

doi:10.15199/48.2023.02.34

System elektroenergetyczny oparty o odnawialne źródła energii - możliwości i bariery rozwoju

Abstract. The paper presents issues related to the problems that need to be overcome in order to achieve the goal of achieving a high share of renewable energy from wind and solar energy in the country's power system. The basic problem is to ensure high flexibility of EPS in the situation of high variability of generation of EE from renewable sources. The authors highlighted new energy sources and systems ensuring the flexibility of EPS. (*Electricity system based on renewable energy sources. Opportunities and barriers to development*)

Streszczenie. W pracy przedstawiono zagadnienia związane z problemami, jakie należy pokonać realizując cel osiągnięcia wysokiego udziału energii odnawialnych pochodzących z energii wiatru i słońca w systemie elektroenergetycznym kraju. Podstawowym problemem jest zapewnienie wysokiej elastyczności SEE w sytuacji dużej zmienności generacji EE ze źródeł odnawialnych. Autorzy zwrócili uwagę na nowe źródła energii i systemy zapewniające elastyczność SEE.

Keywords: electric vehicles, photovoltaic power sources, wind farms, energy storage facilities, energy distribution system.

Słowa kluczowe: pojazdy elektryczne, elektrownie fotowoltaiczne, farmy wiatrowe, magazyny energii, system elektroenergetyczny.

Wprowadzenie

W pracy przedstawiono bariery technologiczne, których zniwelowanie lub wprowadzenie nowych technologii może wpłynąć na wzrost poziomu wykorzystania energii odnawialnej w miksie energetycznym. Przedstawiono charakterystykę niemieckiego systemu elektroenergetycznego (SEE) z uwagi na jego wiodącą rolę w wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (OZE).

Metodologia i problem do rozwiązania

Podstawowym problemem, z jakim mamy do czynienia w rozwijaniu systemu elektroenergetycznego opartego o odnawialne źródła energii jest zmienność generacji energii odnawialnej z wiatru i słońca w czasie. Niestabilność generacji energii z tych źródeł jest ich cechą immanentną wynikającą ze zmiennych zjawisk pogodowych, których pierwotnym źródłem jest Słońce. Nierównomierne ogrzewanie powierzchni Ziemi przez promienie słoneczne powoduje powstanie wiatru, który ze względu na zróżnicowanie nagrzewanej powierzchni wieje nierównomiernie.

Zmienność pracy odnawialnych źródeł energii powoduje konieczność stabilizacji systemu elektroenergetycznego „tradycyjnymi” źródłami energii takimi jak elektrownie węglowe lub gazowe oraz siłownie jądrowe. Istotnym składnikiem stabilizującym pracę SEE są również elektrownie szczytowo pompowe [1].

W pracy przedstawiono nowe rozwiązania, które przy ograniczaniu emisji dwutlenku węgla nie wpływają znacząco na koszt rozwoju systemu i jego funkcjonowania. Im większy udział niestabilnych, odnawialnych źródeł energii, tym koszty bilansowania ich produkcji przez elektrownie rezerwowe rosną. Ceny EE są wysokie w krajach o dużym udziale OZE takich jak Niemcy i Dania.

Niemiecki SEE - stan obecny i planowany w 2050 roku

Niemiecki system elektroenergetyczny charakteryzuje się wysoką elastycznością pozwalającą utrzymać duży udział energii generowanej przez farmy wiatrowe i fotowoltaiczne. Farmy wiatrowe wyprodukowały w 2021 roku 113 TWh, co stanowi 23 % wyprodukowanej energii, a ich moc zainstalowana stanowiła 29% mocy całego SEE.

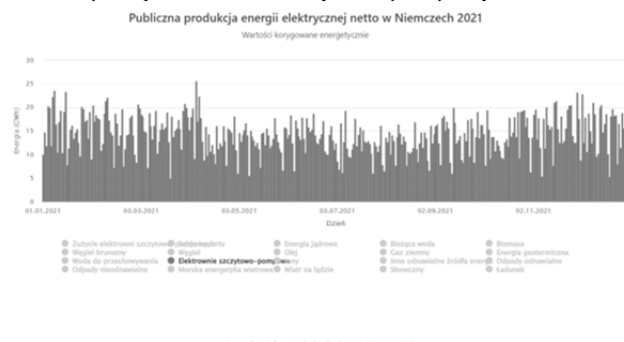
Farmy fotowoltaiczne mają 9% udział w produkcji energii dysponując mocą 60 GW, co stanowi 26,6 % całej mocy zainstalowanej w SEE [2].

Niestabilność generacji prądu z farm wiatrowych na przykładzie niemieckiego SEE obrazuje poniższy wykres.



Rys. 1. Zmienność wytwarzania EE z farm wiatrowych [4].

W celu ograniczenia wpływu niestabilnych źródeł wytwarzania EE na SEE wykorzystuje się w szerokim zakresie pracę elektrowni szczytowo pompowych.

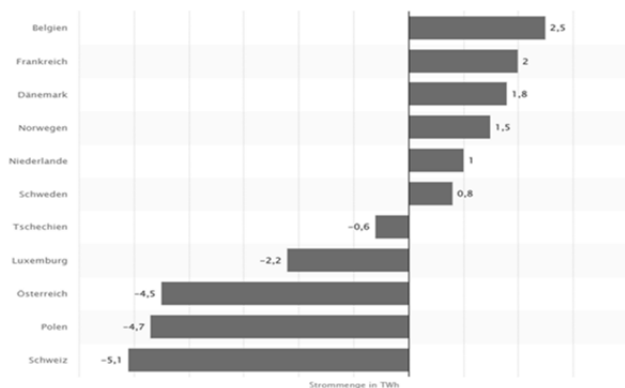


Rys 2. Stabilizacja SEE poprzez elektrownie szczytowo – pompowe [4].

Istotną rolę w stabilizacji pracy SEE w Niemczech odgrywa import i eksport EE. Główne kraje odbiorcy energii to Austria, Polska i Szwajcaria. Austria i Szwajcaria dysponują rozwiniętą siecią elektrowni szczytowo pompowych, gdzie mogą akumulować pozyskaną energię i zużywać ją w dogodnym momencie [3].

Zapotrzebowanie na EE jest w Niemczech stabilne na przestrzeni ostatnich 20 lat i wynosi ok. 500 TWh rocznie. Jednocześnie moc zainstalowana jednostek wytwórczych wzrosła ze 110 GW w 2003r. do 225 GW w 2022r. [4] OZE wprowadzane do SEE w miejsce elektrowni

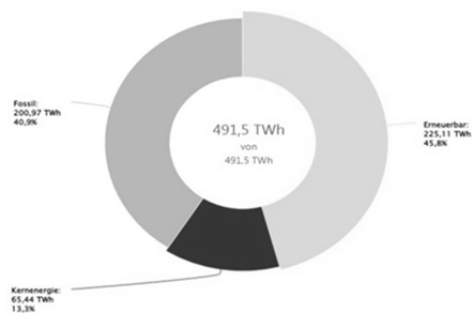
konwencjonalnych mają potencjał mocy wielokrotnie większy od mocy jednostek usuwanych z systemu. Może to powodować dalszy wzrost amplitudy wahań mocy w systemie/generowanej energii.



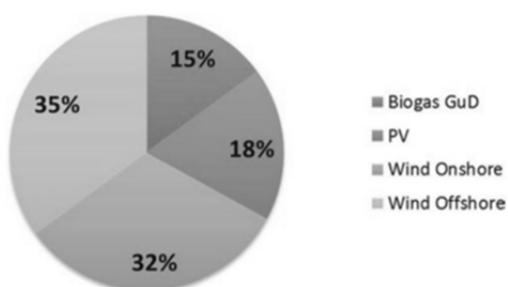
Rys. 3 Saldo przepływu EE między Niemcami i zagranicą w 2021r. [3]

Produkcja energii elektrycznej w roku 2021 wyniosła w Niemczech 491,5 TWh, w tym ponad 45% stanowiła produkcja ze źródeł odnawialnych.

Polityka odejścia od surowców kopalnych w energetyce tzw. Energiewende [5] zakłada całkowite odejście od źródeł kopalnych w 2050r.



Rys. 4. Struktura produkcji EE w niemieckim SEE wg kryterium nośników energii w roku 2021 [4].

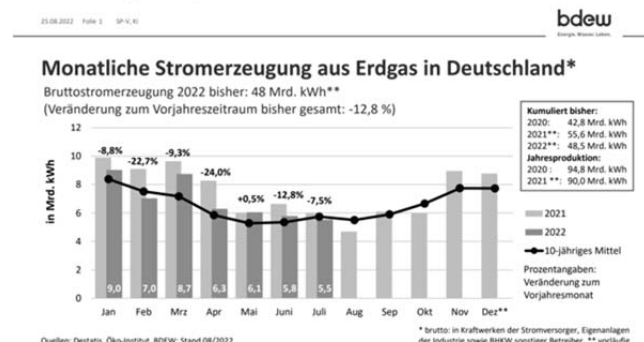


Rys. 5 Planowana struktura produkcji EE w niemieckim SEE wg kryterium nośników energii w roku 2050 [7].

Gdy energetyka wiatrowa i energia fotowoltaiczna będą dominować w SEE, utrzymanie stabilności systemu będzie wyzwaniem. Parametry takie jak, częstotliwość, poziom napięcia, bilans mocy biernej i inne muszą być utrzymywane na stałym poziomie w bardzo wąskich granicach. Tylko to zapewni niezawodne przepływy energii w sieci. Taka inteligentna sieć będzie wymagała bardzo wysokiego poziomu elastyczności w zakresie wytwarzania, zużycia i przesyłu energii elektrycznej [6].

Czynniki pozwalające na realizację planu odejścia od paliw kopalnych w generacji energii elektrycznej

Jednym z podstawowych źródeł energii mającej kompensować wahania w SEE miały być elektrownie gazowe. Siłownie te generują mniej dwutlenku węgla od elektrowni węglowych oraz zapewniają bardziej elastyczną pracę [7]. Wzrost cen gazu oraz brak możliwości skompensowania dostaw gazu z Rosji uniemożliwiają funkcjonowanie SEE w oparciu o elastyczną pracę elektrowni gazowych.



Rys. 6. Produkcja EE z gazu ziemnego w latach 2021 i 2022 [2].

Zastąpienie wodorem gazu ziemnego pozwoli ograniczać jego zużycie, a w przyszłości wyeliminować ten kopalny surowiec, jakim jest gaz oraz jednocześnie umożliwić ograniczenie nadmiernej podaży EE z elektrowni wiatrowych do SEE.

Równolegle z rozwojem technologii opartych o wodór następuje upowszechnienie technologii Power to Heat (P2H). Jedną z tych technologii jest przemysłowa transformacja ciepła, która opiera się na kotłach elektrodowych i pompach ciepła. Pozwala ona zmniejszyć zużycie gazu wykorzystując nadmiar energii odnawialnej poprzez jej przemianę na ciepło przemysłowe. W Niemczech 209 TWh z 246 TWh zużywa się na ciepło technologiczne, suszenie papieru i żywności lub wytwarzanie pary dla producentów tworzyw sztucznych. [7] Upowszechnienie technologii P2H poprzez wykorzystanie kotłów elektrodowych, w których przewodzące i rezystancyjne właściwości wody są wykorzystywane do przewodzenia prądu elektrycznego i pomp ciepła w przemyśle, doprowadzi do zmniejszenia zużycia paliw kopalnych i zwiększenia elastyczności SEE oraz ogranicza potrzebę magazynowania nadmiarowej EE z OZE [9].

Elastyczność SEE to zdolność do utrzymania ciągłej pracy systemu w warunkach szybkich i dużych wahań generacji i poboru energii.

Produkcja EE z OZE sprzyja wzrostowi jej zmienności w czasie, co musi być kompensowane przez wzrost elastyczności SEE.

Poniżej zestawiono czynniki wpływające na elastyczność systemu EE:

Produkcja energii

- skrócenie czasu rozruchu elektrowni konwencjonalnych i zwiększenie ich elastyczności pracy np. poprzez zasobniki ciepła przy generatorach prądu
- elektrownie szczytowo pompowe, ich rola bardzo wzrasta, ponieważ do funkcji zabezpieczania SEE w razie awarii dochodzi funkcja bieżącego wspomaganie pracy SEE pracującego w skojarzeniu ze źródłami niestabilnej energii.
- Magazynowanie energii
 - power to heat,
 - power to gas,
 - magazyny chemiczne (przemysłowe i rozproszone).

Mechanizmy Demand Side Management (DSM) i Demand Side Response (DSR). Systemy zarządzania energią poprzez rozwój inteligentnej sieci, opartej na inteligentnych licznikach i dynamicznych systemach przydzielania mocy, działających w oparciu o umowy i dynamiczne taryfy są istotnym czynnikiem uelastyczniania SEE [10].

Wodór

We wrześniu bieżącego roku Komisja Europejska zatwierdziła wsparcie państw członkowskich w ramach realizacji projektu IPCEI Hydrogen (Important Project of Common European Interest). Projekt ma wspierać badania naukowe i innowacje, pierwsze zastosowanie w przemyśle i budowę odpowiedniej infrastruktury w łańcuchu wartości technologii wodorowych [11]. Wodór pozwoli wyeliminować metan z technologii produkcji energii. Wodór, jako magazyn energii dla elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych może stać się prostym sposobem na poprawę niezawodności tych instalacji w ciągłej generacji prądu. Istnieją zaawansowane projekty, które pozwolą instalować generatory energii i magazyny energii przy farmach wiatrowych i fotowoltaicznych. Rozwiązanie to pozwala uniknąć problemów związanych z długotrwałym przechowywaniem i transportem wodoru [12].

Elektromobilność

Kolejnym istotnym elementem wpływającym na stabilizację SEE może być wykorzystanie potencjału tkwiącego w promowanym rozwoju elektromobilności. Miliony pojazdów elektrycznych, z których znaczna część stoi niewykorzystywana w czasie pracy ich użytkowników, w trakcie innych zajęć i w nocy, są potencjalnym magazynem energii o znacznym potencjale.

Możliwości wykorzystania elektromobilności:

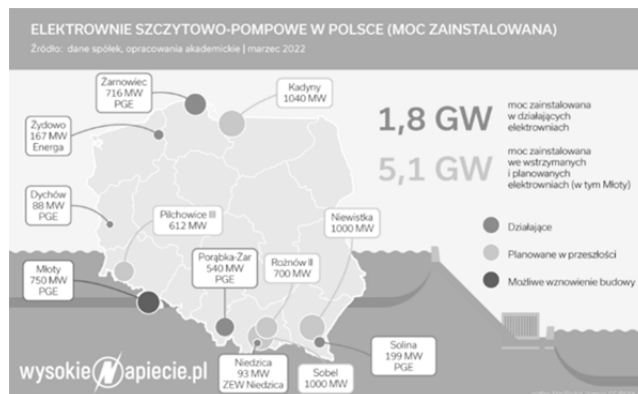
- Możliwości wsparcia SEE (system Vehicle 2 Grid):
- Wsparcie przywracania dostaw energii elektrycznej;
- Wsparcie pracy wyspowej systemu;
- Poprawa jakości lokalnie dostarczonej energii;
- Lokalne podtrzymanie parametrów napięciowych;
- Dostarczanie mocy zwarciowej;
- Magazynowanie energii elektrycznej. Przy obecnym stanie, 1,2 mln aut elektrycznych, oraz przyjmując, za średnią pojemność akumulatora w e-samochodzie 50 kWh, łączną pojemność tych akumulatorów, to 60 GWh (w przyszłości nawet 500 do 750 GWh w skali systemu).

Możliwości implementacji niemieckich rozwiązań w Polsce

Z uwagi na planowane funkcjonowanie energetyki węglowej do 2049r, technologie wspomagające elastyczność SEE w Polsce mogą następować etapami [13]:

1. Z uwagi na wysoki udział energetyki konwencjonalnej w miksie produkcji energii istotne wydaje się wprowadzenie „tradycyjnych” form uelastycznienia systemu w związku ze wzrostem udziału OZE takich jak:
 - upowszechnienie urządzeń wykorzystujących Organiczne obiegi Rankine’a (ORC) w zależności od generowanej mocy elektrycznej oraz temperatury źródła ciepła (OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion) [14];
 - wprowadzanie systemów grzewczych zapewniających zwiększenie elastyczności pracy elektrowni węglowych, opracowany przez NCBiR program kotły 200+ [15];
 - realizacja programu rozbudowy systemu elektrowni szczytowo pompowych w Polsce [1]
 - rozwój biogazowni i biometanowni; w Polsce w przeciwieństwie do Niemiec nie nastąpił gwałtowny rozwój budowy biogazowni, ale dopracowywane

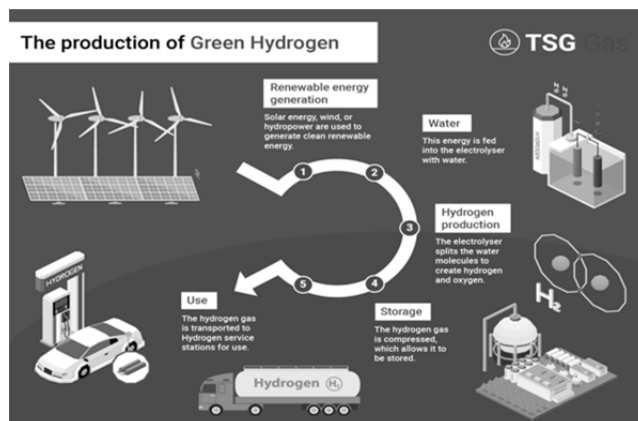
technologie fermentacji odpadów pozwolą na uruchomienie efektywnych biogazowni nakierowanych bardziej na utylizację odpadów zwierzęcych, rolnych i spożywczych ograniczając tym samym przemysłową uprawę roślin spożywczych dedykowanych do przetwarzania na energię [16].



Rys. 7. Elektrownie szczytowo-pompowe [17].

2. Rozwijanie nowych technologii w oparciu o wodór

Przykład implementacji technologii wodorowych od produkcji EE z OZE poprzez produkcję wodoru i rozwój wodorowej komunikacji na przykładzie koncepcji grupy TSG Gas [18].



Rys. 8. Koncepcja implementacji technologii wodorowych [18]

Swoista moda na technologie wodorowe powoduje duże zaangażowanie finansowe prywatnych podmiotów upatrujących dla siebie niszę np. jako dostawcy paliwa wodorowego dla pojazdów. Obecnie wydaje się dyskusyjne czy technologie wodorowe w komunikacji staną się wiodącą technologią w stosunku do pojazdów zasilanych z baterii, czy może rynek się podzieli. Ciężkie pojazdy i kolej będą zasilane wodorem, a pojazdy samochodowe energią z akumulatorów. Niektóre miasta w Polsce (Radom i Wałbrzych) kupiły w tym roku kilkadziesiąt autobusów napędzanych wodorem do normalnej eksploatacji, tak więc przyszłość staje się terażniejszością [19].

Wnioski.

1. Polityka Energiewende ma fundamentalny wpływ na rozwój niemieckiej energetyki, w tym elektroenergetyki. Przedkłada się to na inwestycje w OZE, rezygnację z energetyki węglowej i atomowej, oraz wpływa na transformację transportu, a co za tym idzie na wsparcie sektora elektromobilności;
2. Zapewnienie elastyczności SEE jest warunkiem koniecznym wzrostu udziału w nim OZE.

3. Wodór w tym szczególnie wspomniane w tekście rozwiązanie polegające na umiejscowieniu elektrolizerów i magazynów wodoru przy farmach wiatrowych i słonecznych, które pozwoli w znakomity sposób zniwelować obecny najpoważniejszy problem OZE tj. niestabilność produkcji energii oraz technologia V2G to sposoby na zapewnienie elastyczności SEE w dłuższym horyzoncie czasowym, gdy udział energii produkowanej z OZE stanie się dominujący. Obecnie powinny już być realizowane budowy i rozbudowy ESP oraz wdrażane modernizacje bloków węglowych.
4. Przy powszechnym użytkowaniu samochodów elektrycznych i pod warunkiem stosowania V2G, możliwe będzie wykorzystywanie samochodów elektrycznych do wspomagania krajowego SEE, również w aspekcie magazynowania energii.
5. Dla Polski obiecujące obszary związane z technologiami niskoemisyjnymi to energetyka słoneczna, morskie farmy wiatrowe i wodór oraz budowa elektrowni atomowych;
6. Budowa stacji ładowania samochodów elektrycznych pozwalających na ich swobodne przemieszczanie się po całej Polsce pozwoli zintensyfikować popyt na te pojazdy, które w przyszłości mogą stanowić element stabilizacji SEE.

Autorzy:

mgr Robert Kaznowski doktorant, Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, E-mail: robert.kaznowski@pwr.edu.pl;
dr hab. Dariusz Szafrowski prof. PWr, Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: dariusz.szafrowski@pwr.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju, Warszawa 2022, www.gov.pl
- [2] <https://www.bdew.de/>
- [3] de.statista.com
- [4] <https://www.energy-charts.info/>
- [5] <https://energiewende.orsted.de/>
- [6] Koncepcje elastyczności dla niemieckiego SEE, Zapewnienie stabilności w dobie energii odnawialnych, praca zbiorowa pod redakcją Selina Byfield, akademik dr. Niemiecka Narodowa Akademia Nauk Leopoldina, Berlin 2016
- [7] P. Komarnicki, J. Haubrock, Z. Styczyński, Elektromobilität und Sektorenkopplung, Springer Berlin / Heidelberg, 2020,
- [8] www.BDI.eu
- [9] <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/power-to-heat-how-german-industry-could-reduce-its-hunger-for-gas/>
- [10] Robert Jędrzychowski, Analiza potencjału DSM/DSR odbiorców końcowych energii elektrycznej, Gmina Lublin, Lublin 2020
- [11] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_5676
- [12] <https://wodor.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/green-box---generator-wodoru-nowy-koncept-na-ryнку>
- [13] <https://nettg.pl/gornictwo/176846/gornictwo-co-zawiera-umowa-spoleczna>
- [14] <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/cieplownictwo/39386,or-ganiczne-obiegi-rankinea-szansa-na-wykorzystanie-ciepla-odpadowego-i-poprawe-efektywnosci-energetycznej-przedsiębiorstw>
- [15] https://www.nbcrr/Bloki_200+_innowacyjna_tehnologia_zmiany_re%C5%BCimu_pracy_blok%C3%B3w_energetycznych_klas_y_200_MWe.pdf
- [16] Alina Kowalczyk-Juško Rozwój innowacyjnych technologii odnawialnych źródeł energii na obszarach wiejskich, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Radom 2021
- [17] <https://wysokienapiecie.pl/72345-elektrownie-szczytowo-pompowe-coraz-pilniej-potrzebne/>
- [18] <https://www.tsg-solutions.com/pl/wodor-jako-paliwo-niezbedny-skladnik-do-osiegniecia-zerowej-emisji/>
- [19] <https://wodor.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/dolnoslaskie-walbrzych-zakupi-20-autobusow-wodorowych>