

Aleksandra Augustyn, Tomasz Mirowski

Możliwości rozwoju magazynów energii w Polsce w perspektywie długoterminowej

Polityka i Społeczeństwo nr 1 (16), 89-99

2018

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Aleksandra Augustyn, Tomasz Mirowski*

**MOŻLIWOŚCI ROZWOJU
MAGAZYNÓW ENERGII W POLSCE
W PERSPEKTYWIE DŁUGOTERMINOWEJ**

**THE POSSIBILITIES OF ENERGY STORAGE DEVELOPMENT
IN POLAND FROM A LONG-TERM PERSPECTIVE**

Abstract

The EU climate policy assumes an increase of the renewable energy share in total energy generation to 27% by 2030 year. This step is a response to the climate change, based on the fact that the operation of renewable energy power plants is emission-free. However, it is important to note that electricity generation from renewable sources, mainly wind and photovoltaic, is highly dependent on atmospheric conditions, and is thus unreliable. As a consequence, the development of stable energy sources is required in order to guarantee energy security. Promising solutions include energy storage technologies. The power-to-gas systems may be deployed as adjuncts to wind parks or photovoltaic generation. The energy generated at the time of maximum sunshine or wind is accumulated and used at the moment of high electricity demand. The purpose of this article is to propose a location for the development of the Power-to-gas technology in Poland aiming to store energy derived from renewable energy sources.

Key words: renewable energy sources, energy storage, power to gas

1. Wprowadzenie

Wśród krajów rozwiniętych oraz rozwijających się odnotowuje się coraz większy udział energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Wynika to zarówno z postępu naukowego oraz technologicznego w tych krajach, jak również jest odpowiedzią na postępujące zmiany klimatu. Nowe cele Unii Energetycznej przyjęte w listopadzie 2016 roku w do-

* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, ul. Józefa Wybickiego 7, 30-001 Kraków, adres e-mail: augustyn@min-pan.krakow.pl, mirowski@min-pan.krakow.pl

kumencie zwanym Pakietem Zimowym brzmią następująco: „efektywność energetyczna przede wszystkim, światowy lider na polu energii odnawialnej oraz uczciwe traktowanie konsumentów” (Komunikat... 2016). W przedmiotowym dokumencie cały rozdział poświęcony jest energii ze źródeł odnawialnych, co jednoznacznie wskazuje, że Unia Europejska dąży do dalszego wzrostu udziału tych nośników w całkowitym bilansie wytwarzania energii. Docelowo ma on wynieść 27% w 2030 roku (Komunikat... 2014), a rozwijać się mają przede innowacyjne technologie, dzięki którym znacząco obniży się emisja gazów cieplarnianych. Pomimo braku wskazania celów ilościowych dla krajów członkowskich, poszczególni członkowie zobowiązani są do zadeklarowania swojego wkładu na rzecz osiągnięcia planowanego założenia poprzez wprowadzenie Krajowych Planów Działań.

Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych bezdyskusyjnie wpływa na ochronę klimatu, jednak niesie za sobą szereg problemów związanych z zarządzaniem pracą sieci elektroenergetycznej. Integracja rosnącego udziału energii elektrycznej ze zmiennych źródeł odnawialnych wymaga większej elastyczności w systemie elektroenergetycznym. Prognozuje się, że produkcja energii pochodzącej z OZE osiągnie w Unii Europejskiej 67% w 2050 roku. Natomiast z samych źródeł zmiennych, takich jak wiatr oraz słońce, osiągnie 30% całkowitej produkcji (IEA 2016). Tak duża ilość zainstalowanej mocy wpłynie na silne niedopasowanie pomiędzy produkcją energii elektrycznej a zapotrzebowaniem, powodując problemy związane z brakiem lub nadmiarem energii w zależności od warunków pogodowych (Guandalini G. i in. 2017). Komisja Europejska w ramach dokumentów Pakietu Zimowego wskazuje na konieczność określenia nowych ram regulacyjnych, które pozwolą na stworzenie niedyskryminujących zasad rynkowych dla wszystkich technologii. Mają one zagwarantować odnawialnym źródłom energii pełny udział w rynku energii elektrycznej, umożliwić zarządzanie zmiennością produkowanej energii oraz zapewnić bezpieczeństwo dostaw do odbiorców końcowych. Rynki hurtowe państw członkowskich stoją zatem przed ogromnym wyzwaniem, a mianowicie muszą tak określić zasady przeprowadzania transakcji (zwłaszcza krótkoterminowych), aby odpowiadały na wymogi związane ze zmiennością wytwarzania. Przed poważnymi wyzwaniami stoją także operatorzy systemów przesyłowych i dystrybucyjnych, ponieważ integracja odnawialnych źródeł energii będzie wymagała solidnej infrastruktury zarówno przesyłowej, jak i dystrybucyjnej. W założeniach Komisji Europejskiej pojawia się również bardziej efektywne wykorzystanie istniejących oraz powstanie nowych interkonektorów na terenie Unii Europejskiej (Komunikat...

2016). Należy mieć jednak na uwadze, że wprowadzenie proponowanych zmian nie rozwiązuje kwestii związanej z odzyskiem nadmiaru produkowanej energii.

2. Możliwości magazynowania energii elektrycznej

Bardziej efektywne wykorzystanie energii pochodzącej ze źródeł alternatywnych oraz sprawniejsze zarządzanie systemami produkcji i dystrybucji są możliwe dzięki zastosowaniu technologii magazynowania energii. Rozwój technologii gromadzenia energii jest jedną z możliwości rozwiązania problemu pokrycia zapotrzebowania na energię w okresach szczytowego zapotrzebowania. W zależności od rodzaju konwersji energii, rozwiązania te możemy podzielić na kilka kategorii: mechaniczne, elektryczne, elektrochemiczne oraz chemiczne.

Spośród mechanicznych metod gromadzenia energii możemy wyróżnić między innymi: elektrownie szczytowo-pompowe, magazyny na sprężone powietrze (CAES), akumulatory hydrauliczne, sprężyny oraz koła zamachowe. Najpowszechniej stosowane są elektrownie szczytowo-pompowe, cechując się możliwością zgromadzenia dużych wartości mocy. Ich budowa posiada jednak ograniczenia związane z położeniem geograficznym. W związku z powyższym nie stanowią one rozwiązania dla zmiennej produkcji energii ze źródeł odnawialnych (Robb D. 2011). Potencjał zgromadzenia większej ilości mocy posiadają również magazyny na sprężone powietrze. W magazynach CAES nadmiar energii elektrycznej wykorzystywany jest do sprężania powietrza, które przechowywane jest w podziemnych zbiornikach. Mając na uwadze efektywność ekonomiczną wykorzystywane są głównie zbiorniki naturalne, takie jak kawerny solne, przestrzenie z formacji wodonośnych czy wyrobiska kopalni soli. W czasie zapotrzebowania na energię powietrze jest rozprężane, aby zasilić turbinę gazową. Obecnie istnieją dwie elektrownie wykorzystujące technologię CAES: w Huntorfie (Niemcy) o mocy zainstalowanej 290 MW oraz w McIntosh (USA) o mocy 110 MW (Bouman E. i in. 2016). Przedstawione powyżej metody magazynowania energii różnią się od pozostałych mechanicznych magazynów energii (akumulatorów hydraulicznych, sprężyn oraz kół zamachowych) zarówno wielkością gromadzonej mocy, jak i rodzajem zbiorników, na których bazują. Elektrownie szczytowo-pompowe oraz magazyny CAES wykorzystują zbiorniki naturalne, natomiast akumulatory hydrauliczne, sprężyny i koła zamachowe wykorzystują zbiorniki sztuczne.

Kolejnymi sposobami gromadzenie energii są metody elektryczne. Wśród nich należy wymienić kondensatory, superkondensatory oraz nadprzewodzące pojemniki energii (SMES) (Tomczyk P. 2011). W kondensatorach oraz superkondensatorach magazynowanie energii odbywa się w polu elektrycznym. Kondensatorem nazywa się układ dwóch przewodników, pomiędzy którymi znajduje się warstwa dielektryka. Superkondensator łączy w sobie cechy zarówno kondensatora, jak i tradycyjnego akumulatora. Wykorzystuje on zjawisko warstwy podwójnej (w jej obrębie gromadzony jest ładunek elektryczny) oraz efekt zwiększenia powierzchni elektrod przy równoczesnej minimalizacji odległości pomiędzy nimi. Dzięki wyżej wymienionym właściwościom superkondensatory ulegają szybkiemu ładowaniu i rozładowaniu (3–30 sekund), co z kolei skutkuje dużą gęstością mocy (<10 000W/kg), która może zostać zmagazynowana przy zachowaniu sprawności od 85 do 98% (Tomczyk P. 2011). Wśród wad tego rozwiązania należy wymienić niską wartość zmagazynowanej energii właściwą oraz wysoką cenę. Podobne problemy występują również przy stosowaniu SMES. Zdolne są one do przenoszenia dużej mocy, ale posiadają niewielki gęstości energii. Podstawą funkcjonowania SMES jest gromadzenie energii w polu magnetycznym cewek indukcyjnych, które są wykonane z nadprzewodników. Cena elementów nadprzewodnikowych jest na tyle wysoka, że ten rodzaj magazynowania energii jest wykorzystywany w praktyce bardzo rzadko (Bednarek K. i in. 2012).

Częściej stosowane są magazyny elektrochemiczne, do których należą akumulatory, akumulatory przepływowe oraz ogniwa paliwowe. Swoje powszechne stosowanie zawdzięczają nieskomplikowanej budowie i zasadzie działania, jak również niższej cenie. Składają się one z elektrolitu oraz dwóch elektrod, w wyniku reakcji zachodzących pomiędzy wymienionymi elementami na jednej elektrodzie pojawia się nadmiar elektronów, a na drugiej powstaje niedobór, skutkując przepływem elektronów. Zmiana napięcia wywołana przepływem elektronów powoduje wytworzenie energii elektrycznej. Do wad takich rozwiązań należą ograniczone liczby cykli ładowanie-rozładowanie oraz ograniczenia w napięciach i prądach pracy. Ponadto związki chemiczne, z których składają się akumulatory, są szkodliwe dla środowiska i trudne do zutylizowania.

Ostatnie spośród wymienionych sposobów gromadzenia energii to metody chemiczne. Energia może zostać zmagazynowana w postaci wodoru, biogazu lub paliw syntetycznych. Oznacza to że nadmiar energii elektrycznej (na przykład wytworzonej z odnawialnych źródeł energii) możemy wykorzystać do produkcji wyżej wymienionych paliw, a następnie (na przykład w drodze spalania) odzyskać część tej energii.

Obecnie prowadzone są badania dotyczące magazynowania energii w postaci wodoru. Wodór jest paliwem atrakcyjnym energetycznie, jego ciepło spalania w czystej postaci wynosi $12,74 \text{ MJ/m}^3$ ($3,53 \text{ kWh/m}^3$), a wartość opałowa $10,78 \text{ MJ/m}^3$ ($2,99 \text{ kWh/m}^3$). Ponadto jest gazem nieszkodliwym dla środowiska naturalnego, ponieważ produktem spalania wodoru jest para wodna. Wiele prac naukowych porusza tematykę magazynowania energii w postaci energii chemicznej wodoru, a dokładniej w technologii *Power-to-gas* (Schneider L. i in. 2015, Balan M. i in. 2016, Kötter E. i in. 2016, Guandalini G. i in. 2017). Założeniem wyżej wymienionej technologii jest wykorzystanie nadwyżek energii elektrycznej produkowanej ze zmiennych źródeł energii do produkcji wodoru. Energia elektryczna jest zatem wykorzystywana do przeprowadzenia procesu elektrolizy wody, w którym to pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego pomiędzy elektrodami następuje uporządkowany przepływ jonów w elektrolicie wodnym. W zależności od rodzaju elektrolizera na anodzie i katodzie mogą zachodzić różne reakcje chemiczne. Kilka z nich zostało przedstawione w tabeli 1. Produktami opisywanego procesu są wodór oraz tlen. Powstały wodór może być wykorzystywany na wiele sposobów. W postaci sprężonej może zostać zmagazynowany, a następnie wykorzystany na przykład do zasilania dedykowanych pojazdów. W połączeniu z ditlenkiem węgla ulega metanizacji (tzw. reakcja Sabatiera: $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) i może być wtłaczany do dystrybucyjnej sieci gazowej (Ogonowski J. i in. 2010). Wodór może być również wtłaczany bezpośrednio do gazociągu w dopuszczalnej ilości, która nie zmienia parametrów pracy sieci.

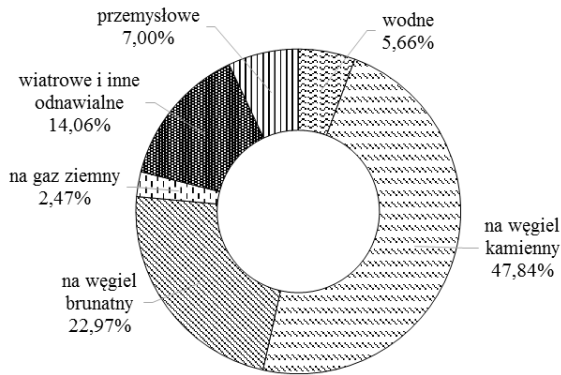
Tabela 1. Reakcje zachodzące na wybranych elektrolizerach (Tomczyk P. i in. 2006)

Elektrolizer	Reakcja zachodząca na anodzie	Reakcja zachodząca na katodzie
Alkaiczny	$4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$	$4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2 + 4\text{OH}^-$
Membranowy z membraną protonowymienną	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$	$4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$
Membranowy z membraną tlenkową	$2\text{O}^- \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}^-$	$2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2 + 2\text{O}^{2-}$

3. Energetyka wiatrowa w Polsce

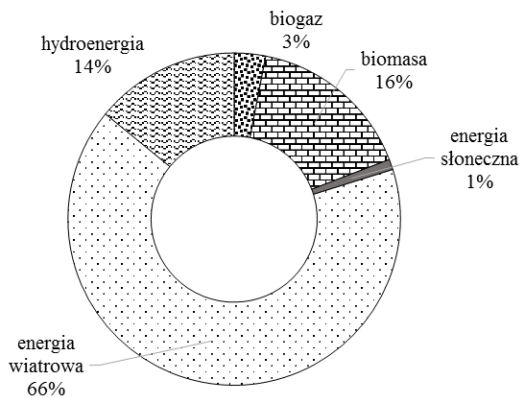
Udział elektrowni wiatrowych w strukturze mocy zainstalowanej w 2015 roku wyniósł około 11%, co plasuje je na trzecim miejscu w kraju, zaraz po elektrowniach zawodowych na węgiel kamienny i brunatny.

Struktura mocy zainstalowanej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym została przedstawiona na rysunku 1. Całkowita wartość mocy zainstalowanej w Polsce w 2015 roku wyniosła 40,4 GW, a z elektrowni wiatrowych 4,6GW (PSE 2015, URE 2015). Dane pochodzące od operatora sieci przesyłowych przedstawiają elektrownie wiatrowe oraz pozostałe elektrownie odnawialne (poza elektrowniami wodnymi) jako jedno zestawienie. Struktura mocy zainstalowanej z wyszczególnieniem wszystkich odnawialnych źródeł energii jest przedstawiana w raportach Urzędu Regulacji Energetyki (URE). Udział alternatywnych nośników energii w 2015 roku przedstawia rysunek 2. Wynika z niego, że energetyka wiatrowa stanowi 66% wszystkich źródeł odnawialnych.



Rys. 1. Struktura mocy zainstalowanej w Polsce w 2015 roku

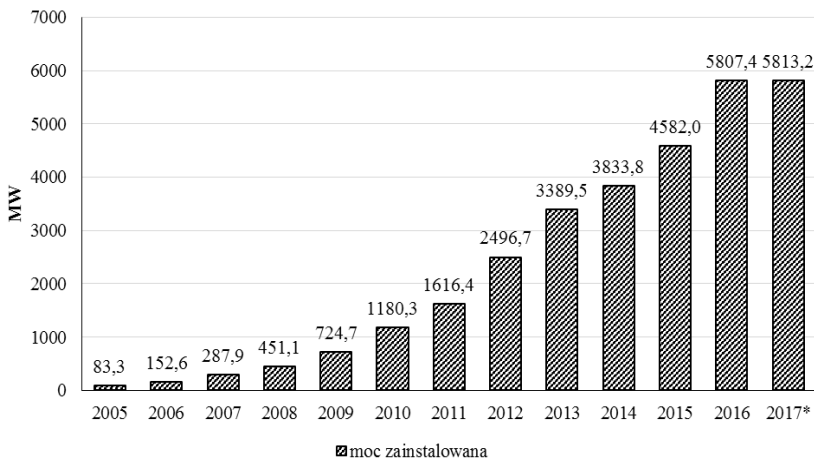
Źródło: opracowanie własne na podstawie PSE 2015.



Rys. 2. Struktura mocy zainstalowanej z odnawialnych źródeł energii w Polsce w 2015 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie URE 2015.

Aktualizacje raportów dotyczących odnawialnych źródeł energii dostępne są częściej niż w przypadku raportów wydawanych przez URE stąd można pozyskać informacje, że na dzień 31.03.2017 rok udział elektrowni wiatrowych wynosił już 69% (5,8 GW) (URE 2017). Wzrost ten nastąpił kosztem zmniejszenia udziału hydroelektrowni (z 14% w 2015 roku do 12% w 2017 roku) oraz instalacji wykorzystujących biomasę (z 16% w 2015 roku na 15% w 2017 roku). Udział instalacji wykorzystujących energię promieniowania słonecznego oraz instalacji wykorzystujących biogaz nie uległ zmianie w krajowej strukturze mocy zainstalowanej na przestrzeni omawianych lat. Wzrost mocy zainstalowanej z instalacji wykorzystujących energię wiatru w Polsce został przedstawiony na rysunku 3.

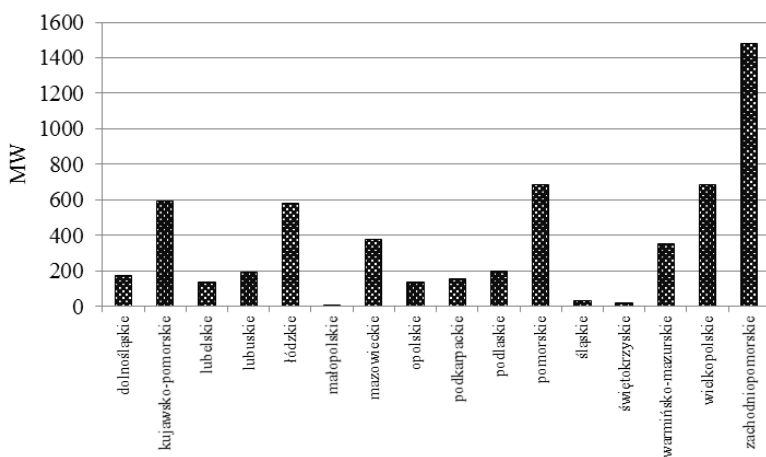


Rys. 3. Moc zainstalowana z elektrowni wiatrowych w latach 2005-2017*
(*na dzień 31.03.2017 rok).

Źródło: opracowanie własne na podstawie URE 2017.

Rokrocznie tempo przyrostu wynosiło około 10%. Największy skok nastąpił w 2012 roku, w którym tempo wzrostu wyniosło 43% w stosunku do 2011 roku. Zachodzące zmiany są związane z rozwojem technologii, wzrostem liczby inwestycji oraz wykorzystaniem potencjału wiatrowego kraju. W 2016 roku, w którym moc zainstalowana wynosiła 5,8 GW, w Polsce funkcjonowało 1 193 instalacji. Należy mieć jednak na uwadze, że praca instalacji wiatrowych charakteryzuje się dużą zmiennością wartości wygenerowanej mocy, przez co moc osiągalna różni się od mocy zainstalowanej. Wynika to z uzależnienia produkcji energii elektrycznej od bieżącej prędkości wiatru (Kwiatkowski M. 2010).

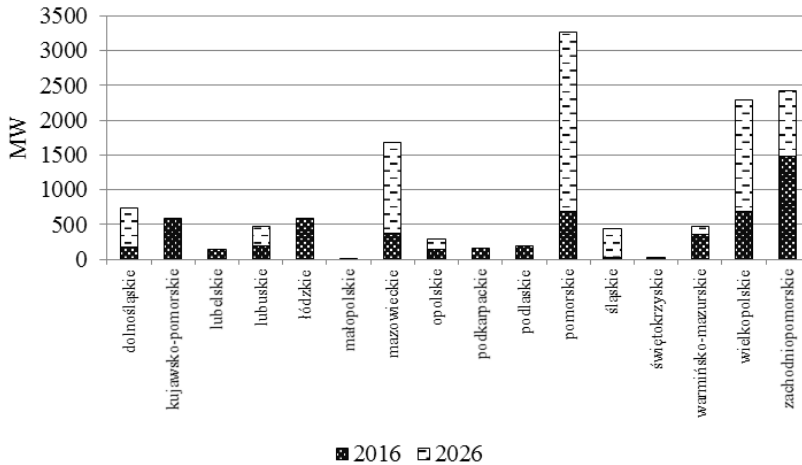
Moc zainstalowana w energetyce wiatrowej różni się w poszczególnych województwach. Wartości dla 2016 roku zostały przedstawione na rys. 4. Niespełna 50% mocy zainstalowanej jest skupione na terenie trzech województw: zachodniopomorskiego, wielkopolskiego i pomorskiego. W województwie zachodniopomorskim udział ten jest największy (25% w skali kraju): moc wynosi 1477,2 MW i jest generowana przez 98 instalacji. W województwie wielkopolskim moc wynosi 686,82 MW i jest generowana przez 218 instalacji, natomiast w województwie pomorskim moc wynosi 684,94 MW i jest generowana przez 56 instalacji. Najwięcej instalacji znajduje się jednak w innym województwie, a mianowicie w kujawsko-pomorskim w liczbie 296, które generują 592,55 MW.



Rys. 4. Moc zainstalowana w instalacjach wiatrowych w 2016 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mapa OZE 2016.

Na podstawie danych zebranych na rysunku 4 można wnioskować, że największy potencjał dla wprowadzania technologii *Power-to-gas* znajduje się na terenie powiatu należącego do jednego z trzech województw, skupiających największy udział mocy zainstalowanej. Jednak biorąc pod uwagę, że w Polsce technologia ta nie jest jeszcze rozwinięta i na pewno nie zostanie wprowadzona w perspektywie kilku lat, należy poddać analizie planowane przyłączenia odnawialnych źródeł energii. Operator systemu przesyłowego, zgodnie z ustawą Prawo energetyczne, co kwartał aktualizuje listę podmiotów ubiegających się o przyłączenie do Krajowej Sieci Przesyłowej (Ustawa Prawo energetyczne... 1997).



Rys. 5. Moc zainstalowana w instalacjach wiatrowych w 2016 roku, wraz z planowaną mocą przyłączeniową do 2026 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mapa OZE 2016 oraz PSE 2017.

Na podstawie danych PSE moc zainstalowana z energetyki wiatrowej ma wynieść 13,75 GW w 2026 roku. Zgodnie z prognozami na podstawie ubiegania się o przyłączenie do sieci w 2018 roku zmieni się rozkład mocy na terenie kraju. Pionierem w ilości planowanej do zainstalowania mocy w 2018 roku będzie województwo pomorskie, z 60% udziałem w skali kraju i mocą równą 3,75 GW. Duże skupienie mocy ze zmiennych źródeł wiatrowych będzie również w województwie wielkopolskim, mazowieckim i zachodniopomorskim. Udział województwa wielkopolskiego wyniesie 23%, zachodniopomorskiego 7%, a mazowieckiego 4% w 2018 r. (PSE 2018).

4. Podsumowanie

Dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej stanowi nowe wyzwania dla krajowego systemu elektroenergetycznego. Praca instalacji wiatrowych charakteryzuje się małą podatnością na sterowanie, ponieważ turbiny pracują w zależności od prędkości wiatru, a nie od parametrów zadanych przez operatora. Ponadto występuje duża zmienność wygenerowanej mocy, a praca instalacji wiatrowej jest trudna do zaprognozowania w czasie. Dzięki wymienionym wyżej właściwościom zmienne w czasie źródła energii znacząco różnią się od konwencjonalnych źródeł wytwarzania energii elektrycznej. Dlatego istotnym jest, by dążyć do

integracji z system elektroenergetycznym. Jednym z działań prowadzonych w tym kierunku może być wykorzystanie możliwości magazynowania energii generowanej przez źródła wiatrowe. Zapewni to przeniesienie generacji energii elektrycznej z godzin pozaszczytowych w godziny szczytowe, ograniczy konieczność przeciążania konwencjonalnych źródeł wytwórczych oraz wpłynie na stabilizację napięcia oraz ograniczenie nadwyżek produkcji, a ostatecznie poprawi bezpieczeństwo pracy Krajowym Systemem Elektroenergetycznym.

Celem niniejszego artykułu było wskazanie potencjału rozwoju magazynów energii, między innymi za pomocą technologii *Power-to-gas*. Po przeprowadzeniu analizy stanu obecnego energetyki wiatrowej oraz szans rozwoju w perspektywie do 2026 roku można stwierdzić, że największa moc zainstalowana będzie w województwie pomorskim. Na uwagę zasługują również wysokie wartości prognozowane w województwie zachodniopomorskim, wielkopolskim i mazowieckim. Do wdrożenia technologii magazynowania na tych obszarach niezbędne jest wykonanie szeregu badań technicznych oraz ekonomicznych, które pomogą zweryfikować zasadność podjęcia inwestycji w tym obszarze.

Literatura

- Balan M. I in. 2016, Balan M., Badea A., Buga M. R., Ciocian A., *Power-To-Gas: Development of analysis framework based on a Romanian case study*. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 78, Iss. 3, 2016
- Bednarek K. i in. 2012, Bednarek K., Kasprzyk L. *Zasobniki energii w systemach elektrycznych – część 1. Charakterystyka problemu*. Academic Journals, Electrical engineering, No 69, Poznan University of Technology, Poznań 2012, p. 209-218.
- Bouman E. i in. 2016, Bouman E.A., Øberg M. M., Hertwich E. G. *Environmental impacts of balancing offshore wind power with compressed air energy storage (CAES)*.” Energy”, Elsevier, 15 January 2016.
- Guandalini G. i in. 2017, Guandalini G., Robinius M., Grube T., Campanari S., Stolten D. *Long-term power-to-gas potential from wind and solar power: A country analysis for Italy*. “International Journal of Hydrogen Energy”, Elsevier, Available online 6 May 2017.
- IEA 2016, Energy Technology Perspectives 2016. DOI: 10.1787/energy_tech-2016-en.
- Komunikat 2014, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. *Ramy polityczne na okres 2020-2030 dotyczące klimatu i energii*. Bruksela 2014.
- Komunikat 2016, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów oraz Europejskiego Banku Inwestycyjnego. *Czysta energia dla wszystkich Europejczyków*. Bruksela 2016.
- Kötter E. i in. 2016, Kötter E., Schneider L., Sehnke F., Ohnmeiss K., Schröer R., *The future electric power system: Impact of Power-to-Gas by interacting with other re-*

- newable energy components*. "Journal of Energy Storage 5". Elsevier. Available online 6 January 2016.
- Kwiatkowski M. 2010, *Wykorzystywanie technologii magazynowania energii w postaci sprężonego powietrza w ramach integracji farm wiatrowych z systemem elektroenergetycznym*. Zeszyty Naukowe Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Nr 78, rok 2010.
- Mapa OZE 2016, *Mapa odnawialnych źródeł energii na podstawie udzielonych przez Prezesa URE koncesji oraz wpisów do rejestrów prowadzonych przez Prezesa URE i Prezesa ARR*, <https://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>, dostęp online: 23.05.2017 r.
- Mirowski T. i in. 2015, Mirowski T., Mokrzycki E., Ney R., *Energetyka wiatrowa – stan obecny i szanse rozwoju*. Wydawnictwo IGSMiE PAN. Kraków 2015.
- Ogonowski J. i in. 2010, Ogonowski J., Skrzyńska L., *Nowe drogi zagospodarowania ditlenku węgla. Część III – synteza węglowodorów z ditlenku węgla i wodoru. „Naf-ta-Gaz”*, 2010.
- PSE 2015, *Raport: Zestawienie danych ilościowych dotyczących funkcjonowania KSE w 2015 roku*.
- PSE 2017, *Wykaz Podmiotów ubiegających się o przyłączenie do Krajowej Sieci Przesyłowej*. Stan na dzień 28 kwietnia 2017r.
- PSE 2018 *Wykaz Podmiotów ubiegających się o przyłączenie do Krajowej Sieci Przesyłowej*. Stan na dzień 30 maja 2018 r.
- Robb D. 2011, *The CAES for wind*. "Renewable Energy Focus", Elsevier, January–February 2011.
- Schneider L. i in. 2015, *The geographic potential of Power-to-Gas in a German model region*. "Journal of Energy Storage 1". Elsevier. Available online 24 April 2015.
- Tomczyk P. 2011, *Zasobniki energii*, Katedra zrównoważonego rozwoju energetycznego, Seminarium Wydziału Energetyki i Paliw AGH, Kraków 2011.
- Tomczyk P. i in. 2006, Tomczyk P., Porada S., *Wykorzystanie ciepła z wysokotemperaturowego reaktora jądrowego w procesach zgazowania węgla i produkcji wodoru*. Agencja Atomistyki. Warszawa, 28. czerwca, 2006.
- URE 2015, *Raport: Potencjał krajowy OZE w liczbach – Moc zainstalowana*. 31.12.2015.
- URE 2017, *Raport: Potencjał krajowy OZE w liczbach – Moc zainstalowana*. 31.03.2017.
- Ustawa Prawo energetyczne... 1997, *Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r.* (Dz.U. 1997 Nr 54 poz. 348).