

Źródło: Wydawnictwo Nowa Energia

Rafał Hyrzyński, Janusz Badur, Bartosz Kraszewski,
Instytut Maszyn Przepływowych PAN

Paweł Ziółkowski,

Katedra Energetyki i Aparatury Przemysłowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska

Waldemar Dudda,

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Analiza zmienności generacji energii elektrycznej w 2019 r. ze szczególnym uwzględnieniem generacji energii ze źródeł wiatrowych

II połowa roku i okres pandemii w 2020 jako czynnik nieprzewidywalny

Wartykule 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 31 grudnia 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, w szczególności z punktu widzenia generacji energii przez źródła wiatrowe. Dodatkowo porównano kwiecień w 2019 i w 2020 r. i określono średnią różnicę na poziomie -1 825,8 MWe. Należy przy tym zwrócić uwagę, że nawet najbardziej wnikliwie analizy nie przewidują zdarzeń

katastrofalnych o wymiarze globalnym, a na pewno takim zdarzeniem jest pandemia SARS-CoV-2.

Praca ma na celu ukazanie zmienności zapotrzebowania na energię elektryczną w systemie elektroenergetycznym na przestrzeni jednego roku jego funkcjonowania. Analizy takie, jak poniżej zaprezentowana, pozwalają na obserwację zmian wynikających z megatrendów¹, które przeobrażają światową energetykę, zarówno w wymiarze sektorowym, jak też w zakresie kształtowania postaw

klientów, którzy są coraz częściej prosumentami. Analiza zmienności zapotrzebowania systemu elektroenergetycznego na energię elektryczną jest szczególnie istotna w obliczu niezwykle dużych wyzwań, jak np. wdrożenie zasad i celów Europejskiego Zielonego Ładu², który ukształtuje europejską energetykę na następne 10-lecia, a wcześniej przeobrazi jej obecną strukturę. Dobór odpowiednich narzędzi i rozwiązań technicznych w celu wdrożenia założeń tej koniecznej strategii powinien być adekwatny do cha-

¹Megatrendy. Fala zmieniająca przyszłość. Analiza rynkowa, Alcatel-Lucent, 2012 r., s. 8.

²EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The European Green Deal. COM/2019/640 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640>, [12] (online, 07.07.2020).

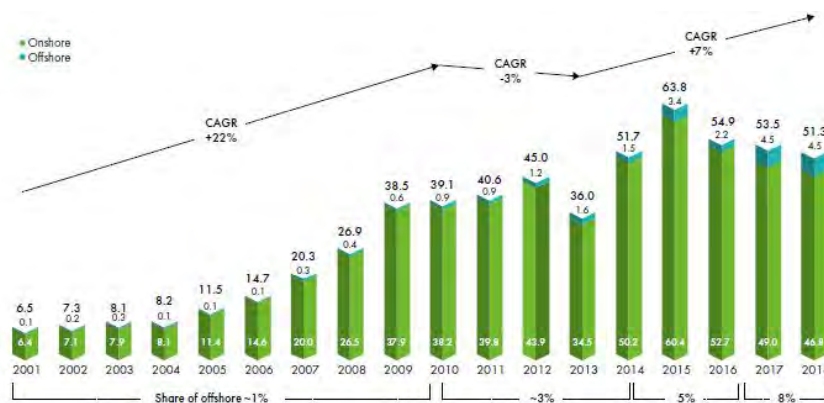
rakterystyki pracy każdego z narodowych systemów elektroenergetycznych do czasu, gdy istnieją fizyczne ograniczenia w zakresie przepływu mocy i energii pomiędzy tymi systemami (narodowymi). W tym kontekście analiza, jak poniżej zaprezentowana, wnosi wartość dodaną do zagadnień związanych z kształtowaniem się europejskiej energetyki jutra. W aspekcie wskazanych celów warto wspomnieć o Międzyrządowym Panelu ds. Zmian Klimatu (z ang. *The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) [1], który jest międzynarodowym organem nakierowanym na dostarczenie rządów 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 nieuchronnych skutków zmian klimatycznych [2].

Warto jednocześnie przypomnieć, że Unia Europejska w ramach polityki w zakresie klimatu i energii do 2030 r. zdefiniowała nam trzy podstawowe cele:

- 1) ograniczenie o co najmniej 40% emisji całkowitej 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.

Zostały one przyjęte przez podczas posiedzenia Rady Europejskiej, które miało miejsce w dniach 23-24 października 2014 r. [3].

W tym miejscu warto przypomnieć informacje z wcześniejszego artykułu autorów³, a mianowicie 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



Rys. 1. Rozwój energetyki wiatrowej na świecie. Roczny przyrost mocy zainstalowanej w źródłach wiatrowych [GW]
Źródło: Global Wind Energy Council. *Global Wind Report 2018* [7]

1 009,0 TWh pochodziło ze źródeł odnawialnych (30,7%⁴). W 2007 r. na świecie wyprodukowano zaś 3 409 TWh energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, co stanowiło 18,3% całkowitej produkcji, natomiast w Unii Europejskiej 544,9 TWh energii ze źródeł odnawialnych, co z kolei stanowiło 16,1% [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., gdzie wyszczególniono udziały przyrostu mocy zainstalowanej na lądzie i na morzu. Na podstawie niniejszego wykresu należy stwierdzić, że w najbliższych latach dynamicznemu rozwojowi (w szczególności) będzie podlegać energetyka wiatrowa na morzu.

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. Zostanie

to przedyskutowane w kolejnych dwóch punktach. Praca z kolei nie podejmuje zagadnień związanych z bezpieczeństwem pracy systemu elektroenergetycznego. Jednocześnie niniejsza praca jest kontynuacją zagadnień podjętych w artykule: J. Badur, R. Hyrzyński, B. Kraszewski, P. Ziółkowski, W. Dudda: Analiza zmienności generacji energii elektrycznej w okresie pierwszych pięciu miesięcy 2019 r. ze szczególnym uwzględnieniem generacji energii ze źródeł wiatrowych, „Nowa Energia” nr 3 (68)/2019.

■ Krajowy System Elektroenergetyczny. Zapotrzebowanie na moc

Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE) opiera się głównie na elektrowniach ciepłych opalanych węglem kamiennym i brunatnym. Źródła te stanowią w sumie 69,6% mocy zainstalowanej. Źródła te są uzupełniane przez elektrownie opalane gazem ziemnym, odnawialne źródła energii (głównie elektrownie wiatrowe i elektrownie wodne) i elektrownie przemysłowe. Szczegółową strukturę mocy zainstalowanej zestawiono w tabeli 1, gdzie wyszczególniono jednostki wytwórcze centralnie dysponowane (JWCD).

³J. Badur, R. Hyrzyński, B. Kraszewski, P. Ziółkowski, W. Dudda: Analiza zmienności generacji energii elektrycznej w okresie pierwszych pięciu miesięcy 2019 r. ze szczególnym uwzględnieniem generacji energii ze źródeł wiatrowych, „Nowa Energia” nr 3 (68)/2019 [13].
⁴Udział energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii elektrycznej brutto.

| Typ źródła/stan na dzień | 31.12.2016 r. | 31.12.2017 r. | 31.12.2018 r. | Struktura procentowa [2018] |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Elektrownie zawodowe | 32 318 | 34 268 | 36 638 | 79,8% |
| Elektrownie zawodowe wodne | 2 292 | 2 328 | 2 341 | 5,1% |
| Elektrownie zawodowe ciepłe, w tym: | 30 025 | 31 939 | 34 296 | 74,7% |
| na węgla kamiennym | 19 083 | 20 247 | 23 215 | 50,5% |
| na węgla brunatnym | 9 332 | 9 352 | 8 752 | 19,1% |
| gazowe | 1 610 | 2 341 | 2 330 | 5,1% |
| Elektr. wiatrowe i inne odnawialne | 5 706 | 6 341 | 6 621 | 14,4% |
| Elektrownie przemysłowe | 2 828 | 2 813 | 2 680 | 5,8% |
| JWCD | 25 097 | 26 952 | 29 128 | 63,4% |
| nJWCD | 15 755 | 16 470 | 16 811 | 36,6% |
| Ogółem | 40 852 | 43 421 | 45 939 | 100,0% |

Źródło: PSE SA

Tab. 1. Struktura mocy zainstalowanej w KSE [MW]⁵

■ Krajowa produkcja i zużycie energii elektrycznej

Krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną pokrywane jest głównie przez elektrownie ciepłe zawodowe, w których energia chemiczna zawarta w węglu kamiennym i brunatnym przetwarzana jest docelowo na energię elektryczną. W 2018 r. w elektrowniach tych wyprodukowano łącznie 141 037 GWh energii elektrycznej.

W związku z wdrażanymi politykami dotyczącymi wsparcia odnawialnych źródeł energii (OZE) odgrywają one coraz bardziej istotną rolę w KSE. W 2018 r. w źródłach tych wyprodukowano łącznie 14 155 GWh energii elektrycznej (łącznie; w tym w elektrowniach wiatrowych i wodnych). Trzecią grupą źródeł wytwórczych są elektrownie przemysłowe, w których wyprodukowano 10 022 GWh energii elektrycznej.

Krótką charakterystykę najważniejszych informacji dotyczących pracy KSE za 2018 r.:

- suma mocy zainstalowanej w Polskim Systemie Elektroenergetycznym na dzień 31 grudnia 2018 r. wynosiła 45 939 MW i istotnie wzrosła w stosunku do ub. r., tj. o 2 518 MW,
- suma mocy osiągalnej w Polskim Systemie Elektroenergetycznym na dzień 31 grudnia 2018 r. wynosiła 45 650 MW i wzrosła proporcjonalnie do wzrostu mocy zainstalowanej w stosunku do ub. r., tj. o 2 318 MW,
- na koniec 2018 r. łączna moc osiągalna ciepłych elektrowni zawodowych wyniosła 34 296 MW i stanowiła 74,7% ogółu mocy osiągalnej w systemie elektroenergetycznym,
- maksymalne krajowe zapotrzebowanie na moc w szczytach wie-

czornych dni roboczych w 2018 r. wystąpiło 28 lutego o godz. 18.15 i wyniosło 26 448 MW. Natomiast minimalne krajowe zapotrzebowanie na moc w dolinie nocnej wystąpiło 24 czerwca o godz. 4.45 i wyniosło 12 211 MW. Różnica pomiędzy zapotrzebowaniem maksymalnym i minimalnym wyniosła 14 237 MW (53,8% zapotrzebowania szczytowego),

- średnia roczna wielkość rezerwy w elektrowniach krajowych z dobowych szczytów obciążenia dni roboczych dostępna dla Operatora Systemu Przesyłowego (OSP) 6 w 2018 r. wyniosła 6 498 MW,
- w 2018 r. nie było ograniczeń w poborze mocy ani wyłączeń odbiorców, spowodowanych brakiem mocy w systemie elektroenergetycznym,
- produkcja energii elektrycznej w 2018 r. wyniosła 165 214 GWh

⁵Zestawienie danych ilościowych dotyczących funkcjonowania KSE w 2018 r. [14].

⁶Funkcją OSP w Polsce pełni spółka Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA.

i była niższa o 0,39% w stosunku do roku poprzedniego,

- krajowe zużycie energii elektrycznej w 2018 r. wyniosło 170 932 GWh

i było niższe od zużycia w 2017 r. o ponad 1,6%,

- saldo wymiany energii elektrycznej między Polską, a sąsiednimi kraja-

mi w 2018 r. wyniosło 5 718 GWh (przewaga eksportu nad importem), a dynamika w stosunku do 2017 r. wyniosła 150,05%.

| Rok | Krajowa produkcja energii | z tego: | | | | | Krajowe zużycie energii |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|-------------------------|-------------------------|
| | | Elektrownie zawodowe | Elektrownie zawodowe | | Elektrownie wiatrowe i inne odnawialne | Elektrownie przemysłowe | |
| | | | Elektrownie wodne | Elektrownie ciepłone | | | |
| 1990 | 136 336 | 128 199 | 3 300 | 124 899 | 0 | 8 137 | 135 275 |
| 1991 | 134 610 | 126 783 | 3 388 | 123 395 | 0 | 7 827 | 131 922 |
| 1992 | 132 835 | 124 557 | 3 564 | 120 993 | 0 | 8 278 | 128 803 |
| 1993 | 133 747 | 125 264 | 3 553 | 121 711 | 0 | 8 483 | 131 336 |
| 1994 | 134 890 | 126 422 | 3 744 | 122 678 | 0 | 8 468 | 132 211 |
| 1995 | 138 701 | 130 176 | 3 814 | 126 362 | 0 | 8 525 | 135 900 |
| 1996 | 142 717 | 134 352 | 3 839 | 130 513 | 0 | 8 365 | 139 593 |
| 1997 | 142 414 | 134 380 | 3 739 | 130 641 | 0 | 8 034 | 140 228 |
| 1998 | 142 244 | 134 554 | 4 243 | 130 311 | 0 | 7 690 | 138 770 |
| 1999 | 141 286 | 133 692 | 4 157 | 129 535 | 0 | 7 593 | 136 351 |
| 2000 | 144 417 | 136 762 | 3 984 | 132 778 | 0 | 7 655 | 138 043 |
| 2001 | 144 574 | 136 412 | 4 057 | 132 355 | 0 | 8 159 | 137 843 |
| 2002 | 143 233 | 135 123 | 3 722 | 131 401 | 0 | 8 110 | 136 165 |
| 2003 | 150 751 | 142 494 | 3 146 | 139 348 | 0 | 8 257 | 140 590 |
| 2004 | 153 362 | 144 821 | 3 525 | 141 296 | 0 | 8 541 | 144 069 |
| 2005 | 156 024 | 147 616 | 3 587 | 144 029 | 0 | 8 407 | 144 838 |
| 2006 | 160 848 | 152 498 | 2 822 | 149 676 | 69 | 8 280 | 149 847 |
| 2007 | 159 528 | 150 865 | 3 908 | 146 957 | 446 | 8 216 | 154 170 |
| 2008 | 155 567 | 146 845 | 2 515 | 144 330 | 678 | 8 044 | 154 980 |
| 2009 | 150 923 | 141 872 | 2 751 | 139 121 | 846 | 8 203 | 148 718 |
| 2010 | 156 342 | 146 107 | 3 268 | 142 839 | 1 312 | 8 923 | 154 987 |
| 2011 | 163 153 | 151 319 | 2 529 | 148 790 | 2 833 | 9 000 | 157 909 |
| 2012 | 159 853 | 146 833 | 2 264 | 144 569 | 4 025 | 8 991 | 157 013 |
| 2013 | 162 501 | 147 435 | 2 762 | 144 673 | 5 895 | 9 171 | 157 980 |
| 2014 | 156 567 | 140 290 | 2 520 | 137 770 | 7 256 | 9 020 | 158 734 |
| 2015 | 161 772 | 141 901 | 2 261 | 139 640 | 10 114 | 9 757 | 161 438 |
| 2016 | 162 626 | 140 727 | 2 399 | 138 328 | 11 769 | 10 130 | 164 625 |
| 2017 | 165 852 | 141 790 | 2 767 | 139 023 | 14 005 | 10 057 | 168 139 |
| 2018 | 165 214 | 143 234 | 2 197 | 141 037 | 11 958 | 10 022 | 170 932 |
| Δ 2018-1990 | 28 878 | 15 035 | -1 103 | 16 138 | 11 958 | 1 885 | 35 657 |
| CAGR ¹ 1990, 2018 | 0,69% | 0,40% | -1,44% | 0,43% | 53,66% | 0,75% | 0,84% |

Źródło: PSE SA

Tab. 2 . Krajowa produkcja i zużycie energii elektrycznej w latach 1990-2018 [GWh] ⁷

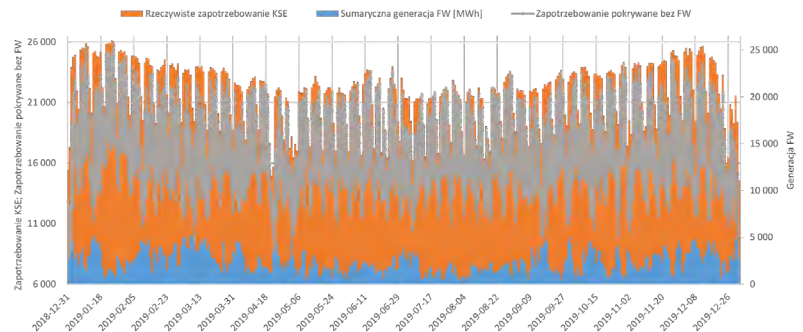


Charakterystyka generacji energii elektrycznej

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 31 grudnia 2019 r. (rys. 2). Dla rysunków 2-4 pionowa oś wartości po lewej stronie odnosi się do „Rzeczywistego zapotrzebowania KSE” oraz „Zapotrzebowania pokrywanego bez FW”, natomiast pionowa oś po prawej stronie odnosi się do „Sumarycznej generacji FW”. Oś wartości po lewej stronie (6 000-26 000 MW) tyczy się innego zakresu niż po prawej stronie (0-25 000 MW). Należy wspomnieć, że ilość watów (W) w danej godzinie (h) jest watogodziną (Wh).

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. [9]. Możemy wyróżnić okresy szczytowego zapotrzebowania na moc (szczyty poranne i wieczorne) oraz okresy obciążenia minimalnego, które przypadają na dolinę nocną, co zostało zobrazowane na rysunkach 3-5.

Maksymalne krajowe zapotrzebowanie na moc wystąpiło w czwartek 24 stycznia i wyniosło 26 135,58 MW, natomiast obciążenie minimalne w dolinie nocnej miało miejsce w poniedziałek wielkanocny, tj. 22 kwietnia i wyniosło 11 399,64 MW. Analiza danych zamieszczonych na powyższych wykresach wskazuje, że w okresie objętym analizą (pomiędzy 1 stycznia 2019 r., a 31 grudnia 2019 r.) źródła wiatrowe pracowały z maksymalną mocą w piątek 8 marca 2019 r., tj. z mocą 5 222,08 MW (FLEOH % 89,0%). Te charakterystyczne dni wraz z rysunkami i ich interpretacją zostały zo-

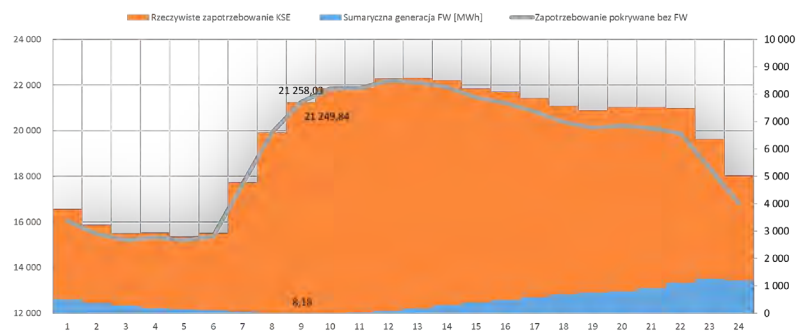


Rys. 2. Pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie od 1 stycznia 2019 r. do 31 grudnia 2019 r. [MW]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8]

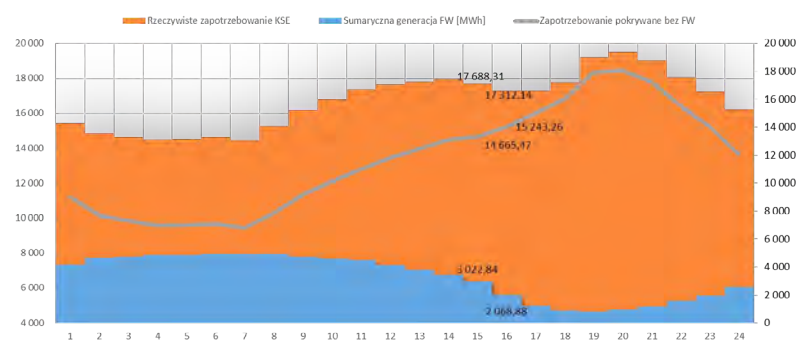
brazowane w artykule [14]: J. Badur, R. Hryziński, B. Kraszewski, P. Ziółkowski, W. Dudda: Analiza zmienności generacji energii elektrycznej w okresie pierwszych pięciu miesięcy 2019 r. ze szcze-

gólnym uwzględnieniem generacji energii ze źródeł wiatrowych, „Nowa Energia” nr 3 (68)/2019. Jednak w niniejszym artykule warto zwrócić uwagę na czwartek 25 lipca 2019 r., w którym wystąpiła minimal-



Rys. 3. Przebiegi zapotrzebowania na moc w dniu, w którym wystąpiła minimalna generacja z farm wiatrowych (FW) (25 lipca 2019 r.) [MW]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8]

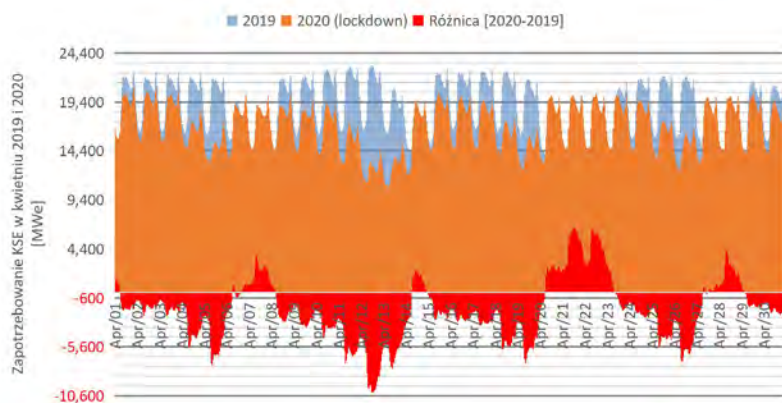


Rys. 4. Przebiegi zapotrzebowania na moc w dniu, w którym wystąpiła maksymalna godzinna zmienność mocy generacji z farm wiatrowych (FW) (954 MW; 10 marca 2019 r. pomiędzy godz. 15 i 16) [MW]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8]

7 Zestawienie danych ilościowych dotyczących funkcjonowania KSE w 2018 r. [14].

8 Model CAGR (z ang. Compound Annual Growth Rate) służy do obliczania średniej rocznej stopy zwrotu z inwestycji oraz wyznaczania średniego rocznego wzrostu danej wielkości jak np. „O ile średnio rocznie rosną zyski przedsiębiorstwa” lub „o ile % średnio w roku rośnie majątek spółki” [15].



Rys. 5. Porównanie zapotrzebowania na energię elektryczną wraz z określeniem różnic mocy w okresie od 1 kwietnia do 30 kwietnia w 2019 r. i w 2020 r. [MW]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8]

na generacja ze źródeł wiatrowych (rys. 3). Źródła te pracowały wówczas z mocą 8,18 MW (FLEOH % 0,14%).

Na szczegółową analizę i powtórzenie wyniku z poprzedniego artykułu zasługuje przebieg generacji energii ze źródeł wiatrowych w niedzielę 10 marca 2019 r. (rys. 4). W tym dniu wystąpiła bowiem maksymalna godzinna zmienność mocy generacji z farm wiatrowych. Sytuacja ta miała miejsce pomiędzy godziną 15, a godziną 16. W ciągu godziny zmiana mocy farm wiatrowych (FW) wyniosła - 954 MW. Zmiana zapotrzebowania na moc samego Krajowego Systemu Elektroenergetycznego wyniosła w tym czasie -376 MW. Oznacza to, że ta nagle 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. naglej awarii dużego bloku w systemie lub awarii kilku bloków). Taki ubytek mocy (spadek częstotliwości w systemie) można szyb-

ko uzupełnić poprzez uruchomienie 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 [10].

■ Wpływ pandemii na zapotrzebowanie na moc niezbędną do generacji energii elektrycznej

Uwidacznia się wpływ pandemii SARS-CoV-2 w zapotrzebowaniu na moc niezbędną do generacji energii elektrycznej. Warto wspomnieć, że Wielkanoc zarówno w 2019 r. jak i w 2020 r. przypadała w kwietniu. Widoczne to jest na rys. 5, gdzie występuje znaczne zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną: 21 i 22 kwietnia 2019 r. oraz 12 i 13 kwietnia 2020 r. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w 2020 było większe jedynie w 6 dobach w stosunku do kwietnia 2019 r. (7, 14, 20, 21 22 i 28 kwietnia). Jednak największa różnica pojawiła się dla dwóch dni, to jest niedzieli i poniedział-

ku wielkanocnego, kiedy średniodobowa różnica zapotrzebowania między 2020, a 2019 wyniosła odpowiednio: -8 013,21 MWe (niedziela) i -5 781,12 MWe (poniedziałek). Z kolei, jeżeli prześledzimy o ile spadło zapotrzebowanie na energię elektryczną dla całego kwietnia 2020 r. w porównaniu do kwietnia 2019 to średnio wynosi ono -1 825.8 MWe dla każdej godziny z 30 analizowanych dni, co przekłada się na spadek o ok. 1,3 TWh. Największa różnica między 2020, a 2019 wyniosła -10 296.45 MWe i przypadła na Wielkanoc 2020 r. (poniedziałek, 12 kwietnia o godz. 13). Warto wspomnieć, że w analizach nie uwzględniono energii elektrycznej wytwarzanej w fotowoltaice, która jest coraz bardziej widoczna w wartościach mocy zainstalowanej (ok. 2,1 GWe_p). Polskie bazy danych nie umożliwiają jednak takiej analizy, gdyż dane godzinowe pracy urządzeń wytwórczych przyłączonych do sieci Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) nie są dostępne w żadnej otwartej bazie danych. Swoją drogą należy skomentować ten fakt jako powód do zastanowienia dla OSD, które wydając rokrocznie blisko 7 mld zł na inwestycje, w tym przeznaczając istotne środki na systemy informatyczne i bazy danych, nie publikują w zasadzie żadnych danych, które można by wykorzystać w badaniach naukowych, czy też wykorzystywać je komercyjnie, np. opracowując różnego rodzaju aplikacje. Wyjątkiem jest tutaj operator systemu przesyłowego (PSE SA), który od wielu lat konsekwentnie i regularnie publikuje dane dot. parametrów pracy KSE.

Charakterystykę mocy zainstalowanej w instalacjach PV przedstawiono w tabeli nr 3.

■ Wnioski

Zwiększenie mocy zainstalowanej w źródłach trudno prognozowanych będzie wymagało od OSP bardziej wysublimowanych środków zaradczych (w sytuacjach naglej redukcji lub też wzrostu mocy generowanej w tych źródłach). Na

| Rodzaj instalacji | Zakres mocy | System wsparcia | Moc [MW] |
|-------------------|--------------------|---|----------|
| Mikroinstalacje | do 50 kW | prosumencki | 1294 |
| Małe instalacje | od 50 kW do 500 kW | cena gwarantowana (średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym) | 50 |
| Instalacje PV | powyżej 500 kW | świadczenia pochodzenia (do 30 czerwca 2016 r.) | 75 |
| Instalacje PV | powyżej 500 kW | system aukcyjny | 400 |
| RAZEM | | | 1819 |

Źródło: IEO, Rynek fotowoltaiki w Polsce, edycja VIII, czerwiec 2020

przy tym zwrócić uwagę, że nawet najbardziej wnikliwe analizy nie przewidują zdarzeń o wymiarze globalnym, a na pewno takim zdarzeniem jest pandemia SARS-CoV-2. O skali ograniczania konsumpcji, pośrednio świadczy wykres zapotrzebowania na moc potrzebną do wytworzenia niezbędnej energii elektrycznej w kwietniu 2019 (przed pandemią) i 2020 r. (w trakcie pandemii po wprowadzeniu przez rząd tzw. lockdownu), przedstawiony na rys 5.

□

Tab. 3 Moc zainstalowana w instalacjach PV w Polsce. Stan na 1Q2020 r.

operatorach źródeł konwencjonalnych z kolei wzrost mocy trudno prognozowanych źródeł OZE wymusi modernizację jednostek wytwórczych w kierunku ich elastyczności rozumianej jako [11]: 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. Należy



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.
- [7] Global Wind Report. *ANNUAL MARKET UPDATE 2018*. Global Wind Energy Council; 2019.
- [8] Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA. *Dane systemowe*. Pr KSE 2019.
- [9] Wasiak I. *ELEKTROENERGETYKA W ZARYSIE. Przesył i rozdział energii elektrycznej*. Łódź: Politechnika Łódzka; 2010.
- [10] Zajczyk R. *REGULACJA CZĘSTOTLIWOŚCI I MOCY W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM*. Gdańsk: Politechnika Gdańska; 2002.
- [11] Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej; Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych. *WSPÓŁPRACA KONWENCJONALNYCH ŹRÓDEŁ WĘGLOWYCH I WIELKOSKALOWEGO OZE*. 2019.
- [12] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS *The European Green Deal COM/2019/640 final*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640>, [online, 07.07.2020].
- [13] J. Badur, R. Hyrzyński, B. Kraszewski, P. Ziółkowski, W. Dudda: *Analiza zmienności generacji energii elektrycznej w okresie pierwszych pięciu miesięcy 2019 r. ze szczególnym uwzględnieniem generacji energii ze źródeł wiatrowych*. *Nowa Energia* nr 3 (68)/2019.
- [14] PSE SA. *Zest danych ilościowych dotyczących Funkc KSE w 2018 roku 2019*. <https://www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-rb/raporty-rocne-z-funkcjonowania-kse-za-rok/raporty-za-rok-2018> (udostępniono 2 styczeń 2020).
- [15] Średnia roczna stopa zwrotu - model CAGR 2014. <https://www.inwestycjegyeldowe.com/2014/09/19/średnia-roczna-stopa-zwrotu-model-cagr/>(udostępniono 2 styczeń 2020).