

# ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII JAKO ELEMENT NOWEGO ZIELONEGO ŁADU

Odnawialne źródła energii w swoim pierwotnym założeniu miały być środkiem zaradczym na wzrastające zapotrzebowanie na energię elektryczną i coraz większe korzystanie z zasobów kopalnych. Mają być również głównym elementem nowego zielonego ładu w energetyce, w którym emisje CO<sub>2</sub> będą zbilansowane z jego absorpcją.



**prof. dr hab. inż.  
Władysław Mielczarski**

Posiada ponadczterdziestoletnie doświadczenie w pracy na polskich i zagranicznych uczelniach oraz w przemyśle energetycznym. Jest autorem ponad 300 artykułów i referatów naukowych, 11 książek w języku polskim i angielskim.  
wladyslaw.mielczarski@p.lodz.pl

## Władysław Mielczarski

Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej

**D**o odnawialnych źródeł energii Unia Europejska zalicza energię wyprodukowaną: (i) z wiatru na lądzie i na morzu, (ii) pochodzącą ze słońca, głównie paneli fotowoltaicznych (PV), (iii) biomasy i biogazu oraz (iv) przepływów wody i falowania, a także pływów morskich. Obecnie energia z OZE pochodzi głównie z wiatru i ze słońca. Te dwa źródła energii mają podobne cechy. Jest to energia rozproszona i nie zawsze możliwa do pozyskania. Produkcja energii elektrycznej z biogazu ma na celu zagospodarowanie tego rolniczego odpadu, a zaliczenie biomasy jako źródła energii odnawialnej budzi znaczne kontrowersje, ponieważ prowadzi do wycinania lasów dostarczających tlen.

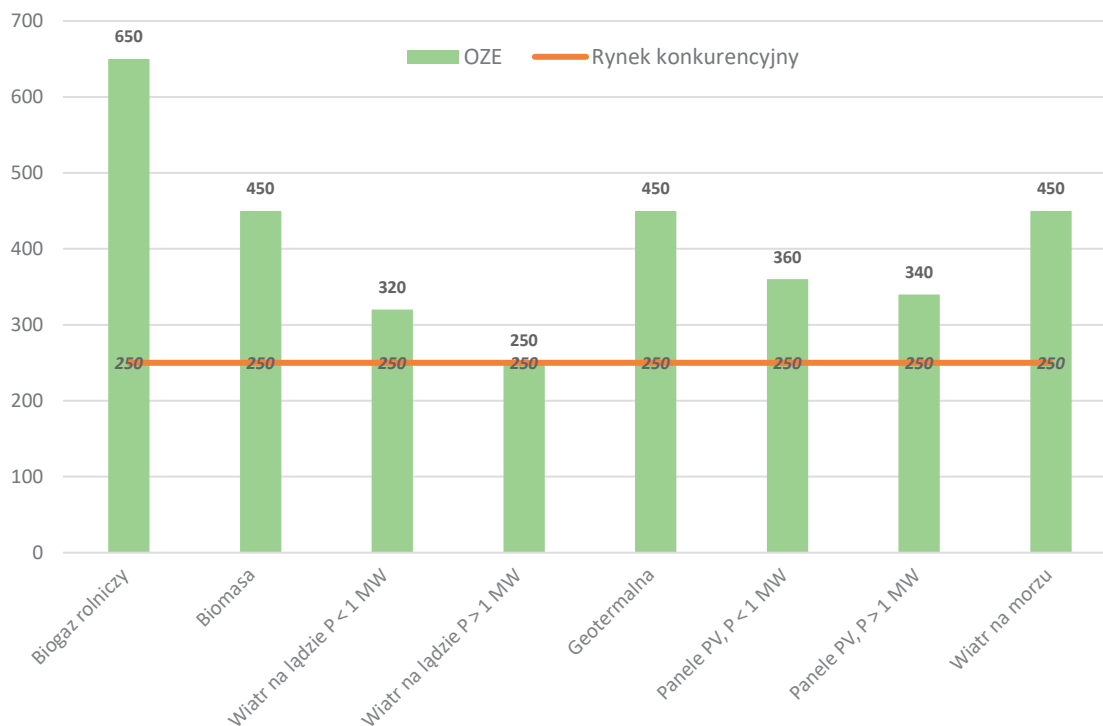
Odnawialne źródła energii (OZE) ze względu na koszty nie mogłyby pojawić się na rynku konkurencyjnym, dlatego potrzebny był system różnego rodzaju subsydiów. Dodatkową stymulacją rozwoju OZE w krajach Unii Europejskiej są cele stawiane przez Komisję Europejską. W 2020 roku energia wyprodukowana z odnawialnych źródeł energii miała

stanowić 20 proc. energii zużywanej przez odbiorców końcowych. Cel ten został podwyższony do 30 proc. w 2030 roku i można się spodziewać, że w kolejnych dziesięcioleciach cele te będą rosły.

Produkcja energii z wiatru i ze słońca zależy od dostępności tych zasobów. Wykorzystanie mocy zainstalowanych w farmach wiatrowych na lądzie nie przekracza 2300 godzin rocznie, a w farmach morskich wskaźnik ten wynosi od 3500 godzin rocznie (Bałtyk) do 4500 godzin rocznie (Morze Północne). Ponieważ energia elektryczna powinna być dostarczana odbiorcom siedem dni w tygodniu i 24 godziny na dobę (8760 godzin rocznie), odnawialne źródła energii są uzupełniane przez elektrownie konwencjonalne, których dyspozycyjność nie zależy od czynników atmosferycznych.

Teoretyczna maksymalna sprawność instalacji wiatrowych obliczana dla powierzchni koła zataczanego przez śmigła wynosi 59 proc. W praktyce sprawność wynosi około 40 proc. Zwiększenie mocy instalacji wiatrowych następuje przez zwiększenie wysokości wieży i długości śmigieł. Niektóre prototypowe instalacje wiatraków morskich osiągają 14 MW mocy przy wysokości wieży ponad 260 m i długości śmigła około 110 m. Na lądzie powszechne są konstrukcje mniejsze, o mocy 3 MW, wysokości ponad 100 m i długości śmigła 60–70 m. W Polsce dominują wiatraki małej mocy o wysokości 30–40 m, w znacznej części importowane

Ceny referencyjne energii z OZE w 2020 roku w zł/MWh



Rys. 1  
Ceny referencyjne  
na aukcjach  
dla energii z OZE

z Europy Zachodniej na podobnej zasadzie jak używane samochody.

W produkcji energii elektrycznej z energii słonecznej dominują panele PV, poli- i monokrystaliczne. Te pierwsze, o charakterystycznym niebieskim kolorze, mają sprawność około 15 proc. Czarne, monokrystaliczne osiągają sprawność do 20 proc. przy maksymalnej teoretycznej sprawności około 30 proc. W centralnej Europie wykorzystanie mocy zainstalowanych paneli PV nie przekracza 1000 godzin rocznie. Energia promieniowania słońca na tych obszarach wynosi 1 kWh/m<sup>2</sup>, co powoduje, że panele PV wymagają bardzo dużych powierzchni. Technologia ta jest bardzo wrażliwa na zmieniające się zachmurzenie nieba, a okres jesienno-zimowy cechuje się małą produkcją.

O ile instalacje wiatrowe ze względu na wielkość są praktycznie w 100 proc. instalacjami komercyjnymi, to instalacje paneli PV działają jako komercyjne przy wielkości mocy ponad 50 kW, a w przypadku małych instalacji domowych jest stosowany system prosumencki (więcej zob. dalej).

## Rozwój OZE w Polsce

Rozwój odnawialnych źródeł w Polsce jest zależny od systemu subsydiów. W pierwszym okresie, od 2005 do 2015 roku, był stosowany system certyfikatów polegający na tym, że producent energii odnawialnej z certyfikowanej instalacji wprowadzał dowolną możliwą do wyprodukowania ilość energii do sieci elektroenergetycznej. Wprowadzoną energię sprzedawał

na wolnym rynku lub firmom zobowiązanym do nabycia takiej energii. Dodatkowo producent OZE otrzymywał zielony certyfikat, który był instrumentem finansowym. Firmy obrotu energią elektryczną musiały nabywać zielone certyfikaty w proporcji do swojego obrotu. Ceny energii z OZE były 2–2,5-krotnie wyższe od cen rynkowych. Tak wysokie ceny skutkowały szybkimi inwestycjami w OZE i nadmiarem produkcji. Powodowało to znaczne obciążenie dla odbiorców energii. Koszty subsydiów dla OZE realizowanych przez system przymusowego zakupu zielonych certyfikatów sięgały ponad 5 mld zł rocznie.

Od 2015 roku działa nowy system subsydiów polegający na aukcjach prowadzonych w oparciu o ceny referencyjne. Producent OZE może uzyskać 15-letni kontrakt na zakup swojej energii po cenie ustalonej na aukcji. Ceny dla OZE na aukcjach są znacznie wyższe od cen rynkowych (rys. 1). Te bezpośrednie subsydia będą rosły z roku na rok ze względu na coraz wyższe cele w Unii Europejskiej. Szacuje się, że średnioroczne bezpośrednie subsydia dla OZE w Polsce będą wynosić 8–10 mld zł.

Koszty odnawialnych źródeł energii to nie tylko koszty bezpośrednich subsydiów, lecz także koszty utrzymywania rezerw mocy, które dostarczają energię elektryczną w okresach, kiedy odnawialne źródła nie są dyspozycyjne, ponieważ nie ma wiatru lub nie świeci słońce. Pełną dyspozycyjność dostaw energii elektrycznej mogą zapewnić obecnie tylko trzy konwencjonalne technologie: (i) elektrownie węglowe, (ii) elektrownie gazowe i (iii) elektrownie jądrowe.

Wzrastająca produkcja OZE powoduje, że elektrownie konwencjonalne, od których zależy bezpieczeństwo energetyczne, produkują coraz mniej energii, będąc głównie rezerwą dla OZE. Zmniejszona produkcja w elektrowniach konwencjonalnych i mniejsze przychody ze sprzedaży powodują konieczność ich subsydiowania. W 2019 roku został wprowadzony w Polsce system takich subsydiów nazywany rynkiem mocy, który będzie działał do 2030 roku, obciążając odbiorców energii kosztami ponad 5,5 mld zł rocznie (2021 rok). Kontrakty zawarte na rynku mocy będą realizowane do początku lat 40. Rynek mocy jest pośrednim subsydem dla OZE wypłacanym elektrowniom konwencjonalnym za rezerwowanie ich produkcji.

## Programy prosumenckie

Innym sposobem zwiększenia produkcji z OZE są programy prosumenckie. Prosumentem może zostać każdy, kto dysponuje odpowiednią powierzchnią do zainstalowania paneli PV oraz możliwością sfinansowania zakupu instalacji ze środków własnych w wysokości około 20–30 tys. zł. W praktyce program sprowadza się do subsydiowania najzamożniejszej grupy społeczeństwa posiadającej własne domy.

Szacuje się, że średnioroczne bezpośrednie subsydia dla odnawialnych źródeł energii w Polsce będą wynosić 8–10 mld zł.

Główna różnica między producentem energii z OZE a prosumentem polega na tym, że producent musi posiadać odpowiednią koncesję na produkcję energii elektrycznej, być zarejestrowanym podmiotem gospodarczym i płatnikiem VAT. Przychód producenta wynika ze sprzedanej energii elektrycznej po preferencyjnej cenie uzyskanej na aukcji OZE (rys. 1).

Prosument jest osobą prywatną, która produkuje energię na własny użytek, a która otrzymała odpowiednie subsydia w programach przeznaczonych dla prosumentów, jak np. „Mój Prąd” czy „Czyste powietrze”. Subsytia te wynoszą około 8 tys. zł, przy średnim koszcie instalacji 25 tys. zł. Prosument nie prowadzi działalności gospodarczej w obszarze produkcji energii elektrycznej. Jego przychodem jest zmniejszenie kosztów zakupu energii elektrycznej. Na subsydia w ramach programu „Mój Prąd” przeznaczono ponad 1,2 mld zł w ciągu półtora roku.

Ponieważ produkcja energii elektrycznej przez panele PV odbywa się głównie w godzinach rannych i południowych, a zużycie energii jest największe w okresach wieczornych, szczególnie w czasie zimy, konieczne byłoby magazynowanie energii. Jednak koszt budowy magazynów energii jest bardzo duży i jest mało realne, by pojawiły się one w instalacjach prosumenckich. Dlatego prosument otrzymuje kolejne subsydia, jakim jest magazynowanie energii w systemie elektroenergetycznym.

Nosi to nazwę „net-metering” i polega na tym, że w okresie nadmiaru energii z paneli PV, rano i w południe, energia jest oddawana do systemu, a w godzinach wieczornych pobierana z systemu elektroenergetycznego. Funkcją magazynu energii elektrycznej pełnią elektrownie konwencjonalne. W Polsce są to elektrownie węglowe, zmniejszające własną produkcję w okresie, kiedy prosumenci mają nadmiar energii, i zwiększające tę produkcję w czasie, kiedy prosumenci pobierają energię z sieci. Opłata za takie magazynowanie jest pobierana w formie rzeczowej i wynosi 20 proc. energii wprowadzonej do sieci.

Mimo wielu subsydiów programy prosumenckie nie są opłacalne i profesjonalne obliczenia ekonomiczne z użyciem metody przepływów zdyskontowanych pokazują straty prosumenta na poziomie 30 proc. w porównaniu z sytuacją, gdyby wyłącznie kupował energię elektryczną z sieci. Programy te są jednak popierane przez administrację rządową, ponieważ pozwalają zaangażować w zakup instalacji OZE środki własne prosumentów, niepodlegające profesjonalnej ocenie ryzyka, do której by doszło w przypadku komercyjnej instalacji. Pewną rolę w decyzji bycia prosumentem odgrywa moda i chęć niewyróżniania się z grupy sąsiadów, którzy wcześniej nabyli takie instalacje.

## Oddziaływanie na system elektroenergetyczny

Dyspozycyjność głównych systemów OZE, takich jak energia wiatrowa i słoneczna, zależy od warunków atmosferycznych, co powoduje, że nie mogą być one wliczane do bilansów mocy decydujących o bezpieczeństwie energetycznym. Mimo braku dyspozycyjności zarówno farmy wiatrowe, jak i panele PV są dobrymi obiektami sterowania. Instalacje PV i wiatrowe posiadają na wyjściu falowniki pracujące w systemie modulacji impulsowej, będące w stanie kształtować częstotliwość, amplitudę i fazę prądu wprowadzane go do sieci. Dodatkowo wiatraki mogą zmieniać kąt natarcia śmigła, regulując w ten sposób odbieraną od wiatru energię.

O ile duże instalacje wiatrowe są wyposażone w odpowiednie sterowniki falowników, to falowniki paneli PV mają z reguły nieodpowiednie sterowniki,

najczęściej z napędów elektrycznych ze względu na ich niską cenę. Sterowniki falowników instalacji PV nie są przystosowane do pracy z systemem elektroenergetycznym, w którym cały czas występują fluktuacje napięcia. Przy większych fluktuacjach, które zdarzają się dosyć często i są elementem normalnej pracy systemu elektroenergetycznego, falowniki instalacji PV wyłączają się, pozbawiając system dopływu energii z tych instalacji. Może to prowadzić, i nieraz prowadzi, do awarii systemowych.

Operatorzy sieci, stojąc przed problemem niekontrolowanego wyłączania się instalacji PV, zaproponowali nowe zasady pracy tych sterowników w odpowiedzi na fluktuację częstotliwości i napięcia w systemie elektroenergetycznym. Jednak opracowane zasady czekają w Ministerstwie Klimatu i Środowiska, by przybrać formę regulacji prawnych. Przyczyną blokowania nowych regulacji jest spodziewany znaczny wzrost kosztów falowników dla instalacji PV, co spowodowałoby konieczność zwiększenia subsydiów.

Dodatkowym problemem instalacji OZE jest brak inercji (bezwładności), która jest elementem stabilizacji pracy systemu elektroenergetycznego. W przypadku nadmiaru energii w konwencjonalnym systemie elektroenergetycznym, np. wyłączenie się linii, generatory z turbinami parowymi o masach rzędu setek ton zwiększają prędkość obrotową, zamieniając nadmiar energii elektrycznej w systemie na energię kinetyczną wirujących mas, a w przypadku braku energii zwalniają obroty, przekazując energię do systemu elektroenergetycznego.

Możliwość zmiany prędkości generatorów konwencjonalnych jest jednym z głównych elementów stabilizacji systemu elektroenergetycznego. Niestety, OZE są bezinercyjne, a w przypadku fluktuacji w systemie elektroenergetycznym szybko wyłączają się, powodując awarie. W sytuacji zwiększania się mocy zainstalowanych OZE operatorzy sieci przesyłowej poszukują nowych sposobów pozyskania inercyjności, proponując, by w starych elektrowniach po likwidacji kotła węglowego pozostawić generator i turbinę jako wirujące masy pracujące w trybie silnikowym. Jest to bardzo dyskusyjne rozwiązanie.

## Blackout we wschodniej Anglii

Awaria systemu elektroenergetycznego we wschodniej Anglii 9 sierpnia 2019 roku spowodowała odłączenie od sieci i pozbawienie zasilania ponad 1152 tys. odbiorców, w tym tak wrażliwych jak lotnisko w Newcastle czy szpital Ipswich. Tysiące osób podróżujących koleją zostało uwięzionych w wagonach, często w podziemnych tunelach. Pracę kolei udało się przywrócić dopiero następnego dnia. Przebieg awarii i jej dynamika była zaskoczeniem dla operatora sieci. Zdarzyło się coś, co nie powinno się zdarzyć, biorąc pod uwagę niewielkie i typowe zakłócenia pracy sieci.

Awarię zainicjowało samoczynne wyłączenie generacji rozproszonej, głównie paneli PV. Odłączyło się samoczynnie tylko 500 MW, dla przykładu w Polsce moce zainstalowane w panelach PV przekroczyły obecnie 3000 MW. Do dalszego rozwoju awarii we wschodniej Anglii kolejno przyczyniło się zredukowanie mocy w wiatrowej elektrowni morskiej Hornsea One – zmniejszenie generacji z 799 do 62 MW, a następnie wyłączenie się generatora turbiny parowej elektrowni gazowej w Little Barford (STC1 – 244 MW), po czym zabezpieczenia wyłączyły pierwszą turbinę gazową (GT1A – 210 W) z powodu zbyt dużego ciśnienia pary (turbina parowa była już wyłączona), a następnie wyprzedzając działanie zabezpieczeń dyspozytorzy wyłączyli drugą turbinę parową (GT1B – 187 MW).

Chwilowy spadek napięcia w systemie elektroenergetycznym spowodował samoczynne i niekontrolowane wyłączenie instalacji OZE, w większości paneli PV, które pracując jako źródła prądowe potrzebują do poprawnej pracy napięcia bazowego z systemu elektroenergetycznego. Moce zainstalowane w OZE, w tym w panelach PV, rosną z roku na rok. Wraz z rosnącymi mocami OZE rośnie prawdopodobieństwo awarii systemu. Zamykanie konwencjonalnych elektrowni wynikające z transformacji energetyki prowadzi do zmniejszenia się inercji, która ma właściwości stabilizujące. Prowadzi się prace nad sztuczną inercją, jednak pozostaje otwarte pytanie, czy będzie ona w stanie zastąpić naturalną.

## Nowy zielony ład

W nowym zielonym ładzie, który ma nadejść w energetyce krajów UE, emisje CO<sub>2</sub> mają być zbilansowane z jego pochłanianiem, np. przez lasy. Początkowo zielony ład zamierzano osiągnąć wyłącznie przez produkcję energii z OZE. Ponieważ przekonano się, że nie jest to możliwe, trwają prace nad magazynowaniem energii w postaci tzw. zielonego wodoru, produkowanego z energii odnawialnej. Ponadstuletnie doświadczenia z zastosowaniem wodoru w energetyce pokazują, że ten gaz łatwo penetruje ściany zbiorników i rurociągów, spalając się wybuchowo. Nadzieja na osiągnięcie zielonego ładzie przez powszechne zastosowanie wodoru w energetyce wydaje się mieć charakter myślenia życzeniowego.

Nowy zielony ład spowoduje, że w systemie elektroenergetycznym powstanie nowy *modus operandi*. Odbiorcy otrzymają energię, kiedy będzie dostępna z produkcji głównie elektrowni wiatrowych czy słonecznych. Kiedy produkcja energii z OZE zmaleje, dostawy do odbiorców będą ograniczane. Energia elektryczna będzie bardzo kosztowna i stanie się dobrem luksusowym. Ten nowy sposób działania energetyki, zielony ład, będzie dużym wyzwaniem dla gospodarki i społeczeństwa. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Leslie J., *Our new approach to inertia and other stability services*, portal National Grid ESO, 29.01.2020.

Mielczarski W., *Czy rozproszona generacja PV spowodowała blackout w Anglii?*, CIRE, 3.09.2019.

Mielczarski W., *Blackout w Anglii. Energia bez gwarancji*, CIRE, 12.08.2019.

Lubośny Z., *Wirtualna inercja w systemie elektroenergetycznym*, „Automatyka, Elektryka, Zakłócenia”, vol. 11, nr 1 (39), 2020.