

■ Rafał Kozieł,
Wiceprezes Zarządu, Polskie Stowarzyszenie Rozwoju Fotowoltaiki

Grid Forming

Kolejny krok w rozwoju systemów magazynowania energii

Dynamicznie postępujący wzrost udziału źródeł odnawialnych w wytwarzaniu energii elektrycznej w Europie stawia przed operatorami systemów elektroenergetycznych szereg nowych wyzwań. Zastępowanie jednostek synchronicznych, maszyn wirujących w elektrowniach ciepłych - stanowiących dotychczas podstawę stabilności sieci - instalacjami opartymi na elektronice mocy, wymaga redefinicji roli magazynów energii oraz sprzężonych z nimi inwerterów. Jedną z najważniejszych technologii, która w ostatnich latach zyskała strategiczne znaczenie jest grid forming: zdolność przekształtników do aktywnego kształtowania napięcia i częstotliwości w sieci, mająca krytyczne znaczenie dla utrzymania jej stabilności.





Foto: zasoby autora

Zdecydowana większość OZE, działających w obecnym systemie elektroenergetycznym, operuje w trybie **grid following**. Jest to klasyczny układ, w którym źródło wytwórcze dostarczając energię, synchronizuje się z siecią bez możliwości istotnego wpływu na jej parametry. W przypadku, gdy wymagane normami warunki sieciowe nie są spełnione (np. poziom napięcia lub częstotliwość poza zakresem referencyjnym), źródło odłącza się. Oznacza to, że w sytuacji awaryjnej źródła takie nie uczestniczą w odbudowie systemu. Rozwiązania grid forming działają w odmienny sposób. Są w stanie samodzielnie tworzyć referencję napięciowo-częstotliwościową i aktywnie uczestniczyć w utrzymaniu sztywnego, stabilnego systemu. Dla pełnej, niezawodnej funkcjonalności wymagany jest jednak bufor energetyczny niezależny od warunków pogodowych, co jest największą bolączką OZE. Stąd potrzeba wykorzystania magazynów energii, które stają się elementem krytycznej infrastruktury odpowiedzialnej za przetrwanie systemu - nawet w trudnych warunkach pracy i w sytuacjach skrajnego niedoboru inercji¹.

Funkcjonalności grid forming

Wielkoskalowe instalacje magazynowania energii wykorzystujące inwertery grid forming zyskują coraz większe znaczenie jako element stabilizujący system elektroenergetyczny. Technologie stosowane w takich projektach obejmują m.in.:

- **Dostarczanie syntetycznej inercji** (ang. *Synthetic Inertia*) - systemy magazynowania energii potrafią zapewnić natychmiastową odpowiedź mocy w ciągu milisekund, co ogranicza szybkość zmian częstotliwości po nagłych zaburzeniach zaistniałych w systemie.
- **Zwiększanie tzw. „system strength”** - inwertery grid forming są w stanie wzmocnić sieć poprzez zapewnienie **mocy zwarciowej** (ang. *Short Circuit Level, SCL*) oraz poprawę jakości zasilania, co jest kluczowe szczególnie w obszarach o dużym nasyceniu źródeł odnawialnych.
- **Funkcja black start** - możliwość samodzielnego uruchomienia i odbudowy fragmentów systemu po

blackoutach. Funkcjonalność charakterystyczna szczególnie dla obiektów zakwalifikowanych jako SGU (ang. *Significant Grid User*).

- **Rola „grid booster”** - wielkoskalowe magazyny energii mogą okresowo odciążać kluczowe linie przesyłowe, umożliwiając bardziej efektywną eksploatację istniejącej infrastruktury i ograniczając koszty redysponowania.

Wielka Brytania: pionier wdrożeń grid forming w Europie

Wielka Brytania stała się jednym z najważniejszych rynków testujących i wdrażających zaawansowane funkcje systemów magazynowania energii, zorientowane na wspieranie stabilności systemu. To właśnie tam powstały pierwsze w Europie duże instalacje bateryjne pracujące w trybie grid forming, co umożliwiło ich wykorzystanie do pozyskania usług, zapewnianych uprzednio wyłącznie przez źródła konwencjonalne.

W ramach programu **Stability Pathfinder**, operator systemu NESO (Na-

tional Energy System Operator) uruchomił pierwsze projekty zapewniające moc zwarciovą (SCL) oraz syntetyczną inercję poprzez przyłączenie pięciu magazynów energii pracujących w trybie grid forming oraz pięciu kompensatorów synchronicznych. Działające od 2025 r. instalacje w Szkocji stały się fundamentem lokalnych zasobów stabilności. Magazyny te potrafią samodzielnie wyznaczać parametry sieci, stabilizować napięcie i zachowywać się jak klasyczne generatory synchroniczne, lecz z dużo większą elastycznością i szybkością odpowiedzi².

Wdrożenie wspomnianych rozwiązań było możliwe dzięki zbudowaniu mechanizmów rynkowych umożliwiających świadczenie usług stabilności oraz zaoferowanie inwestorom stosownych kontraktów. W wartościach liczbowych określono zapotrzebowanie na moc zwarciovą i inercję w danym punkcie przyłączenia. Warunki dopuszczały zastosowanie dowolnej technologii. Sukces inwerterów z magazynami energii w tych przetargach świadczy nie tylko o technicznych zdolnościach do zapewnienia pożądaných usług, ale również o ekonomicznym uzasadnieniu projektów. Rozwój wpisuje się w potrzeby systemu, w którym zaczynają dominować już generatory niesynchroniczne oraz wymagane są usługi stabilizacyjne w czasie rzeczywistym³.

Niemcy: rynek inercji jako motor rozwoju technologii grid forming

Niemcy należą obecnie do światowych liderów w obszarze wdrażania usług systemowych opartych o zasoby magazynowania energii. Rosnący udział fotowoltaiki i energetyki wiatrowej wobec wygaszenia elektrowni węglowych i jądrowych przełożył się na gwałtowny spadek tradycyjnej inercji systemowej. Z tego powodu niemieccy operatorzy systemu przesyłowego rozpoczęli działania mające na celu uruchomienie **rynków inercji**, w których syntetyczna inercja dostarczana przez systemy BESS będzie mogła być wyceniana i kontraktowana.



Fot. zasoby autora

Od 2026 r. czterech operatorów systemu przesyłowego (50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW) wdraża mechanizmy zakupowe oparte na stałej cenie za gotowość do świadczenia usług inercyjnych, zarówno dodatnich, jak i ujemnych (dwukierunkowy przepływ energii w czasie rzędu milisekund). Wprowadzenie rynku inercji umożliwi magazynom energii uzyskiwanie wieloletnich kontraktów (od 2 do 10 lat), co znacząco poprawia przewidywalność ich przychodów. W praktyce funkcjonowanie rynku inercji oznacza, że systemy magazynowania energii wyposażone w zaawansowane przekształtniki grid forming będą wynagradzane za natychmiastową reakcję stabilizującą częstotliwość.

Dodatkowo, współczesne możliwości techniczne inwerterów do przeciążania ponad moc znamionową, umożliwiają korzystanie z wielu strumieni przychodowych dla magazynów jednocześnie. Tym samym możliwy jest np. handel energią w ramach arbitrażu w pełnym zakresie mocy i pojemności magazynu oraz oferowanie usług stabilności w oparciu o zdolność do chwilowego zwiększenia mocy.

W 2026 r. uruchomiono również rynek tzw. „**instantaneous reserve**” (niem. **Momentanreserve**), będący usługą systemową o charakterze inherentnej, natychmiastowej reakcji na niedobory lub niepożądane nadwyżki mocy czynnej. Usługa ta kierowana jest do aktywów takich jak magazyny energii wyposażone w inwertery grid forming, kompensatory synchroniczne oraz inne technologie zdolne do błyskawicznego kształtowania profilu mocy w sieci. Operatorzy publikują dwuroczne harmonogramy zakupowe oraz specyfikacje techniczne, co dodatkowo zwiększa transparentność i umożliwia inwestorom długoterminowe planowanie projektów magazynowych⁴.

Ogromna skala oczekiwanego zapotrzebowania na usługi związane z inercją syntetyczną w Niemczech tworzy sprzyjające środowisko dla rozwoju wielkoskalowych instalacji BESS. Wskazuje się, że magazyny energii mogą generować znacznie wyższe przychody z tzw. produktów-usług premium⁵, wymagających wysokiej dostępności (90%), co stanowi naturalny kierunek dla projektów wykorzystujących zaawansowane inwertery grid forming.

Znaczenie grid forming w przyszłej architekturze systemów elektroenergetycznych

W Niemczech i Wielkiej Brytanii funkcjonują już rynki usług stabilności z rosnącą rolą systemów magazynowania energii jako aktywnych uczestników. W innych państwach również obserwujemy wzrost zainteresowania wykorzystaniem BESS do tychże celów. Jest to poniekąd efektem aktualizacji regulacji na poziomie europejskim, takich jak kodeks sieciowy NC RFG 2.0. Uruchomienie nowych rynków, dynamiczne kontraktowanie usług stabilności oraz rosnące wymagania operatorów stanowią jasny sygnał: **technologia grid forming nie jest już innowacją eksperymentalną, czy ciekawostką, lecz koniecznością wynikającą z potrzeb zmieniającego się systemu elektroenergetycznego. Co więcej, użyteczność i funkcjonalność takich systemów udowodniły zrealizowane projekty w wielu krajach, również poza Europą.**

W miarę jak udział OZE będzie wzrastał, a systemy będą stawały się coraz bardziej rozproszone i dynamiczne, rola inwerterów grid forming będzie rosła. Magazyny energii wyposażone w zaawansowane algorytmy sterowania staną się kluczowym elementem utrzymania stabilności, elastyczności i odporności sieci energetycznych.

Doświadczenia rynków niemieckiego i brytyjskiego pokazują, że implementacja technologii grid forming przynosi wymierne korzyści ekonomiczne i techniczne, a jednocześnie tworzy zupełnie nowe modele biznesowe dla operatorów i inwestorów.



Foto: zasoby autora

Polska - regulacje, kierunki i plany PSE

W Polsce technologie grid forming dopiero zaczynają wchodzić do głównego nurtu transformacji energetycznej, jednak rosnący udział OZE oraz konieczność zwiększenia odporności systemu elektroenergetycznego tworzą dla nich naturalną przestrzeń rozwoju. W dokumentach strategicznych Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE), szczególnie w strategii do 2040 r., podkreśla się, że tradycyjne mechanizmy stabilizacji sieci - oparte na elektrowniach ciepłych - przestają być wystarczające wobec dynamicznego wzrostu mocy zainstalowanej w fotowoltaice i wietrze⁶. PSE zwraca uwagę, że zwiększona zmienność generacji, a także doświadczenia europejskie, m.in. blackout na Półwyspie Iberyjskim w 2025 r., pokazują potrzebę wpro-

wienia nowych narzędzi zapewnienia stabilności oraz dostosowania regulacji do przyszłych warunków systemowych. W tym kontekście technologie grid forming - umożliwiające zapewnienie inercji, wsparcia napięciowego i odporności sieci - stają się naturalnym kierunkiem modernizacji KSE.

W perspektywie najbliższych lat, rozwój technologii grid forming w Polsce będzie silnie uzależniony od dalszych decyzji regulacyjnych oraz integracji magazynów energii w modelach rynku mocy i usług systemowych. Zarówno Polityka Energetyczna Polski (PEP2040)⁷, jak i Strategia PSE jednoznacznie wskazują rosnącą rolę OZE i potrzebę uruchomienia nowych narzędzi stabilizowania systemu, stąd można oczekiwać, że technologie grid forming staną się jednym z kluczowych elementów transformacji energetycznej Polski. □

1 SMA Large Scale Energy Solutions <https://www.sma.de/en/large-scale/grid-forming-solutions>

2 National Energy System Operator: [Great Britain's First Grid Forming Battery Connects in Scotland | National Energy System Operator](#)

3 CIGRE: Integrating Grid-Forming and Grid-Following Battery Energy Storage Systems into Power Markets [Integrating-Grid-Forming-and-Grid-Following-Battery-Energy-Storage-Systems-into-Power-Markets.pdf](#)

4 NETZTRANSPARENT.DE [Market-based procurement of inertia of local grid stability](#)

5 Pexapark.com [Inertia Procurement Opens New Income Stream for Grid-Forming BESS in Germany – Pexapark](#)

6 Strażnik i Architekt; Strategia PSE do roku 2040 [Strategia_PSE_2040.pdf](#)

7 PEP2040 [Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. \(PEP2040\) - Portal Interoperacyjności i Architektury - Portal Gov.pl](#)