

Anna STANKOWSKA 

ORCID: 0000-0001-8319-8021

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie
Al. Niepodległości 162
02-554 Warszawa

Dzielnice pozytywnie energetyczne PED w świetle wyzwań stabilności sieci elektroenergetycznej – czy jest to warunek konieczny sukcesu technicznej i systemowej transformacji energetycznej w Polsce?

Abstrakt: W ostatniej dekadzie europejska polityka energetyczna przesunęła akcent z pojedynczych budynków w standardzie NZEB na skalę dzielnic i miasta. W jej centrum znalazła się koncepcja dzielnic pozytywnie energetycznych (*Positive Energy Districts* – PED), definiowanych jako obszary miejskie lub grupy budynków, które są wysoko efektywne energetycznie, elastyczne, w skali roku osiągają co najmniej zerowy bilans emisji gazów cieplarnianych i zarządzają lokalną nadwyżką energii z OZE, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej jakości życia i sprawiedliwości społecznej.

W niniejszym rozdziale poddano krytycznej analizie potencjał i rolę PED w Polsce, wykraczając poza bilans energetyczny w stronę wyzwań stabilności działania systemu elektroenergetycznego. W oparciu o najnowsze analizy operatorów systemów przesyłowych, europejskie dokumenty strategiczne oraz studia przypadków wdrożeń technologii Grid Forming (GFM) weryfikowana jest hipoteza o konieczności implementacji PED jako elementów stabilizujących Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE). Badania wskazują, że w obliczu spadku sztywności napięcia i inercji systemu PED, wyposażone w zaawansowane inwertery typu GFM oraz systemy elastyczności stają się warunkiem koniecznym dla bezpiecznej i pełnej dekarbonizacji.

To interdyscyplinarne podejście umożliwia powiązanie koncepcji urbanistycznej PED z wymogami bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej (*Security of Supply*). Wykazano, że w specyficznych uwarunkowaniach polskiej transformacji, charakteryzującej się spadkiem mocy zwarciorowej, PED wyposażone w zaawansowane inwertery GFM przestają być jedynie koncepcją urbanistyczną, a stają się technologicznym warunkiem koniecznym (*sine qua non*) dla stabilnej i pełnej dekarbonizacji Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. W związku z tym autorka postawiła następujące pytanie: Dzielnice pozytywnie energetyczne PED w świetle wyzwań stabilności sieci elektroenergetycznej – czy jest to warunek konieczny sukcesu technicznej i systemowej transformacji energetycznej w Polsce?

Słowa kluczowe: grid forming, dzielnice pozytywnie energetyczne, Positive Energy Districts, transformacja energetyczna, wspólnoty energetyczne, spółdzielnie energetyczne, Polska, OZE

Positive Energy Districts (PEDs) in the Context of Power System Stability Challenges – Are They a Necessary Condition for the Success of the Technical and Systemic Energy Transition in Poland?

Abstract: Over the last decade, European energy policy has shifted its focus from individual Nearly Zero-Energy Buildings (NZEB) to the scale of districts and cities. At the core of this shift lies the concept of Positive Energy Districts (PEDs), defined as urban areas or groups of buildings that are highly energy-efficient and flexible, achieve at least a net-zero annual greenhouse gas emissions balance, and manage local renewable energy surpluses, while simultaneously ensuring a high quality of life and social equity.

This chapter critically analyses the potential and role of PEDs in Poland, moving beyond the energy balance perspective towards the challenges of power system stability. Based on the latest analyses by transmission system operators, European strategic documents, and case studies of Grid Forming (GFM) technology deployments, the hypothesis that PED implementation is necessary as a stabilising element of the Polish Power System (KSE) is examined. The research indicates that in the face of declining system voltage stiffness and inertia, PEDs equipped with advanced grid-forming (GFM) inverters and flexibility systems are becoming a necessary condition for a safe and complete decarbonisation process.

This interdisciplinary approach enables the linkage of the urban planning concept of PEDs with the operational security requirements of the power system (Security of Supply). It is demonstrated that under the specific conditions of the Polish energy transition, characterised by decreasing short-circuit power, PEDs equipped with advanced GFM inverters cease to be merely an urban concept and instead become a technological sine qua non for the stable and full decarbonisation of the Polish Power System. Consequently, the author formulates the following research question: Positive Energy Districts (PEDs) in the context of power system stability challenges – are they a necessary condition for the success of the technical and systemic energy transition in Poland?

Keywords: grid forming, Positive Energy Districts (PEDs), energy transition, energy communities, energy cooperatives, Poland, renewable energy sources (RES)

Ewolucja paradygmatu: od budynku do systemu obszarowego dzielnic pozytywnie energetycznych (PED)

Transformacja energetyczna w Unii Europejskiej wkracza w fazę, w której proste sumowanie mocy z Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) przestaje być wystarczającym miernikiem sukcesu. Punkt ciężkości przesuwa się z pojedynczych budynków o niemal zerowym zużyciu energii na skalę dzielnicy i miasta, czego wyrazem jest koncepcja dzielnic pozytywnie energetycznych (PED). Zgodnie z ramową definicją wypracowaną w programie JPI Urban Europe i SET Plan Action 3.2 są one definiowane jako: „Dzielnice pozytywnie energetyczne to energooszczędne i elastyczne obszary miejskie lub grupy połączonych budynków, które osiągają zerowy bilans emisji gazów cieplarnianych i aktywnie zarządzają roczną lokalną lub regionalną nadwyżką produkcji energii odnawialnej. Wymagają

integracji różnych systemów i infrastruktury oraz interakcji między budynkami, użytkownikami a regionalnymi systemami energii, mobilności i ICT, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo dostaw i dobre życie dla wszystkich w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju społecznego, gospodarczego i środowiskowego.” (JPI Urban Europe, 2020; Smart Cities Marketplace, 2021). Omawiana definicja koncentruje się na trzech kluczowych aspektach funkcjonowania nowoczesnych systemów energetycznych. Pierwszym z nich jest efektywność energetyczna, dążąca do minimalizacji zapotrzebowania na energię poprzez wdrażanie rygorystycznych standardów budowlanych, termomodernizację obiektów, a także zarządzanie popytem i zmianę zachowań użytkowników. Drugim istotnym elementem jest elastyczność rozumiana jako zdolność do aktywnego dostosowywania poziomu poboru i produkcji energii do aktualnej sytuacji w systemie, co realizowane jest między innymi z wykorzystaniem magazynów energii, mechanizmów sterowania popytem oraz sprzężeń międzysektorowych łączących ciepłownictwo, elektroenergetykę i transport. Trzeci filar stanowi lokalna i regionalna produkcja energii, która zakłada wykorzystanie odnawialnych źródeł energii – takich jak fotowoltaika, kolektory słoneczne, pompy ciepła, geotermia, biomasa czy ciepło odpadowe – wytwarzanych bezpośrednio na miejscu lub w najbliższym otoczeniu miasta.

Fundamentalne ramy dla tego podejścia zostały usystematyzowane w literaturze przedmiotu, wskazującej na konieczność integracji kontekstu urbanistycznego z potencjałem energetycznym (Zhang i in., 2021). Inicjatywy takie jak *SET Plan Action 3.2* zakładają utworzenie 100 takich obszarów w Europie do 2025 roku, co potwierdzają wstępne analizy danych z projektów pilotażowych (Bossi i in., 2020).

Dla Polski, kraju mierzącego się z wyzwaniem transformacji węglowej przy jednoczesnym dynamicznym przyroście niesterowalnych źródeł OZE, koncepcja ta rodzi fundamentalne pytania o bezpieczeństwo pracy sieci. Dynamiczny wzrost udziału zasobów opartych na elektronice (Inverter Based Resources – IBR), takich jak fotowoltaika czy magazyny energii, prowadzi do wypierania generacji konwencjonalnej. Skutkuje to zanikiem naturalnych cech stabilizujących system, dostarczanych dotychczas przez maszyny synchroniczne (Szablicki i Rzepka, 2025). Wymaga to nowego spojrzenia na definicje PED, które muszą ewoluować w oparciu o praktyczne doświadczenia wdrożeniowe i informację zwrotną z realizowanych projektów (Gohari i in., 2023).

Fizyka systemu elektroenergetycznego i ramy teoretyczne: sztywność napięcia a elastyczność PED

Zrozumienie roli PED w nowoczesnej energetyce wymaga odwołania się do fundamentalnych parametrów pracy sieci, takich jak sztywność napięcia oraz elastyczność energetyczna. Parametr sztywności, definiowany jako zdolność systemu do utrzymywania napięcia w początkowej wartości i nieodkształconej formie w wyniku zakłócenia prądowego, jest kluczowy dla stabilności kątowej zasobów wytwórczych (Wasilewski, 2025). W systemach elektroenergetycznych o wysokim nasyceniu IBR obserwuje się zjawisko spadku mocy zwarciorowej, co prowadzi do powstania tzw. sieci słabych (ang. *weak grid*).

Równolegle literatura naukowa podkreśla, że PED nie mogą być jedynie statycznymi bilansami energii, lecz muszą pełnić rolę aktywnych węzłów elastyczności (Bruck i in., 2021). Zdolność do symulacji i przewidywania zachowań takich systemów staje się krytyczna, co wymaga zaawansowanych narzędzi modelowania (Brozovsky i in., 2021). W praktyce większość obecnie instalowanych źródeł OZE w Polsce pracuje w trybie *Grid Following* (GFL), wymagającym zewnętrznego napięcia referencyjnego. W warunkach sieci słabych inwertery GFL mogą tracić stabilność synchronizacji, co grozi awariami systemowymi (Szczeciński, 2025).

Rozwiązaniem wspieranym przez międzynarodowe agencje energetyczne jest implementacja w ramach PED technologii *Grid Forming* (GFM) oraz precyzyjne zdefiniowanie granic systemu i koncepcji (IEA EBC Annex 83, 2023). Inwertery GFM zachowują się jak źródła napięciowe z impedancją, samodzielnie generując falę napięcia i częstotliwości, co potwierdzają testy zgodności symulacyjnej (Skwarski, 2025). Pozwala to na utrzymanie stabilności nawet przy braku generacji konwencjonalnej, co jest zbieżne z postulatami dotyczącymi ram operacyjnych dla PED (Gollner, 2020).

Uwarunkowania polskie i społeczne: od węgla do sprawiedliwych klastrów energii

Zrozumienie obecnej infrastruktury energetycznej Polski jest niezbędne do oceny możliwości wprowadzenia PED. Polska stanowi bowiem wyjątkowy przypadek w Unii Europejskiej ze względu na silne uzależnienie od paliw kopalnych i rozległe scentralizowane sieci ciepłownicze.

Polski sektor energetyczny wyróżnia się na tle Unii Europejskiej wysokim stopniem centralizacji oraz historycznie ugruntowaną zależnością od paliw kopalnych, przy czym ponad cztery piąte energii pierwotnej tradycyjnie pochodziło ze źródeł węglowych (Forum Energii, 2020). Dominacja ta jest szczególnie widoczna w sektorze ciepłowniczym, w którym w 2020 roku udział węgla w strukturze produkcji ciepła wyniósł 68,9% (Urząd Regulacji Energetyki, 2021). Taka struktura miksu energetycznego stawia Polskę w wyjątkowej pozycji w UE pod względem uzależnienia od paliw kopalnych. Mimo że kraj dysponuje drugim co do wielkości rynkiem ciepła sieciowego w UE, infrastruktura ta wymaga gruntownej transformacji. Szacuje się, że około 83% systemów ciepłowniczych jest klasyfikowanych jako nieefektywne zgodnie z definicją zawartą w dyrektywie UE w sprawie efektywności energetycznej (Komisja Europejska, 2012; Forum Energii, 2021). Problem ten dotyczy w przeważającej mierze mniejszych systemów, które są zasilane węglem i nie posiadają statusu efektywnego systemu ciepłowniczego. Skalę wyzwań w aglomeracjach obrazują dane dla Warszawy z 2019 roku, gdzie roczne zużycie energii końcowej w ciepłownictwie sieciowym osiągnęło poziom 8668 GWh, przy jednoczesnym zużyciu gazu wynoszącym 5300 GWh oraz energii elektrycznej rzędu 7500 GWh, co przełożyło się na całkowitą emisję dwutlenku węgla wynoszącą $5,62 \times 10^9$ kg (Urząd m.st. Warszawy, 2020). Odmierna specyfika charakteryzuje obszary wiejskie i podmiejskie, gdzie występuje krytyczna luka w infrastrukturze sieciowej – zarówno ciepłowniczej, jak i gazowej

– co wymusza konieczność korzystania z indywidualnych źródeł ciepła, często opalanych węglem, olejem opałowym lub biomasą (Instytut Ekonomii Środowiska, 2019). Sytuację tę pogarsza stan sektora mieszkaniowego, zdominowanego przez budownictwo jednorodzinne o niewystarczającej izolacyjności termicznej, co wskazuje na konieczność intensyfikacji inwestycji w poprawę efektywności energetycznej (Krajowa Agencja Poszanowania Energii, 2020).

Obecnie polska energetyka znajduje się w punkcie zwrotnym, charakteryzującym się dualizmem technologicznym. Z jednej strony system pozostaje silnie uzależniony od węgla, z drugiej nastąpił gwałtowny rozwój energetyki prosumenckiej. Według danych za 2023 rok łączna moc OZE w Polsce przekroczyła 26,4 GW, z czego dominującą rolę odgrywa fotowoltaika (Zapała, 2024). Istotnym elementem tego krajobrazu są spółdzielnie energetyczne, które stanowią naturalny załączek PED. Należy jednak pamiętać, że transformacja ta ma wymiar nie tylko techniczny, lecz także społeczny. PED postrzegane są jako model walki z ubóstwem energetycznym, szczególnie w historycznych dzielnicach miast, co wymaga uwzględnienia aspektów sprawiedliwości społecznej w procesie planowania (Urrutia i in., 2022).

Aby polskie klastry energii stały się funkcjonalnymi PED, konieczna jest ewolucja w kierunku innowacji społecznych i zaangażowania mieszkańców (Hearn, 2021). Analizy Polskich Sieci Elektroenergetycznych wskazują, że utrzymanie odpowiedniej proporcji między modułami GFM a GFL jest warunkiem koniecznym zachowania stabilności kątowej w przyszłym KSE (Wasilewski, 2025). Wdrażanie tych rozwiązań w miastach europejskich pokazuje, że sukces zależy od połączenia technologii z odpowiednimi modelami zarządzanymi (Clerici Maestosi, 2024).

Dzielnice pozytywnie energetyczne jako element stabilizujący. Implementacja technologii Grid Forming (GFM) w systemach elektroenergetycznych – analiza studiów przypadku i perspektywy rozwoju

Transformacja globalnego sektora energetycznego, charakteryzująca się dynamicznym wzrostem udziału Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) oraz stopniowym wygaszaniem konwencjonalnych elektrowni opartych na generatorach synchronicznych, stawia przed operatorami systemów przesyłowych i dystrybucyjnych nowe wyzwania w zakresie stabilności sieci. Tradycyjne źródła energii dostarczały naturalną inercję oraz prąd zwarcioowy, kluczowe dla utrzymania bezpieczeństwa dostaw. W odpowiedzi na zanik tych fizycznych parametrów w nowoczesnych systemach opartych na elektronice, kluczowym rozwiązaniem staje się technologia Grid Forming (GFM).

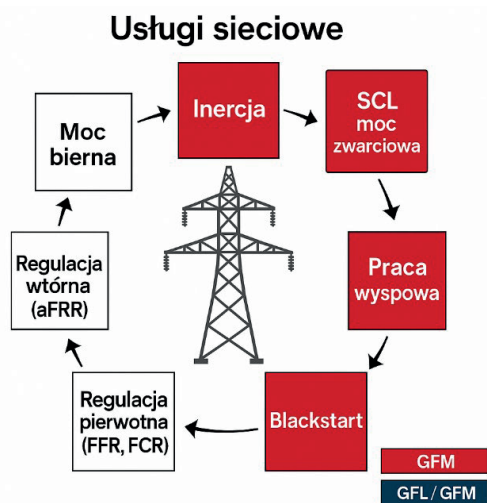
Dzielnice pozytywnie energetyczne, wyposażone w magazyny energii z funkcjonalnością GFM, mogą oferować szereg usług systemowych. Najnowsze analizy techno-ekonomiczne wskazują na konkretne ścieżki rozwoju (*pathways*) dla PED, które integrują efektywność ekonomiczną z wymogami technicznymi (Nguyen i in., 2025). Kluczową funkcjonalnością jest inercja syntetyczna oraz zdolność do tłumienia oscylacji mocy, co jest niezbędne w systemach o dużej penetracji OZE (Derkenbaeva i in., 2022).

Koncepcja i znaczenie Grid Forming

Głównym motorem napędowym zmian wymuszających wdrożenie technologii Grid Forming (GFM) jest przyspieszenie transformacji energetycznej, charakteryzujące się lawinowym przyrostem liczby i mocy Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE). Współczesne OZE, takie jak elektrownie wiatrowe i fotowoltaiczne, a także magazyny energii czy systemy HVDC, to w większości zasoby przyłączane do sieci za pośrednictwem przekształtników energoelektronicznych, określane mianem IBR (ang. *Inverter Based Resources*). Przewiduje się, że w perspektywie roku 2050 IBR staną się jednym z podstawowych elementów struktury systemu elektroenergetycznego. Już obecnie występują okresy, w których generacja z OZE mocowo przewyższa pracę konwencjonalnych elektrowni synchronicznych.

Kluczowym problemem wynikającym z zastępowania generacji konwencjonalnej przez IBR jest zmiana fizyki działania sieci. Tradycyjne elektrownie (Maszyny Wytwórcze Energii – MWE) dostarczały w sposób naturalny cechy stabilizujące system, takie jak duża inercja oraz wysoka moc zwarciova. Wraz z malejącym udziałem jednostek synchronicznych system traci te naturalne bufory bezpieczeństwa. W rezultacie system o niskiej inercji staje się podatny na gwałtowne zmiany częstotliwości, a nawet niewielkie zakłócenie może destabilizować pracę KSE, prowadząc w skrajnych przypadkach do blackoutu. Utrzymanie stabilnej pracy KSE przy użyciu dotychczasowych środków regulacyjnych staje się coraz trudniejsze i bardziej ryzykowne.

Fundamentalne rozróżnienie w architekturze nowoczesnych systemów przekształtnikowych opiera się na dychotomii pomiędzy technologią Grid Following (GFL) a Grid Forming (GFM) oraz możliwościami świadczenia usług sieciowych (Rysunek 1).



Rysunek 1. Usługi wsparcia systemu elektroenergetycznego – usługi sieciowe

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE: KOZIEL, R. (2025). *PROJEKTY GRID FORMING W PRAKTYCE*. [PREZENTACJA KONFERENCYJNA]. V KONGRES MAGAZYNOWANIA ENERGII PSME, WARSZAWA

		Gotowość technologii		
Gotowość systemu		Tylko PV	PV + BESS	BESS
	Sieć przesyłowa	Technologia nie jest dojrzała + Ograniczone możliwości	Technologia dostępna	Technologia komercyjnie dostępna
	Sieć dystrybucyjna HV/MV			
	Sieć dystrybucyjna MV/LV		Otwarte pytania: czy praca wyspowa jest pożądana?	

Rysunek 2. Scenariusze pracy dla GFM

ŹRÓDŁO: KOZIEL, R. (2025). PROJEKTY GRID FORMING W PRAKTYCE.
[PREZENTACJA KONFERENCYJNA]. V KONGRES MAGAZYNOWANIA ENERGII PSME, WARSZAWA

Podczas gdy standardowe jednostki GFL funkcjonują jako źródła prądowe, wymagające do pracy stabilnego napięcia sieciowego, do którego dostosowują swoje parametry, inwertery klasy Grid Forming działają jako autonomiczne źródła napięciowe. Ta zmiana paradygmatu sterowania umożliwia aktywne kształtowanie amplitudy napięcia i wektora częstotliwości, co pozwala na uniezależnienie pracy jednostki wytwórczej od zewnętrznych sygnałów sieciowych.

Wdrożenie technologii GFM jest kluczowe dla świadczenia zaawansowanych usług systemowych, niezbędnych do utrzymania stabilności elektroenergetycznej w warunkach wysokiej penetracji OZE. Do usług tych należą przede wszystkim: dostarczanie inercji syntetycznej, zapewnianie odpowiedniego poziomu mocy zwarciorowej (SCL) oraz realizacja pierwotnej i wtórnej regulacji częstotliwości. Ponadto, systemy te charakteryzują się zdolnością do pracy w trybie wyspowym oraz przeprowadzania procedury blackstartu, co stanowi krytyczny element strategii odbudowy systemu po awarii. Technicznym fundamentem skuteczności rozwiązań GFM jest odpowiedni dobór scenariuszy pracy, w którym najefektywniejszym jest ich ścisła integracja z wielkoskalowymi baterijnymi magazynami energii (BESS) – Rysunek 2.

Taka konfiguracja sprzętowa zapewnia stabilną rezerwę mocy czynnej, która – dzięki możliwości krótkotrwałego przeciążania inwerterów – pozwala na wierną emulację charakterystyk dynamicznych mas wirujących tradycyjnych generatorów synchronicznych.

Ewolucja zastosowań: od systemów wyspowych do stabilizacji sieci kontynentalnych

Analiza chronologiczna wdrożeń ukazuje dojrzewanie technologii GFM i zmianę skali jej zastosowań. Pionierskim przykładem jest projekt zrealizowany w 2017 roku na wyspie St. Eustatius (Antyle Holenderskie, Rysunek 3).



Rysunek 3. Projekt Grid forming na wyspie St. Eustatius

ŹRÓDŁO: [HTTPS://WWW.ENERGY-STORAGE.NEWS/RWES-FIRST-DUTCH-BESS-ONLINE-COMMISSIONING-ONGOING-FOR-GRID-FORMING-SECOND/](https://www.energy-storage.news/rwes-first-dutch-bess-online-commissioning-ongoing-for-grid-forming-second/)
[DOSTĘP 21.11.2025]

Celem inwestycji była redukcja zużycia oleju napędowego oraz minimalizacja pracy generatorów diesla na rzecz fotowoltaiki. System hybrydowy o mocy 4,4 MW w technologii Grid Forming, wsparty magazynem energii o pojemności 5,35 MWh oraz instalacją PV o mocy 2,15 MW, pozwolił na osiągnięcie 45% udziału OZE w miksie energetycznym. Falowniki GFM pełniły tam funkcję głównego źródła zasilania, do którego synchronizowały się pozostałe jednostki wytwórcze, co udowodniło zdolność tej technologii do stabilizacji mikrosieci o wysokiej penetracji źródeł niesterowalnych.

Kolejnym etapem rozwoju była implementacja technologii w systemach połączonych z siecią publiczną, czego przykładem jest projekt w Bordesholm w Niemczech, uruchomiony w maju 2019 roku. Instalacja o pojemności 15 MWh, oparta na siedmiu jednostkach SMA Sunny Central Storage, umożliwiła miastu – jako pierwszemu w historii Niemiec – odłączenie się od sieci krajowej i pracę w trybie wyspowym, zasilanym wyłącznie energią odnawialną (Rysunek 4).

Oprócz funkcji awaryjnych (blackstart) system ten na co dzień świadczy usługi regulacji częstotliwości (FFR, aFRR) oraz arbitrażu cenowego, demonstrując wielofunkcyjność nowoczesnych magazynów energii.

Przełomem w zastosowaniu GFM na poziomie sieci przesyłowych wysokiego napięcia jest projekt Pathfinder 2 w Blackhillock (Szkocja – Rysunek 5), realizowany w latach 2023–2025.

Jest to odpowiedź na konkretne braki w stabilności systemu brytyjskiego, wynikające z przyłączenia dużej generacji wiatrowej. Instalacja o mocy 200 MW i pojemności 400 MWh ma za zadanie dostarczenie kluczowych parametrów stabilizacyjnych: inercji na poziomie 370 MWs oraz mocy zwarciowej rzędu 116 MVA. Znaczenie tego projektu podkreśla fakt, że pełna realizacja programu Pathfinder 2 zapewni od 5% do 10% całkowitego zapotrzebowania Wielkiej Brytanii na inercję, co stanowi dowód na komercyjną dojrzałość technologii GFM w zastępowaniu konwencjonalnych elektrowni systemowych.

Najnowszym osiągnięciem w tej dziedzinie jest uruchomiony w październiku 2025 roku projekt w Foehren (Niemcy – Rysunek 6), będący pierwszym wielkoskalowym systemem GFM w Europie kontynentalnej. Magazyn o pojemności 55 MWh i mocy 21 MVA, będący częścią demonstracyjnego projektu SUREVIVE, nie tylko realizuje pierwotną regulację częstotliwości, ale jest również technicznie przygotowany do świadczenia usług na rynku inercji, który ma zostać otwarty w Niemczech w 2026 roku. Projekt ten został wyróżniony nagrodą „Top Innovation 2025” przez PV Magazine, co potwierdza jego innowacyjny charakter.



Rysunek 6. Projekt Grid forming – projekt w Foehren

ŹRÓDŁO: [HTTPS://WWW.ENERGY-STORAGE.NEWS/STATE-GOVERNMENT-PROJECT-PARTNERS-INAUGURATE-GERMANYS-FIRST-UTILITY-SCALE-GRID-FORMING-BESS/](https://www.energy-storage.news/state-government-project-partners-inaugurate-germanys-first-utility-scale-grid-forming-bess/) [DOSTĘP: 22.11.2025]

Praktyczne wdrożenia, takie jak projekt w Bordesholm czy instalacje w ramach programu Pathfinder 2 w Szkocji, dowodzą, że PED mogą pracować w trybie wyspowym i przeprowadzać *black start*, zwiększając odporność infrastruktury (Kozieł, 2025). Co więcej, ramy definicyjne wypracowane w projektach takich jak +CityxChange (2020) podkreślają, że PED muszą generować wartość dodaną dla lokalnej sieci, a nie tylko bilansować energię. Wymaga to jednak systematycznej ewaluacji i monitorowania wskaźników efektywności (Dudwa i in., 2021).

Podsumowanie: dzielnice pozytywnie energetyczne (PED) jako imperatyw transformacji systemowej

Implementacja dzielnic pozytywnie energetycznych (PED) wyposażonych w technologię Grid Forming (GFM) napotyka w Polsce na istotne bariery o charakterze systemowym. Kluczowym wyzwaniem pozostaje brak spójnych ram legislacyjnych, które precyzyjnie definiowałyby rolę PED w krajowym porządku prawnym, co jest problemem powszechnie identyfikowanym w projektach europejskich (POCITYF Project, 2023). Proces ten komplikuje dodatkowo brak jednolitych standardów w zakresie testowania i certyfikacji funkcjonalności GFM, co utrudnia procedury przyłączeniowe oraz weryfikację zdolności technicznych obiektów (Szablicki i Rzepka, 2025). Niejednorodność definicji PED w skali globalnej stwarza ryzyko niejasności interpretacyjnych podczas transpozycji regulacji unijnych na grunt krajowy (Lindholm i in., 2021). Istotnym zagadnieniem pozostaje również metodyka inicjowania projektów PED w istniejącej tkance miejskiej (*brownfield*), co wymaga adaptacji doświadczeń z miast takich jak Maia czy Reykjavik do specyfiki lokalnej (Alpagut i in., 2022). Chociaż nowe regulacje, takie jak kodeks sieci NC RfG 2.0, wprowadzają wymogi dotyczące GFM, ich pełna implementacja jest procesem długofalowym i uzależnionym od krajowych uwarunkowań (Rzepka, 2025).

Analiza studiów przypadków dowodzi, że technologia Grid Forming ewoluowała z fazy eksperymentalnej, stając się dojrzałym i krytycznym elementem infrastruktury energetycznej. Doświadczenia zagraniczne wskazują, że usługi stabilności oparte na inwerterach GFM zintegrowanych z magazynami energii osiągnęły gotowość techniczną do wdrożenia wielkoskalowego (Kozieł, 2025). W kontekście polskiej transformacji energetycznej kluczowe staje się rozstrzygnięcie dylematu dotyczącego modelu pozyskiwania tych usług – czy powinny one wynikać z obligatoryjnych wymagań kodeksowych czy też z mechanizmów rynkowych, wzorowanych na rozwiązaniach brytyjskich. Niezbędne jest precyzyjne określenie zapotrzebowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego na inercję i moc zwarciovą, a następnie strategiczne rozmieszczenie źródeł GFM, traktowanych jako infrastruktura krytyczna dla bezpieczeństwa państwa.

Odpowiadając na pytanie, czy dzielnice pozytywnie energetyczne w świetle wyzwań stabilności sieci są warunkiem koniecznym sukcesu transformacji w Polsce, należy stwierdzić, że w obliczu fizycznych ograniczeń sieci elektroenergetycznej, związanych z postępującym spadkiem inercji i sztywności napięcia, dalsza integracja OZE w modelu pasywnym (Grid Following) obarczona jest wzrastającym ryzykiem systemowym. Przeprowadzona

analiza literatury i danych technicznych prowadzi do konkluzji, że PED wyposażone w funkcjonalności GFM nie stanowią jedynie opcjonalnego elementu polityki miejskiej, lecz są technologiczną koniecznością dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy systemu (Hestnes i Eikemo, 2024). Mogą one skutecznie wypełnić lukę w usługach systemowych, pod warunkiem stworzenia adekwatnego rynku usług stabilności oraz spójnego otoczenia regulacyjnego. Tym samym rozwój PED w standardzie GFM należy uznać za warunek konieczny dla powodzenia technicznej i systemowej transformacji energetycznej Polski.

BIBLIOGRAFIA

Dokumenty strategiczne:

- [1] IEA EBC Annex 83. (2023). *Positive Energy Districts. Definitions and Concepts*. (Raport Międzynarodowej Agencji Energetycznej).
- [2] JPI Urban Europe. (2020). *White Paper on PED Reference Framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods*.
- [3] Smart Cities Marketplace. (2021). *Positive Energy Districts Factsheet*. European Commission.
- [4] +CityxChange. (2020). *Framework for Positive Energy Districts*. Deliverable D2.1. Link do dokumentu
- [5] Forum Energii. (2020). Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2020. Forum Energii.
- [6] Forum Energii. (2021). Czyste ciepło. Propozycja strategii dla ciepłownictwa. Forum Energii.
- [7] Instytut Ekonomii Środowiska. (2019). Polska strategia dla ciepłownictwa, ogrzewnictwa i chłodzenia. Instytut Ekonomii Środowiska.
- [8] Komisja Europejska. (2012). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej.
- [9] Kozieł, R. (2025). Projekty Grid Forming w praktyce [Prezentacja]. SMA Solar Technology.
- [10] Krajowa Agencja Poszanowania Energii. (2020). Analiza rynku renowacji budynków w Polsce. KAPE.
- [11] Urząd m.st. Warszawy. (2020). Zielona Wizja Warszawy: Plan działania na rzecz zrównoważonego zużycia energii i klimatu. Urząd m.st. Warszawy.
- [12] Urząd Regulacji Energetyki. (2021). Energetyka ciepła w liczbach – 2020. Urząd Regulacji Energetyki.

Artykuły naukowe i monografie:

- [13] Brozovsky, J., et al. (2021). *Positive Energy Districts: A Review of Simulation Approaches and Tools*. Energies, 14 (11).
- [14] Bruck, A., et al. (2021). *The Role of Energy Flexibility in Positive Energy Districts*. Energies, 14.
- [15] Clerici Maestosi, P. (2024). *Implementation of Positive Energy Districts in European Cities*. Energies, 17(3).
- [16] Derkenbaeva, E., et al. (2022). *Positive Energy Districts: Identifying Challenges and Interdependencies*. Sustainability, 14(17).
- [17] Gohari, S., et al. (2023). *The Sense and Non-Sense of PEDs—Feeding Back Practical Experiences into the Framework Definition*. Energies.
- [18] Hestnes, A.G., & Eikemo, T.A. (2024). *Energy Positive Neighborhoods and Smart Energy Districts*. Elsevier Books.
- [19] Lindholm, O., et al. (2021). *A Review of the Definition of Positive Energy Districts*. Buildings.

- [20] Nguyen, T., et al. (2025). *Pathways to Positive Energy Districts: A Comprehensive Techno-Economic Analysis*. Energies, 18(5).
- [21] Zhang, X., et al. (2021). *A review of Positive Energy Districts: Definition, context, and potential*. Sustainable Cities and Society, 66.
- [22] Alpagut, B., et al. (2022). *Getting Started with Positive Energy Districts: Experience from Maia, Reykjavik, etc.* Sustainability, 14.
- [23] Bossi, S., et al. (2020). *Towards 100 Positive Energy Districts in Europe: Preliminary Data Analysis*. Energies.
- [24] Dudwa, A., et al. (2021). *Evaluating Positive Energy Districts: A Literature Review*. IEA EBC Annex 83.
- [25] Gollner, C. (2020). *Operationalizing the PED Reference Framework*. JPI Urban Europe.
- [26] Hearn, A.X. (2021). *Approaches to Social Innovation in Positive Energy Districts*. Sustainability, 13(13).
- [27] POCITYF Project. (2023). *Regulatory Frameworks for Positive Energy Districts*.
- [28] Urrutia, D., et al. (2022). *Positive Energy District: A Model for Historic Districts to Address Energy Poverty*. Frontiers in Sustainable Cities.

Materiały konferencyjne i analizy krajowe:

- [29] Kozieł, R. (2025). *Projekty Grid Forming w praktyce*. [Prezentacja konferencyjna]. V Kongres Magazynowania Energii PSME, Warszawa.
- [30] Rzepka, P. (2025). *Grid forming z perspektywy operatora*. [Prezentacja konferencyjna]. V Kongres Magazynowania Energii PSME, Warszawa.
- [31] Skwarski, M. (2025). *Grid Forming Simulation Compliance Tests*. [Prezentacja konferencyjna]. V Kongres Magazynowania Energii PSME, Warszawa.
- [32] Szablicki, M., & Rzepka, P. (2025). *Grid forming – stan rozwoju na świecie*. [Prezentacja konferencyjna]. V Kongres Magazynowania Energii PSME, Warszawa.
- [33] Szczeciński, P. (2025). *Grid forming w praktyce: usługi wspierające stabilność KSE*. [Prezentacja konferencyjna]. V Kongres Magazynowania Energii PSME, Warszawa.
- [34] Wasilewski, J. (2025). *Szywność napięcia w KSE – wyzwania i środki zaradcze*. [Prezentacja konferencyjna]. V Kongres Magazynowania Energii PSME, Warszawa.
- [35] Zapała, K. (2024). *Dzielnice pozytywnie energetyczne – czy jest to warunek konieczny sukcesu transformacji energetycznej w Polsce?*. [Maszynopis niepublikowany/Dokument wewnętrzny].