

# Analiza pracy elektrowni wykorzystujących odnawialne źródła energii w systemie elektroenergetycznym

Analysis of the operation of power plants using renewable energy sources in electric power system

Leszek Jastrzębiowski

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, system elektroenergetyczny

W artykule przedstawiono analizę możliwości pracy elektrowni wykorzystujących odnawialne źródła energii w systemie elektroenergetycznym opartym na generatorach synchronicznych. Zaprezentowano możliwości ich pracy ze szczególnym zwróceniem uwagi na bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej o odpowiednich parametrach jakościowych.

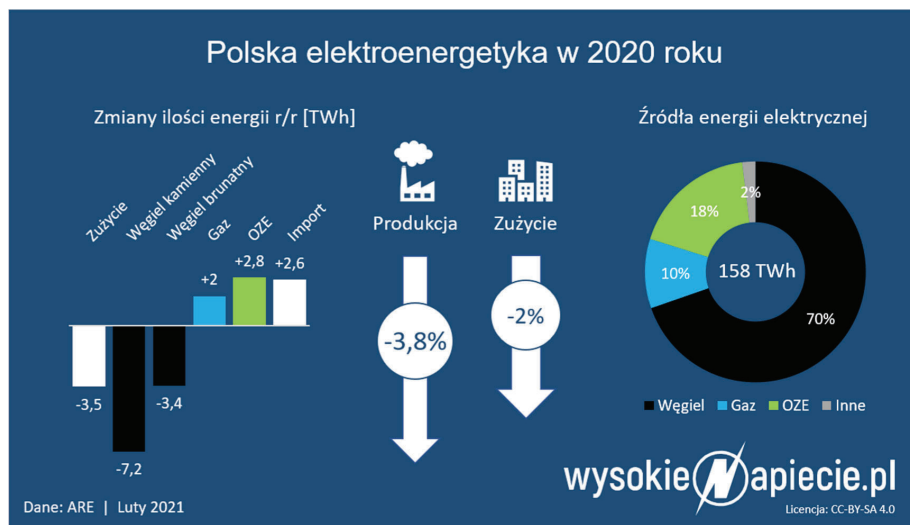
**Keywords:** Renewable Energy Sources, Electric Power System

The paper presents analysis of the operation of power plants using Renewable Energy Sources in the existing Electric Power System based on synchronous generators. The possibilities of their work are presented, with particular emphasis on the security of electricity supply with appropriate quality parameters.

Ponieważ pojawiły się nowe elektrownie wykorzystujące OZE, mające inne charakterystyki pracy, w artykule przeanalizowano, jak pracują one w istniejącym systemie elektroenergetycznym opartym na generatorach synchronicznych oraz jaki mają wpływ na bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej o odpowiednich parametrach jakościowych.

## ROZWÓJ ELEKTROWNI WYKORZYSTUJĄCYCH OZE JAKO PALIWO (STATYSTYKA)

Według danych Agencji Rynku Energii w 2020 r. kolejny rok z rzędu zanotowano w Polsce spadek zużycia energii elektrycznej do 171 TWh (o 2% czyli o 3,5 TWh) i wzrósł import netto do rekordowych 13,3 TWh (o 2,6 TWh). W efekcie, podobnie jak przed



Rys. 1. Struktura produkcji i wykorzystania energii elektrycznej w 2020 r. (dane ARE)  
Fig. 1. The structure of electricity production and use in 2020 (date ARE)

rokiem, spadła krajowa produkcja energii elektrycznej do 157,7 TWh (o 3,8%, czyli 6,2 TWh).

Kolejny rok z rządu wzrosła produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE). Spektakularny wzrost odnotowała przede wszystkim fotowoltaika – zwłaszcza prosumencka. Elektrownie słoneczne dostarczyły do systemu aż o 176% więcej energii rok do roku (2 TWh). O 20% (do 2,2 TWh) wzrosło współspalanie biomasy z węglem, czemu sprzyjała wysoka cena praw do emisji CO<sub>2</sub>. Na trzecim i czwartym miejscu pod względem dynamiki rozwoju wśród „zielonych” elektrowni znalazły się biogazownie (wzrost o 10% do 1,2 TWh) i elektrownie wodne (o 8% do 2,1 TWh).

Częściej, o 16% (0,8 TWh), były wykorzystywane elektrownie wodne szczytowo-pompowe, czyli największe w Polsce magazyny energii. Wynikało to głównie ze zwiększonego udziału zmiennych źródeł energii (wiatru i fotowoltaiki) i powstania warunków dla efektywnego wykorzystywania tych źródeł.

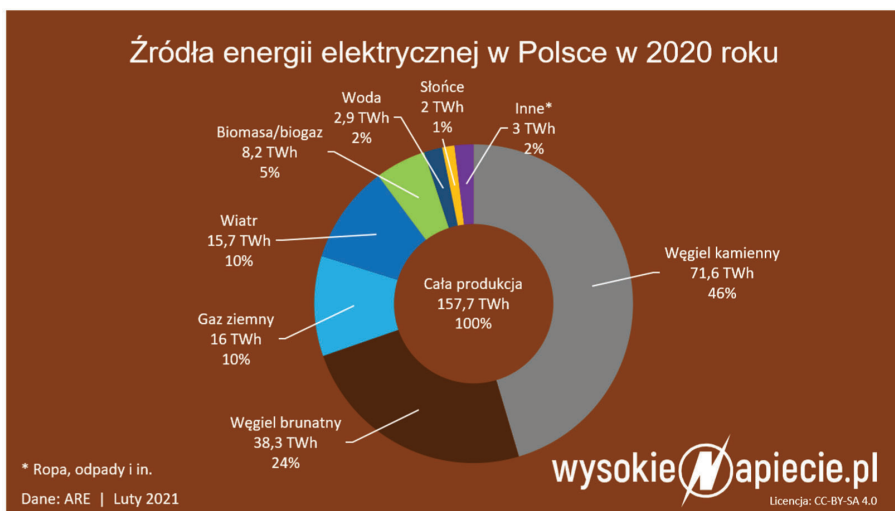
### CHARAKTERYSTYKA ISTNIEJĄCEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Współczesny system elektroenergetyczny (SE) funkcjonujący na terenie kraju jest zbiorem powiązanych ze sobą elementów służących do: wytwarzania, przetwarzania, przesyłu i rozdziłu energii elektrycznej oraz ośrodków dyspozytorskich sterujących pracą systemu. Tworzą one układ funkcjonalnych połączeń, współpracujących na ściśle określonych zasadach, zdolne do trwałego utrzymywania określonych parametrów niezawodnościowych i jakościowych w dostawach energii elektrycznej oraz spełniania warunków obowiązujących we współpracy z innymi połączonymi systemami. Z uwagi na realizowane funkcje system elektroenergetyczny dzieli się na trzy główne podsystemy: wytwórczy (elektrownie), przesyłowy (linie i stacje elektroenergetyczne NN i część WN), dystrybucyjny (linie i stacje elektroenergetyczne część WN, SN i nn).

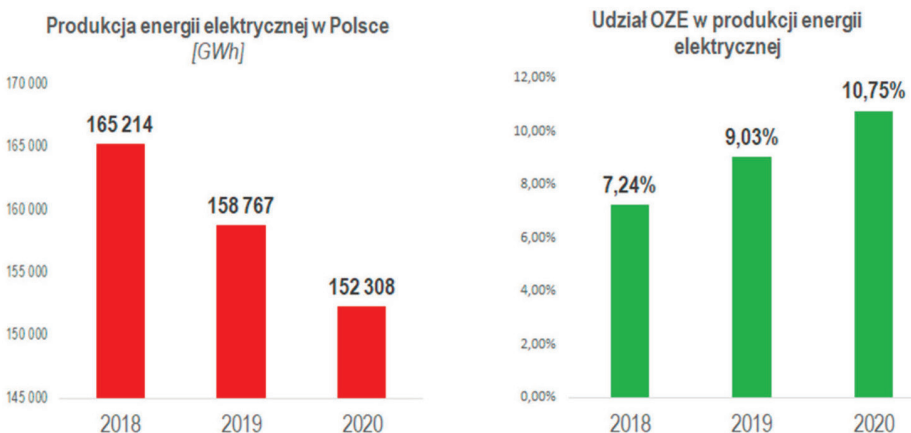
System elektroenergetyczny cechują następujące szczególne właściwości:

- Praca synchroniczna zespołów prądowców w systemie elektroenergetycznym**

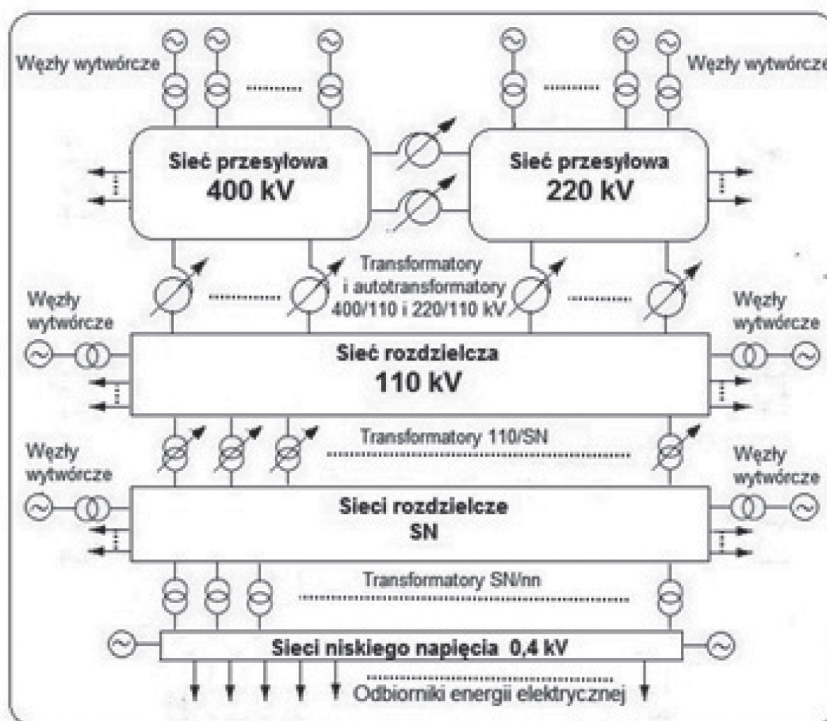
Zespoły prądowców (turbogeneratory) w elektrowniach, powiązane ze sobą w systemie sieciami elektroenergetycznymi, w warunkach normalnych pracują syn-



Rys. 2. Struktura wykorzystania energii elektrycznej z różnych źródeł w maju 2021 r. (dane ARE)  
Fig. 2. The structure of the use of electricity from various sources in May 2021 (date ARE)



Rys. 3. Produkcja energii elektrycznej i udział OZE w Polsce w latach 2018-2020 (dane PSE)  
Fig. 3. Electricity production and the share of RES in Poland in 2018-2020 (date PSE)



Rys. 4. Schemat systemu elektroenergetycznego  
Fig. 4. Diagram of the power system

chronicznie. Prędkość kątowna ich mas wirujących jest jednakowa i proporcjonalna do częstotliwości systemu.

### ■ Bilans mocy i energii

Ilość energii wyprodukowanej w danym czasie musi być równa ilości energii traconej na drodze przesyłu i tej przetworzonej w odbiornikach. W dowolnym odcinku czasu musi być spełniony bilans energii elektrycznej, a w każdej chwili czasowej – bilans mocy.

### ■ Funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego

Regulacja częstotliwości i mocy czynnej jest jednym z podstawowych działań w funkcjonowaniu systemu elektroenergetycznego.

Częstotliwość jest jednym z podstawowych parametrów systemu elektroenergetycznego. Wartość częstotliwości jest jednakowa w każdym punkcie systemu oraz połączonych ze sobą systemów europejskich i zależy od bilansu mocy czynnej. Częstotliwość w systemie wynosi wówczas 50 Hz. Utrzymanie częstotliwości o tej wartości wymaga istnienia w systemie elektroenergetycznym dyspozycyjnej mocy czynnej, pokrywającej potrzeby zmieniających się obciążeń i strat mocy w sieciach przesyłowo-rozdzielczych.

Na regulację mocy czynnej w systemie elektroenergetycznym składają się następujące rodzaje regulacji:

- pierwotna – regulacja częstotliwości pracy generatora mająca na celu ustabilizowanie częstotliwości na bezpiecznym poziomie przez zrównanie generacji z zapotrzebowaniem mocy w systemie,
- wtórna – koordynacja działania urządzeń regulacyjnych napięć i mocy biernej w określonym obszarze systemu celem utrzymania wymaganego poziomu napięcia oraz odbudowania rezerwy pierwotnej,
- trójna – polegająca na optymalizacji nastaw urządzeń wpływających na rozkład mocy biernej (regulatory bloków wytwórczych, regulatory przełączników zaczepów transformatorów oraz urządzenia kompensujące) z użyciem obliczeń opartych na pomiarach czasu rzeczywistego oraz odbudowa rezerwy wtórnej.

Wymienione typy regulacji mocy czynnej współpracują w ramach wielopoziomowego systemu regulacji mocy i częstotliwości w systemie elektroenergetycznym o coraz dłuższych czasach aktywacji usługi i pełnej odpowiedzi układu. Usługa regulacji pierwotnej jest obecnie świadczona przez jednostki wytwórcze centralnie dysponowane (JWCD). Jej celem jest utrzymywanie w obszarze synchronicznym równowagi między wytwarzaniem a zużyciem energii elektrycznej. Ma charakter autonomiczny i jest realizowana przez układ regulacyjny bloku, reagujący na zmiany częstotliwości. Polega ona na dostosowaniu mocy bloku do aktualnej częstotliwości systemu zgodnie z charakterystyką statyczną mocy w funkcji częstotliwości.

Dobór i utrzymanie właściwych wartości napięć w sieci elektroenergetycznej ma istotne znaczenie dla wszystkich elementów systemu elektroenergetycznego. Poziomy napięć w węzłach sieci elektroenergetycznej mają ścisły związek ze stratami napięcia na drodze przepływu prądu i produkcji mocy biernej.

### ■ Niezawodność pracy systemu elektroenergetycznego

Wymagana jest niezawodna praca systemu elektroenergetycznego, szczególnie przez odpowiednie rezerwowanie poszczególnych elementów systemu oraz wprowadzanie w szerokim zakresie nowoczesnych układów automatyki i sterowania.

Do podstawowych celów sterowania w systemie należy:

- cel techniczny – polegający na utrzymaniu określonych zmiennych stanu w żądanych przedziałach, np. utrzymanie częstotliwości, poziomów napięcia, dopuszczalnych prądów i mocy,

- cel ekonomiczny – polegający na optymalizacji zbioru zmiennych stanu, zmierzający do minimalizacji kosztów, np. rozdział mocy czynnej i biernej zgodnie z kryteriami ekonomicznymi, sterowanie usługami systemowymi na podstawie przetargów, sterowanie mocą wymiany z sąsiednimi systemami,
- bezpieczeństwo pracy systemu – zapewnia dostawę energii elektrycznej do odbiorców. Wymagane jest w związku z tym ciągłe utrzymywanie w systemie odpowiednich stanów, konfiguracji i mocy źródeł, w celu zapewnienia bieżącego pokrycia obciążeń również w czasie wyłączenia z ruchu określonej liczby uszkodzonych lub wymagających naprawy czy konserwacji elementów systemu, jak również zapewnienie sterowania jego elementami, poprawiające stabilność oraz automatyczne dopasowywanie się do stanów pracy również awaryjnej. W systemie elektroenergetycznym, przy pominięciu strat w stanie ustalonym, moc wytwarzana pracujących generatorów jest równa sumie mocy pobieranych z tegoż systemu. O bezpieczeństwie energetycznym i efektywności ekonomicznej systemu energetycznego XXI w. decyduje przede wszystkim jego elastyczność, czyli zdolność do szybkiego reagowania na wahające się zapotrzebowanie na energię elektryczną.

### ■ Elastyczność systemu elektroenergetycznego

Elastyczność systemu elektroenergetycznego to jego zdolność do utrzymania ciągłej pracy w warunkach szybkich i dużych wahań generacji i poboru energii elektrycznej. Elastyczność systemu elektroenergetycznego, umożliwiającą zawsze zarówno obszarowe, jak i czasowe równoważenie wytwarzania i poboru energii, była od zawsze nieodłącznym elementem projektowania i sterowania jego pracą. Elastyczność systemu elektroenergetycznego charakteryzuje się różnym stopniem dopasowania do ram czasowych planowania jego pracy.

Dotychczasowe funkcjonowanie krajowego systemu elektroenergetycznego polegało na jednokierunkowym przepływie mocy od dużych jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych, przyłączonych do sieci przesyłowej przez sieci przesyłowe wysokiego, średniego i niskiego napięcia – do odbiorców końcowych. Sieć dystrybucyjna, łącząca sieć przesyłową z odbiorcami, jest prawie całkowicie pasywna, a zarządzanie jej pracą odbywa się w sposób scentralizowany, w którym systemowa generacja nadąża za zmianami zapotrzebowania odbiorców na moc.

Liberalizacja rynku energii, zapoczątkowana ustawą Prawo energetyczne, umożliwiła współpracę na zasadach komercyjnych przedsiębiorstwom z obszarów wytwarzania i obrotu energią, pozostawiając w strefie regulowanej przesył i dystrybucję.

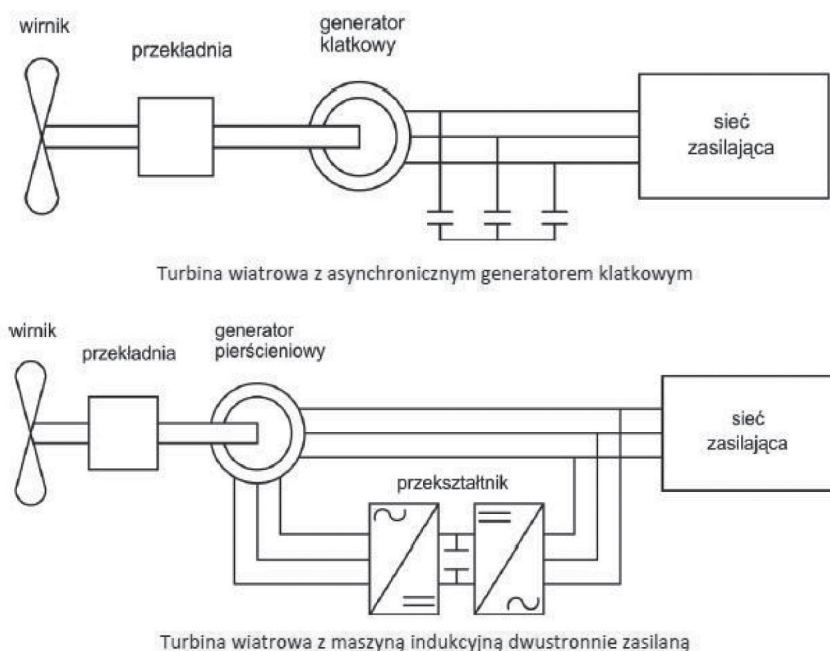
### ■ Współpraca systemów elektroenergetycznych

System elektroenergetyczny jest rozległy terytorialnie, powiązany połączeniami transgranicznymi z systemami elektroenergetycznymi sąsiednich krajów.

## CHARAKTERYSTYKA ELEKTROWNI ZASILANYCH OZE

### Elektrownie wiatrowe

Energia elektryczna jest wytwarzana w czasie pracy elektrowni wiatrowych przy prędkościach wiatru od 3 m/s do maks. 25 m/s, zazwyczaj wyposażone są w układ regulacji kąta położenia łopat wirnika, który umożliwia regulowanie mocy uzyskiwanej ze strumienia lub prędkości koła wiatrowego. Moc znamionowa elektrowni jest osiągana przy dość dużej, jak na warunki polskie, prędkości wiatru, równej w zależności konstrukcji wiatraka od 12 do 16 m/s. Elektrownie wiatrowe zainstalowane w systemie elektroenergetycznym mogą produkować



Rys. 5. Uproszczone schematy pracy elektrowni wiatrowych (www.instsani.pl)  
Fig. 5. Simplified diagrams of wind farm operation

energię elektryczną dzięki generatorom asynchronicznym: klatkowym lub pierścieniowym z przekształtnikiem w obwodzie wirnika (maszyny dwustronnie zasilane) lub generatory synchroniczne z przekształtnikiem w obwodzie stojana. Generator synchroniczny nie jest w tym przypadku łączony z systemem elektroenergetycznym bezpośrednio a przez przekształtnik energoelektroniczny.

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest elektrownia z generatorem asynchronicznym dwustronnie zasilanym z przekształtnikiem energoelektronicznym włączonym w obwód wirnika. Przekształtnik umożliwia przesyłanie energii w obu kierunkach, tzn. w kierunku do i od wirnika maszyny, co pozwala na pracę generatora powyżej i poniżej prędkości synchronicznej. Gdy maszyna pracuje z prędkością większą od synchronicznej, moc płynie od wirnika do sieci, a gdy pracuje z prędkością mniejszą od synchronicznej, moc płynie od stojana do wirnika (sieci). Sterując prądem wirnika (amplitudą i fazą) można w dużym zakresie wpływać na poślizg maszyny oraz na moc bierną i czynną wprowadzaną przez elektrownię wiatrową do systemu elektroenergetycznego. Optymalizacja mocy wyjściowej polega na szybkim dopasowywaniu się do różnych prędkości wiatru, dzięki czemu energia zawarta w wietrze i podmuchach wiatru jest uzyskiwana efektywniej. W przypadku wykorzystywania tylko układu regulacji kąta nachylenia łopaty, energia podmuchów byłaby tracona. Jednocześnie szybki regulator przekształtnika elektroenergetycznego generatora pozwala układowi kąta nachylenia łopaty na wolniejszą pracę, dzięki której ewentualne naprężenia mechaniczne, a w tym obciążenia łopaty i wału wirnika

są mniejsze. Natomiast gdy prędkość wiatru spada, wykorzystywana jest energia zgromadzona w postaci energii kinetycznej ruchu obrotowego wirnika elektrowni (wygładzanie wahań mocy wprowadzanej do sieci).

Dodatkowe zalety to:

- możliwość regulacji mocy biernej bez konieczności korzystania z baterii kondensatorów,
- niższy poziom hałasu,
- zmniejszenie zużycia przekładni, łopat i wieży,
- poprawa jakości energii elektrycznej wprowadzanej do systemu elektroenergetycznego,
- aktywne tłumienie oscylacji mocy i napięć, a w tym harmonicznych prądów i napięć.

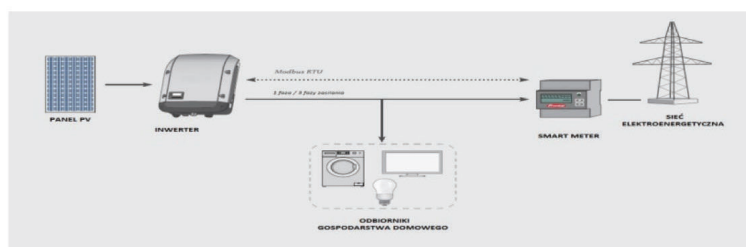
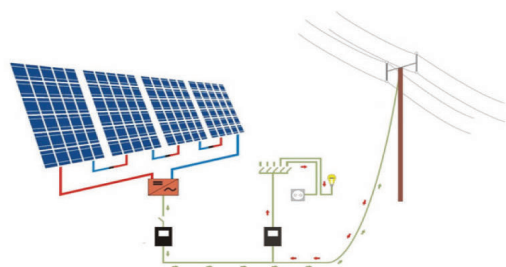
### Energetyka słoneczna

Ogniwo fotowoltaiczne powoduje bezpośrednią konwersję energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną przez wykorzystanie półprzewodnikowego złącza typu p-n, w którym pod wpływem fotonów, o energii większej niż szerokość przerwy energetycznej półprzewodnika, elektrony przemieszczają się do obszaru n, a dziury (nośniki ładunku) do obszaru p. Takie przemieszczenie ładunków elektrycznych powoduje pojawienie się różnicy potencjałów, czyli napięcia elektrycznego o charakterze napięcia stałego.

Falownik, inaczej inwerter solarny lub inwerter fotowoltaiczny, to urządzenie przetwarzające prąd stały, produkowany przez moduły PV, na prąd zmienny. Zawarty w nim układ sterujący zapewnia komunikację między inwerterem a światem zewnętrznym. Wieża słoneczna to bardzo wysoki komin słoneczny, w którym energię ruchu powietrza przekształca się na energię elektryczną za pomocą turbiny wiatrowej.

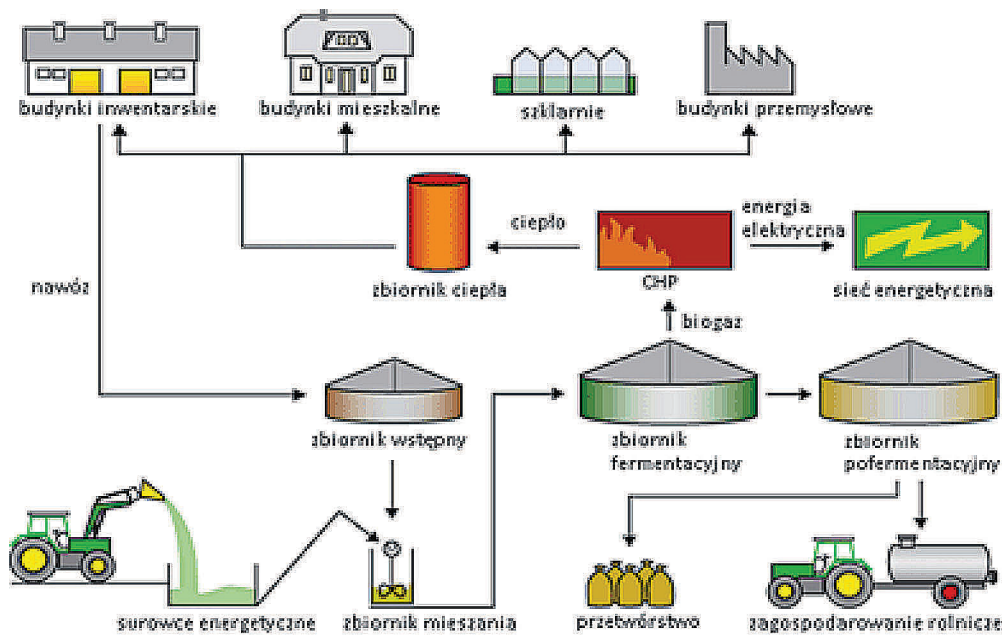
### Biogazownie

Elektrownia jako paliwo wykorzystuje metan, który jest głównym składnikiem, powstałego w procesie fermentacji metanowej, biogazu. Fermentacja ta stanowi zespół beztlenowych procesów biochemicznych, w których wielocząstkowe substancje organiczne (węglowodory, białka i tłuszcze) ulegają rozkładowi do alkoholi lub niższych kwasów organicznych oraz metanu, dwutlenku węgla i wody. W niewielkiej ilości w procesie tym powstają również: azot, tlen i wodór. Końcowy produkt beztlenowego rozkładu materii organicznej stanowi płynna substancja poprodukcyjna wykorzystywana w rolnictwie jako wysokiej jakości naturalny nawóz. Spalanie metanu następuje w silnikach spalinowych napędzających generatory np. w układach omówionych przy elektrowniach wiatrowych.



Rys. 6. Uproszczone schematy pracy elektrowni opartych na panelach fotowoltaicznych (www.4edu.com.pl, www.selfa-pv.com)  
Fig. 6. Simplified working diagrams of power plants based on photovoltaic panels





Rys. 7. Uproszczony schemat pracy elektrowni biogazowi (www.argoxee.com.pl)

Fig. 7. A simplified diagram of the operation of a biogas plant

## ANALIZA PRACY ELEKTROWNI WYKORZYSTAJĄCYCH ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Ze względu na charakter czynnika roboczego, tj. zmienność prędkości wiatru czy nasłonecznienia i zastosowanie odmiennych, od klasycznych generatorów synchronicznych, sposobów wytwarzania energii, w artykule przeanalizowano możliwości działania i zachowanie nowych elektrowni w systemie elektroenergetycznym.

Pewność generacji – nieprogramowalna, jest prognozowana przez analizę zjawisk atmosferycznych. Wynika z tego również brak możliwości precyzyjnego określenia ich udziału w planowaniu rezerwowania mocy w systemie elektroenergetycznym.

Regulacja  $U$  i  $Q$  – w elektrowniach wiatrowych istnieje możliwość generacji mocy biernej o dowolnym charakterze w szerokim zakresie wartości. W konstrukcjach opartych na generatorach asynchronicznych dwustronnie zasilanych możliwa jest zmiana generowanej w obwodzie stojana mocy biernej, sterując wartościami napięcia od strony wirnika maszyny. Nowoczesne układy sterowania dają możliwości regulacji mocy biernej w szerokim zakresie zarówno generacji, jak i poboru mocy biernej. Z analizy wykresu pracy przekształtników wynika, że generacja mocy biernej może się odbywać niezależnie od warunków wietrznych. Rozwiązanie to daje duże możliwości regulacji napięć węzłowych i tym samym może znacząco zwiększać bezpieczeństwo pracy w awaryjnych stanach systemu elektroenergetycznego. Praktycznym przykładem maszyny bardziej zaawansowanej technicznie jest V112 o mocy 3,3 MW, zastosowana na Farmie Wiatrowej Lubartów, przyłączona do GPZ Lubartów, gdzie generator asynchroniczny zasilany jest przez pełnoskalowy konwerter przekształtnikowy, tzn. obydwie uzwojenia są zasilane tym przekształtnikiem. Efekt jest taki, że sam konwerter potrafi np. generować moc bierną bez pracy generatora i wtedy zachowuje się jak kompensator, przy czym wg danych producenta taka maszyna o mocy znamionowej 3,3 MW potrafi bez generacji mocy czynnej dać w zakresie od 0 mocy czynnej ponad 2 Mvar mocy biernej zarówno indukcyjnej i pojemnościowej. Wykorzystywanie tej farmy wiatrowej do regulacji napięcia w punkcie przyłączenia, szczególnie przy odstawieniu ATR 400/110 w systemie elektroenergetycznym Lublin Systemowa, wtedy napięcie w GPZ Lubartów spada do poziomu 105-106 kV, pozwala utrzymać napięcie na poziomie 113-114 kV.

Regulacja mocy biernej dokonywana jest względem punktu przyłączenia elektrowni wiatrowej do systemu elektroenergetycznego i może odbywać się wg jednego z trzech kryteriów regulacji:

- utrzymania zadanego poziomu napięcia (pożądana),
- generacji mocy biernej o ustalonej wartości i charakterze,
- utrzymania zadanego poziomu współczynnika mocy ( $\cos\phi$ ) – generowana wartość mocy biernej zależy bezpośrednio od wartości mocy czynnej generowanej.

W celu wykorzystania farmy fotowoltaicznej w procesie prowadzenia ruchu KSE Instrukcje Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej wymagają, aby źródło wytwórcze było zdolne do sterowania w zakresie:

- zadawania zmiany mocy generowanej,
- zmiany mocy biernej,
- całkowitego wyłączenia źródła.

W większości falowników sieciowych przeznaczonych do instalacji PV oferowanych obecnie na rynku producenci udostępniają możliwość uaktywniania, wymaganych przepisami różnych krajów, charakterystyk ograniczenia mocy czynnej i charakterystyk generacji/poboru mocy biernej instalacji w zależności od warunków pracy sieci elektroenergetycznej. Celem stosowania tych charakterystyk jest przeciwdziałanie przekroczeniom dopuszczalnych wartości parametrów napięcia, zanim zadziałają zabezpieczenia i całkowicie instalację wyłączą. Takie sterowanie jest możliwe przez proste wejście binarne, gdzie różnym stanom tego wejścia można przypisać różne stopnie ograniczenia generowanej mocy. Zadaniem operatora sieci lub użytkownika mikroinstalacji jest określenie progów ograniczeń oraz sposobu ich wprowadzania.

Regulacja  $f$  i  $P$  – w elektrowniach wiatrowych nie ma barier technicznych umożliwiających świadczenie usługi w całym paśmie regulacyjnym. Turbiny wiatrowe są technicznie przystosowane do równoczesnej redukcji mocy o zadaną wartość i regulacji mocy w funkcji częstotliwości.

Wiąże się to szczególnie z koniecznością zaniżenia mocy oddawanej do sieci w stosunku do aktualnych warunków meteorologicznych z równocześnie aktywnym trybem regulacji związanej z częstotliwością, pozwalającym zarówno na dodatkowe zmniejszanie, jak i zwiększanie mocy elektrowni – stosownie do zmian częstotliwości w sieci.

Stabilność napięciowa – elektrownie mają pozytywny wpływ na utrzymywanie stabilności napięciowej ze względu na produkcję energii elektrycznej blisko miejsca odbioru.

Obszar osiągalnych stanów pracy – jest porównywalny ze źródłami synchronicznymi.

Stabilność lokalna – negatywny wpływ na system elektroenergetyczny ze względu na pogorszenie jego inercji wobec zmniejszenia się indukcyjności w układach pracy.

Jakość energii – aktualnie montowane urządzenia nie generują wyższych harmonicznych.

Obrona systemu elektroenergetycznego – możliwa tylko przy nadwyżce mocy w systemie, przy niedoborze zależnie od warunków atmosferycznych.

Odbudowa systemu po blackoucie – aktualnie brak możliwości realizacji tej funkcji ze względu na nieprzystosowanie układów regulacji.

Zdolność przetrwania zwarcia – wg wymagań operatorów realizowane przez określenie minimum napięcia dla wyłączenia z pracy.

Systemy wsparcia – mogą być realizowane po rozbudowie i przystosowaniu systemów informatycznych i komunikacji.

### PODSUMOWANIE

- Dyskusja o przyszłości energetyki toczy się przede wszystkim wokół identyfikacji możliwości pozyskania energii z nowych źródeł. Jest to oczywiście ważne, ale ukazuje jedynie wierzchołek góry lodowej o nazwie przebudowa procesu wytwarzania i korzystania z energii elektrycznej. Umożliwia to praca elektrowni wykorzystujących odnawialne źródła energii, wypełniająca wszystkie warunki pracy w systemie elektroenergetycznym wraz z realizacją funkcji regulacyjnych.
- Rosnący udział elektrowni wykorzystujących jako paliwo OZE oraz szybkie zmiany w zapotrzebowaniu odbiorców na moc wpływają na pracę jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych. Obniżają się ich wskaźniki wykorzystania mocy zainstalowanej. Jednostki wytwórcze, które do tej pory pracowały w podstawie krzywej zapotrzebowania na moc, zaczynają funkcjonować jako elektrownie podszczytowe, odstawiane w dolinie zapotrzebowania, wzrasta liczba odstawień jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych w cyklu dobowym. W konsekwencji wyzwaniem stają się pokrycie szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną i zapewnienie wymaganego poziomu rezerw mocy. W perspektywie wieloletniej pogarsza się dyspozycyjność wyeksploatowanych jednostek konwencjonalnych i rośnie liczba nieplanowanych wyłączeń, co stwarza problemy ze zbilansowaniem krajowego systemu elektroenergetycznego.
- Generacja ze źródeł odnawialnych charakteryzuje się zmiennością sezonową i dobową. Dlatego kolejnym krokiem rozwoju OZE będzie uzupełnienie generacji z OZE o magazyny energii, co pozwoli w takich układach hybrydowych zapewnić dostępność energii niezależnie od chwilowych warunków pogodowych, wiatru czy słońca.
- Perspektywy rozwoju wyraźnie wskazują, że na przestrzeni najbliższych lat sumaryczna moc zainstalowana w tych elektrowniach osiągnie poziom, który może mieć znaczący wpływ na pracę systemu elektroenergetycznego. Należy więc wykorzystać ich zdolności regulacyjne przez zoptymalizowanie obszarowego zrównoważenia bilansu energetycznego i nowe automatyki regulacji napięć węzłowych wykorzystujące zdolności (możliwości) sterowania mocą bierną.
- Rozwój generacji rozproszonej przyczynia się do stopniowej zmiany roli sieci dystrybucyjnej z pasywnej na sieć aktywną. W takiej sieci przepływy mocy następują nie tylko z sieci przesy-

łowej, ale także wewnątrz sieci dystrybucyjnej – na tym samym poziomie napięć – lub z sieci o niższym napięciu do sieci o wyższym napięciu. Wymaga to przebudowy systemu transformacji pomiędzy poziomami napięć.

- Warunkiem koniecznym sprawnego funkcjonowania sieci jest rozwój nowych usług na podstawie środowiska informatycznego integrującego i sterującego poszczególnymi komponentami sieci elektroenergetycznej w celu umożliwienia efektywnego zarządzania popytem i optymalizacją wykorzystania zasobów istniejących w infrastrukturze elektroenergetycznej kraju. Technologią wspierającą takie rozwiązania może stać się także technologia Internetu.
- Zmieni się rola odbiorcy końcowego. Kluczowy staje się rozwój rozproszonej energetyki prosumenckiej i zintegrowanie jej z mechanizmami rynkowymi wspierającymi regulację KSE. Rozwój energetyki obywatelskiej (prosumenci, klastry energii, elektromobilność), przyczynią się do zwiększenia jego znaczenia w systemie elektroenergetycznym. Prosument nie tylko będzie wytwarzał energię elektryczną, ale stanie się uczestnikiem rynku energii.
- Cena energii będzie miała wpływ na zachowanie odbiorców tylko w zakresie, w jakim są oni w stanie zoptymalizować (np. przesunąć w czasie) pracę urządzeń. Programy zarządzania popytem powinny wykorzystywać nowe możliwości w sterowaniu, umożliwiające dwukierunkową komunikację nawet ze stosunkowo niewielkimi odbiorcami (obciążeniami).

Konsultacje artykułu:

– dr inż. Jerzy Dudzik – długoletni dyrektor Departamentu Usług Operatorskich PSE.

– mgr inż. Piotr Dariusz Wójcicki – członek Zarządu V-Ridium Power Services.

Artykuł recenzowany, wpłynęło 20.07.22

### LITERATURA

- [1] Bronk L., B. Czarniecki, R. Magulski 2019. Elastyczność krajowego systemu elektroenergetycznego. Forum Energii.
- [2] Dobrzycki A., P. Ambrozik 2017 Analiza wpływu elektrowni fotowoltaicznej na sieć elektroenergetyczną. Politechnika Poznańska.
- [3] Gryszpanowicz K., S. Robak. 2011. Analiza wpływu źródeł fotowoltaicznych na stabilność napięciową systemu elektroenergetycznego. *Przegląd Elektrotechniczny*.
- [4] Kacejko P. 2017. Ocena możliwości opanowania podskoków napięcia w sieci nn o dużym nasyceniu mikroinstalacjami fotowoltaicznymi. *Wiadomości Elektrotechniczne*.
- [5] Kłossowski E. 2020. Rynek i system elektroenergetyczny 2030. PSE SA.
- [6] Lubośny Z. 2016. Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Warszawa: PWN.
- [7] PSE S.A. 2018. Propozycja OSP wymogów ogólnego stosowania wynikających z Rozporządzenia Komisji Unii Europejskiej 2016/631.
- [8] Sowa S. 2018. Odnawialne źródła energii jako czynnik wpływający na poprawę efektywności energetycznej. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- [9] Tytko R. 2020. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Eco Investment.
- [10] Wójcicki R. 2015. Wpływ rozproszonych Instalacji Fotowoltaicznych na bezpieczeństwo Krajowego Systemu Elektroenergetycznego w okresie szczytu letniego. Politechnika Śląska.
- [11] [www.4edu.com.pl](http://www.4edu.com.pl).
- [12] [www.argoxee.com.pl](http://www.argoxee.com.pl).
- [13] [www.instsani.pl](http://www.instsani.pl).
- [14] [www.selfa-pv.com.pl](http://www.selfa-pv.com.pl).
- [15] [www.wysokienapiecie.pl](http://www.wysokienapiecie.pl).