniosła w tym czasie -376 MW. Oznacza to, że ta nagła redukcja mocy generowanej przez farmy wiatrowe wymusiła wzrost mocy generowanej w pozostałych źródłach wchodzących w skład Krajowego Systemu Elektroenergetycznego o 578 MW. To moc bliska mocy zainstalowanej w trzech blokach w ostrołęckiej elektrowni (690 MW), co więcej konieczna do uruchomienia w czasie krótszym niż 60 min. Ten jednostkowy przypadek redukcji mocy farm wiatrowych nie jest oczywiście zbyt dużym wyzwaniem dla Operatora Systemu Przesyłowego (przy braku sytuacji nadzwyczajnych, np. nagłej awarii dużego bloku w systemie lub awarii kilku bloków). Taki ubytek mocy (spadek częstotliwości w systemie) można szybko uzupełnić poprzez uruchomienie



fot. pixabay.com

kilku hydrozespołów w elektrowniach szczytowo-pompowych do pracy generatorowej, wykorzystanie możliwości zwiększenia mocy na połączeniach transgranicznych w kierunku importu, jak również poprzez wymuszenie zmiany otwarcia zaworów regulacyjnych w poszczególnych konwencjonalnych zespołach wytwórczych, co spowoduje zmianę mocy wytwarzanej w systemie w kierunku zrównania bilansu mocy [9].

Zwiększenie mocy zainstalowanej w źródłach trudno prognozowanych będzie wymagało od OSP bardziej wysublimowanych środków zaradczych (w sytuacjach nagłej redukcji lub też wzrostu mocy generowanej w tych źródłach). Na operatorach źródeł konwencjonalnych z kolei wzrost mocy trudno prognozowanych źródeł OZE wymusi modernizację jednostek wytwórczych w kierunku wzrostu ich elastyczności rozumianej jako [10]: zdolności do bezpiecznej pracy bloku w planowanych stanach nieustalonych, podczas podejmowania działań

sterowania jednostką wytwórczą. Pojęcie to dotyczy zarówno zmian obciążenia bloku, jak i jego odstawienia do rezerwy lub ponownego uruchomienia.

Zagadnienie to jest na tyle złożone, jak też interesujące od strony eksploatacyjnej i naukowej, że autorzy niniejszego artykułu poświęcą mu odrębną publikację.

#### Bibliografia

- [1] *The General Assembly. Protection of global climate for present and future generations of mankind. 1988.*
- [2] Hyrzyński R, Badur J, Jaroszevska M, Ziółkowski P, Gotzman S, Froissart M. Wpływ elektrowni wiatrowych na klimat. *Energ Probl Energ i Gospod Paliw* 2019;2:77-83.
- [3] Rada Europejska. Rada Europejska, 23-24.10.2014. *Ramy Polityki Klimatyczno-Energetycznej Do Roku 2030 2014.* <https://www.consilium.europa.eu/pl/meetings/european-council/2014/10/23-24/>.
- [4] BP Statistical Review of World Energy. *Electricity. 2018.*

[5] Eurostat. *Udział energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii elektrycznej brutto, 2004-2017 (%)*. 2019.

[6] International Energy Agency. *World Energy Statistics. IEA Renewables Inf 2018 2018.* <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Electricity&indicator=RenewGenBySource&mode=table&dataTable=RENEWABLES>.

[7] Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA. Dane systemowe. Pr KSE 2019. <https://www.pse.pl/dane-systemowe/praca-kse/informacje-ogolne/opis-systemu>.

[8] Wasiak I. *ELEKTROENERGETYKA W ZARYSIE. Przesył i rozdział energii elektrycznej.* Łódź: Politechnika Łódzka; 2010.

[9] Zajczyk R. *REGULACJA CZĘSTOTLIWOŚCI I MOCY W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM.* Gdańsk: Politechnika Gdańska; 2002.

[10] Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej; Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych. *WSPÓŁPRACA KONWENCJONALNYCH ŹRÓDEŁ WĘGLOWYCH I WIELKOSKALOWEGO OZE.* 2019.

□

1) Udział energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii elektrycznej brutto.

2) Dane te mogą się różnić od danych prezentowanych przez OSP z uwagi na fakt, iż dane dostępne na platformie PSE SA publikowane są w rozdzielczości 1 h (a nie 15 min.).

3) FLEOH (z ang. full load equivalent operating hours) - obrazuje pracę danej jednostki wytwórczej w przeliczeniu na ekwiwalentną liczbę godzin pracy z mocą zainstalowaną lub odpowiadająca tejże wartości wyrażoną w procentach.