

# Grid Forming (GFM) jako element poprawy bezpieczeństwa operacyjnego systemu elektroenergetycznego nasyczonego OZE

Robert Trębski | PSE | Departament Zarządzania Systemem

Piotr Rzepka | PSE Innowacje | CK BiR

Mateusz Szablicki | PSE Innowacje | CK BiR

Kazimierz Dolny, 17–19 marca 2026 r.

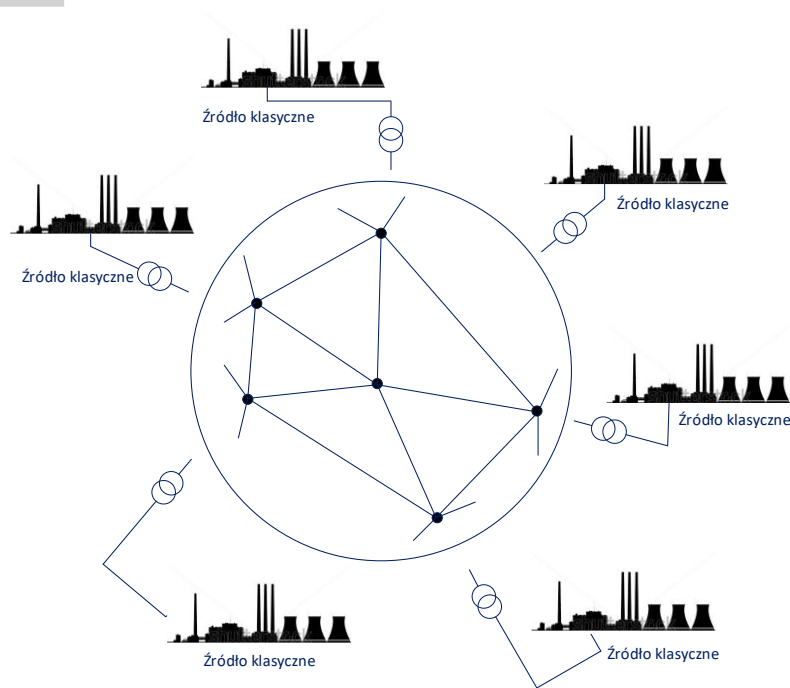
[www.pse-innowacje.pl](http://www.pse-innowacje.pl)



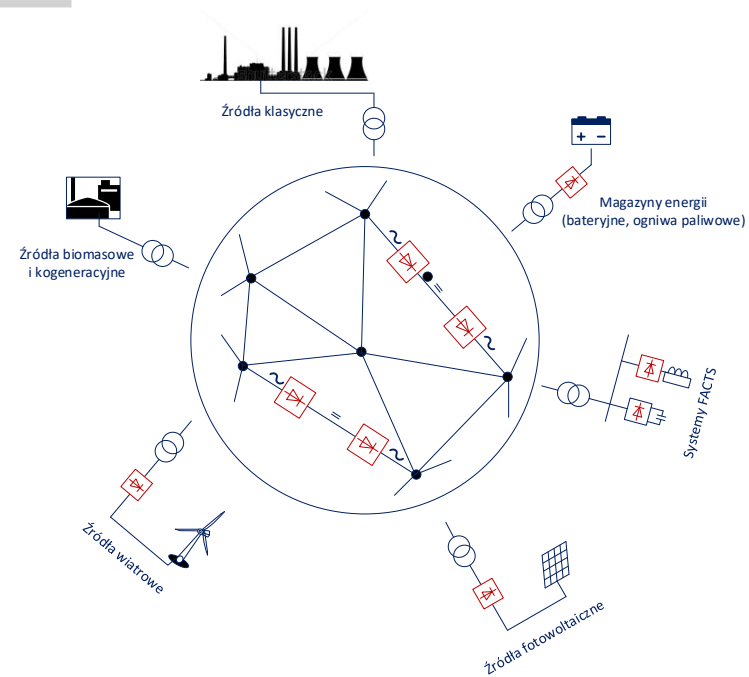
# 01 | Nowe zagrożenia dla funkcjonowania przyszłych struktur SEE Zmiany w KSE (1)

## Efekty transformacji SEE

było



ma być



**PYTANIE |**  
Czy SSE może pracować przy dominującym udziale OZE?

**| Paradigmaty funkcjonowania klasycznego SEE nie obowiązują!**

- Jednolitość jednostek wytwórczych
- Duży udział maszyn synchronicznych
- Moc wprowadzana do sieci OSP

- Duża różnorodność jednostek wytwórczych,
- Malejący udział maszyn synchronicznych,
- Wzrost IBR – również u odbiorców
- Moc wprowadzana do sieci OSP oraz do sieci OSD



# 01 | Nowe zagrożenia dla funkcjonowania przyszłych struktur SEE Zmiany w KSE (2)

Z perspektywy parametrów SEE

## Skutek transformacji

- niska „sztywność sieci” – duża podatność na odkształcenia przebiegu napięcia
- obniżenie **inercji**
- obniżenie **mocy zwarciowej**
- obniżenie **stabilności napięciowej**
- zwiększenie „odległości” elektrycznej między poszczególnymi jednostkami wytwórczymi

Nowe zjawiska

## Zagrożenia

- wzrost **dynamiki** stanów przejściowych
- wzrost **zmienności warunków** towarzyszących zakłóceniom
- większe prawdopodobieństwo wystąpienia **rezonansów**
- **niekorzystne interakcje** między jednostkami IBR lub między IBR a klasycznymi jednostkami wytwórczymi
- **problemy z jakością energii** elektrycznej (np. asymetrią)
- **niewłaściwe zadziałania EAZ**

Motywacja dla GFM



### Ryzyko

Intensyfikacja obecnych lub pojawienie się nowych zagrożeń w SEE obniżających jego stabilność



### Wyzwanie

Utrzymanie stabilnej pracy KSE przy malejącym ilościowo i jakościowo zestawie dotychczas stosowanych środków regulacyjnych.



### Możliwe rozwiązanie

Wdrożenie GFM jako zdolności technicznej oczekiwanej od IBR.



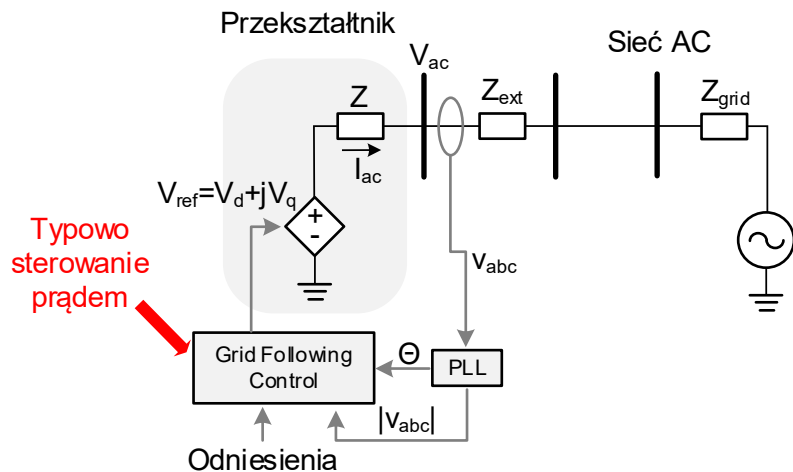
## 02 | Motywacja wdrożenia GFM Czym jest GFM ?

# Przejsięcie z Grid-following na Grid-forming

Rozwój technologii przekształtników

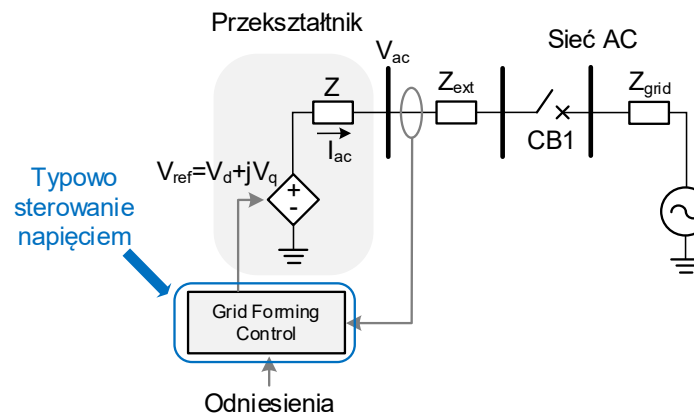
### Grid-following

- PLL, ang. Phase-Locked Loop - *automatycznie reguluje częstotliwość sygnału wyjściowego, aby była zgodna z częstotliwością sygnału wejściowego*
- Current controller



### Grid-forming

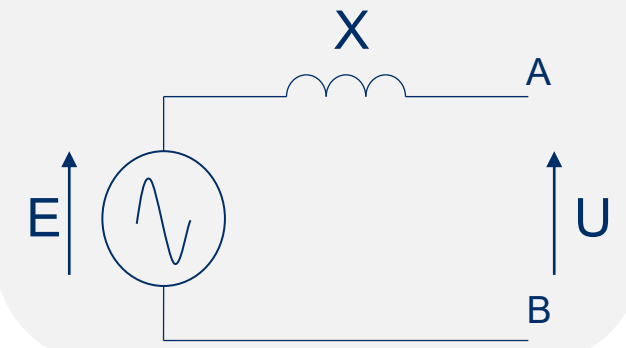
- Brak PLL – wewnętrzne wyznaczenie punktu odniesienia
- Voltage and frequency controller



### Idea Grid Forming

#### Zastępcze źródło napięcia

- Idealne źródło napięcia  $E$  ( $E = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ .)
- impedancja  $Z$  (głównie  $X$  dla dużych mocy)



Nawet jeżeli mówimy o tych samych funkcjach dostarczanych przez IBR z różnymi układami sterowania to **podstawowa różnica występuje w dynamice odpowiedzi.**



## 02 | Motywacja wdrożenia GFM Potencjalne korzyści z GFM

### **Poprawa stabilności i niezawodności SEE |**

Dzięki GFM IBR mogą dostarczać niezbędne właściwości systemowe, co ma pozwalać na uzyskanie oczekiwanej stabilizacji warunków pracy KSE w stanach przejściowych.

### **Zwiększenie bezpieczeństwa w stanach krytycznych |**

Wprowadzenie GFM powinno zwiększyć odporność IBR na zakłócenia, a także ułatwić odbudowę KSE po dużych awariach systemowych, m.in. poprzez funkcję *black startu*.

### **Optymalizacja kosztów operacyjnych i zwiększenia efektywności |**

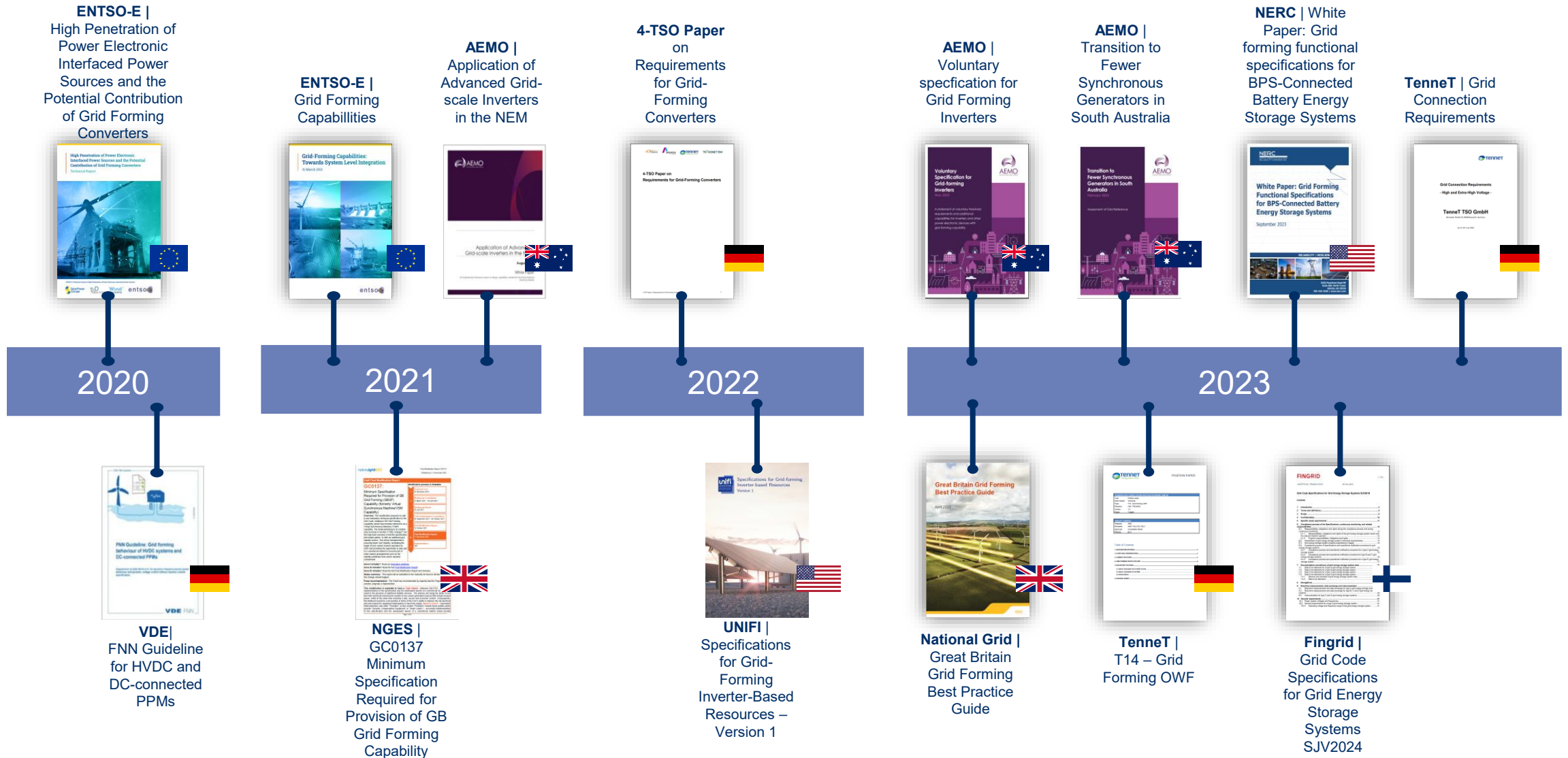
GFM powinno optymalizować zarządzanie zasobami w celu zapewnienia odpowiedniej stabilności KSE. GFM może również przyczyniać się do poprawy parametrów jakości energii elektrycznej.

### **Bezpieczne zwiększenie udziału OZE |**

Poprawa integracji OZE z KSE może umożliwić zwiększenie ich wolumenu przy zachowaniu oczekiwanego poziomu stabilności bez skokowego zwiększenia nakładów na jej utrzymanie.



# 03 | Podejście Operatorów do GFM Discovery (1)





# 03 | Podejście Operatorów do GFM Discovery (2)

**AEMO |** Voluntary specificatio for Grid-Forming Inverters – Core requirements...



**FINGRID |** Grid-Forming Battery Energy Storage Capabilites, Performance....



**MISO |** Grid-Forming Battery Energy Storage Capabilites, Performance....



**ERCOT |** Advanced Grid Support Energy Storage Resource (AGS-ESR) Functional Specification....



**ENTSO-E |** Grid Forming Capability of Power Park Modules....



**ENERGINET |** Raport: Towards a Stable and Sustainable Future with Grid-Forming Technologies.



**VDE |** Technical Requirements for Grid-Forming Capabilities Including Provision of Inertia....



2024



**VDE |** Technical Requirements for Grid-Forming Capabilities



**ACER |** Draft NC RFG 2.0



**UNIFI |** Specifications for Grid-Forming Inverter Base Resources....



**CEN |** Requisitos Técnicos Mínimos para Recursos Basados en Inversores Grid-Forming....



2025



**ENERGINET |** "DRAFT: Technical Requirements for Energy Storage Facilities with Grid-Forming Capability"....



**ENTSO-E |** Grid Forming Capability of Power Park Modules – phase 2....



## 03 | Podejście Operatorów do GFM *Discovery* (3)

### **Definicja** | różnorodność

Różne nazewnictwo identycznych funkcjonalności *versus* różne funkcjonalności pod zbliżoną nazwą.

**RYZYKA** | Utrudnione porównanie oferowanych GFM i weryfikacja spełnienia wymagań.

### **Funkcje** | różny podział

Różne zestawy wymaganych, opcjonalnych i dodatkowych funkcjonalności.

**RYZYKA** | Konieczność szczegółowego dopasowania funkcjonalności GFM do każdego z rynków, zamiast jedynie dopasowywania nastawień tych funkcji do poszczególnych rynków.

### **Algorytmy** | nieidentyczność

Różne postaci algorytmów (trybów) sterowania funkcjonalnościami.

**RYZYKA** | Niejednakowa odpowiedź na identyczną sytuację *wymuszającą* w SEE. Utrudnione definiowanie nastawień funkcjonalności.

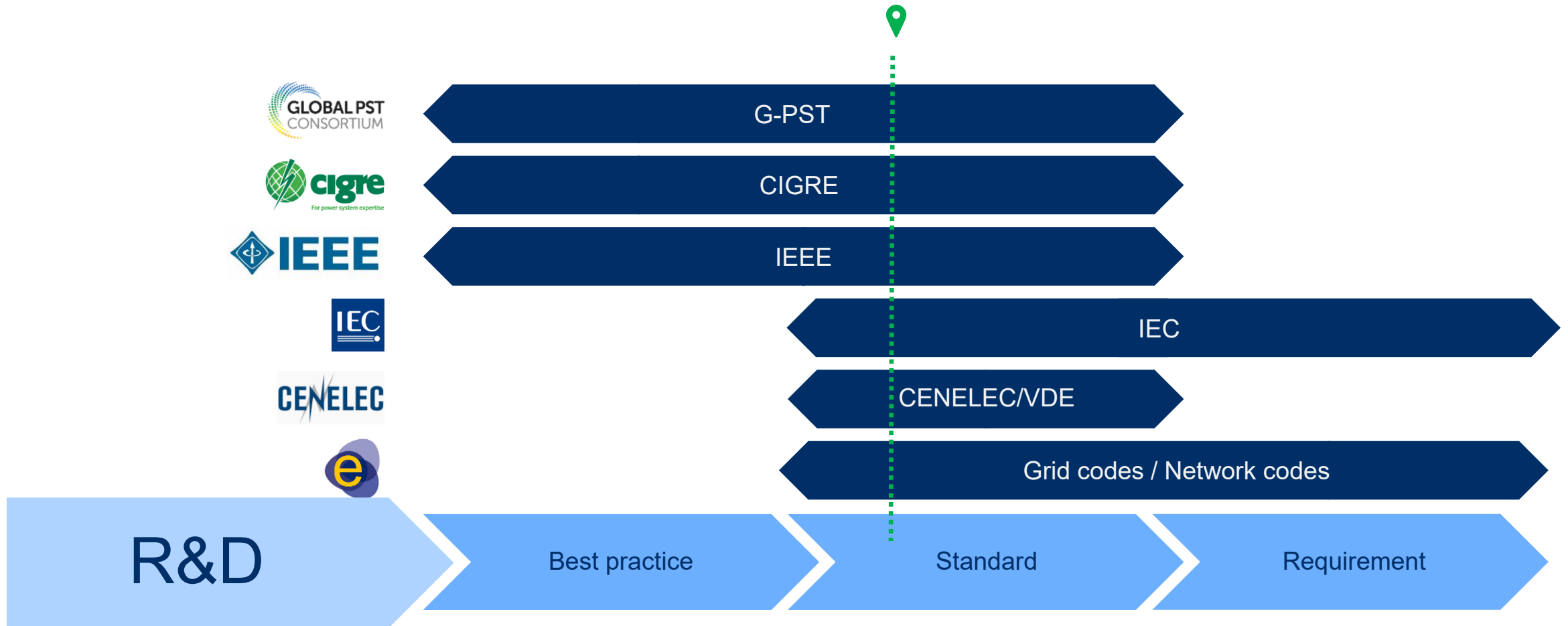
### **Weryfikacja realizacji** | brak standardów

Brak wypracowanych metod testowania funkcjonalności.

**RYZYKA** | Utrudniona ocena poprawności realizacji GFM. *Kłopotliwe* uznawanie wyników testów własnych producentów i testów zewnętrznych.



## 05 | Działalność ośrodków w obszarze GFM Status GFM





## 04 | Podejście producentów do GFM *Discovery*

źródło: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/grid-forming.html#contact>



**SIEMENS energy** Global

**Grid-forming**  
for HVDC, STATCOM and E-STATCOM

**GE VERNOVA**

**GRID FIRING TECHNOLOGIES:  
ADVANCING SUSTAINABILITY STRATEGIES  
BY PROVIDING A PATHWAY TO INCREASED  
RENEWABLE GENERATION**

David Day  
Product Champion, Aeroderivative Gas Turbines  
GE Vernova

źródło: [https://www.gevernova.com/content/dam/gepower-new/global/en\\_US/downloads/gas-new-site/industries/GEA35830-Grid-Firming-white-paper.pdf](https://www.gevernova.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/downloads/gas-new-site/industries/GEA35830-Grid-Firming-white-paper.pdf)

**HITACHI**

**HIES Insights**

HOME > Sustainability > A Resilient Grid for a Renewable Future: How Grid Forming (GF...

Sustainability

**A Resilient Grid for a Renewable Future:  
How Grid Forming (GFM) Inverter Supports the Next  
Generation of Power Supply**

źródło: [https://insights.hitachi-ies.com/\\_ct/17766032](https://insights.hitachi-ies.com/_ct/17766032)

**SMA** Home Business Large Scale Service & Support Products PV Professionals

Benefits System in detail Other Solutions Next Steps

Safe and stable grids

### Emerging technologies need pioneers who set the standards

Grid Forming is a fundamental technology to integrate renewables into pre-existing grids. SMA Grid Forming Solutions shape the energy transition and ensure grid security all over the world.

### Ecologically smart, economically sound

Energy storage plants with SMA Grid Forming Solution are a multi-purpose asset for future generations and form the backbone of a successful energy transition.

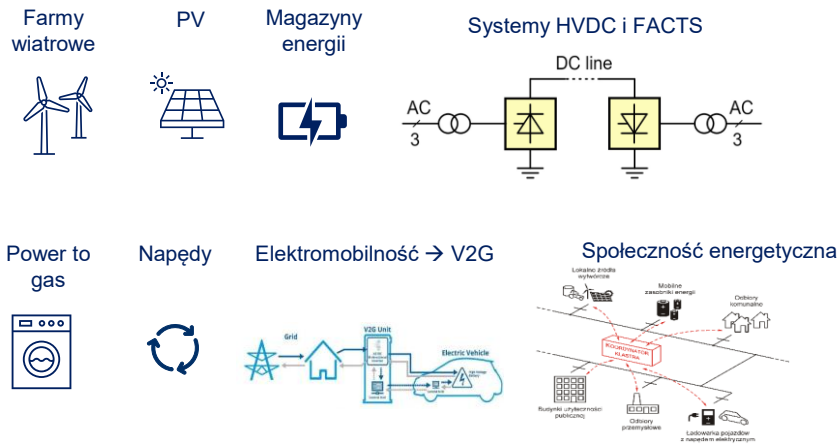
They are taking a leading role in grid stabilization as conventional power plants are increasingly phased out. Owners of such assets benefit from viable business cases and enable energy supply with reduced carbon emissions and low cost.

źródło: <https://www.sma.de/en/large-scale/grid-forming-solutions>

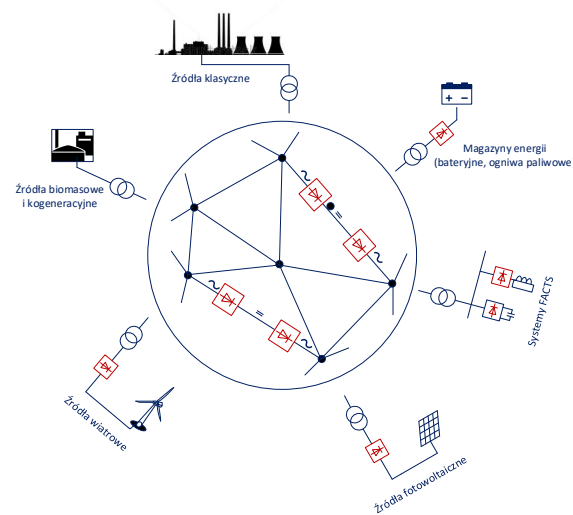


# GFM niezbędną funkcjonalnością IBR SEE przyszłości, którą tworzymy dzisiaj!!!

## Dynamiczny rozwój obiektów z IBR



## Struktura SEE 2040



## STRATEGIA PSE do 2040



### Wyzwania dla PSE dt. GFM

- Monitorowanie tematyki GFM dla wszystkich typów IBR
- Określenie zdolności technicznych klasyfikowanych jako GFM
- **Opracowanie wymagań technicznych GFM dla IBR oraz wdrożenie ich do obowiązujących regulacji krajowych**
- W początkowym okresie pracę będą się skupiać na określeniu wymagań dla magazynów energii elektrycznej (BEES)

### Dlaczego GFM dla BESS

Why GFM in BESS, Specifically?



Attribute	BESS	Solar PV	Wind	STATCOM
Energy Buffer	Readily available	Curtailment or hardware upgrade	Maybe be available, to limited extent; hardware or curtailment may be needed	Limited available inherently; short-term can be added by supercapacitor
Mechanical Stress	None	None	Yes	None
Hardware vs. Software	Software	Software (and maybe hardware) with curtailment; hardware without	Software (and maybe hardware) with curtailment; hardware without	Software
Technology Readiness	Yes	In development	In development	Yes
Cost	Relatively low – “Free”	More costly	Expensive	Based on storage size (need)






Source: Tesla Source: Hitachi Energy Reserved.

**BESS - Obiekt o największych predyspozycjach do pełnej „bezkosztowej” implementacji funkcjonalności GFM**

<https://www.pv-magazine.com/2025/02/14/large-batteries-with-grid-forming-inverters-can-increase-renewables-hosting-capacity/>



# Dziękuję za uwagę

---

PRELEGENCI

Robert Trębski | [robert.trebski@pse.pl](mailto:robert.trebski@pse.pl)

Piotr Rzepka | [piotr.rzepka@pse.pl](mailto:piotr.rzepka@pse.pl)

Mateusz Szablicki | [mateusz.szablicki@pse.pl](mailto:mateusz.szablicki@pse.pl)