



**System
Elektroenergetyczny:
Bezpieczeństwo
Operacyjne i Rynkowe**

CABLE POOLING JAKO NARZĘDZIE EFEKTYWNEGO PRZYŁĄCZANIA ŹRÓDEŁ ENERGII

**dr inż. A. Schött-Szymczak, dr inż. A. Weychan,
dr inż. J. Andruszkiewicz**

Instytut Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej

Kazimierz Dolny, 17–19 marca 2026 r.

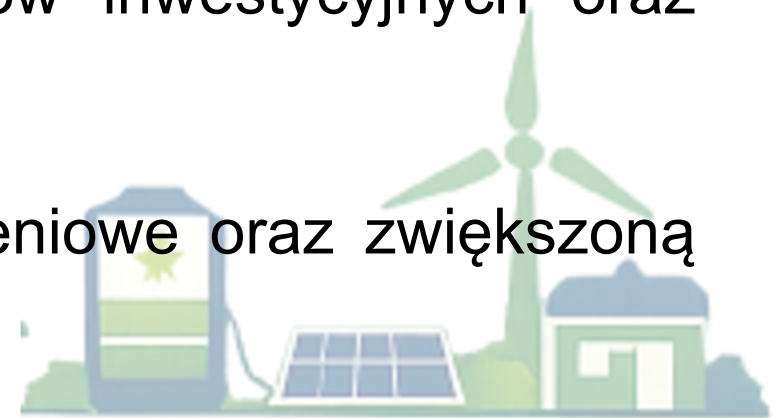


Wprowadzenie



Powody zastosowania współdzielonego przyłącza:

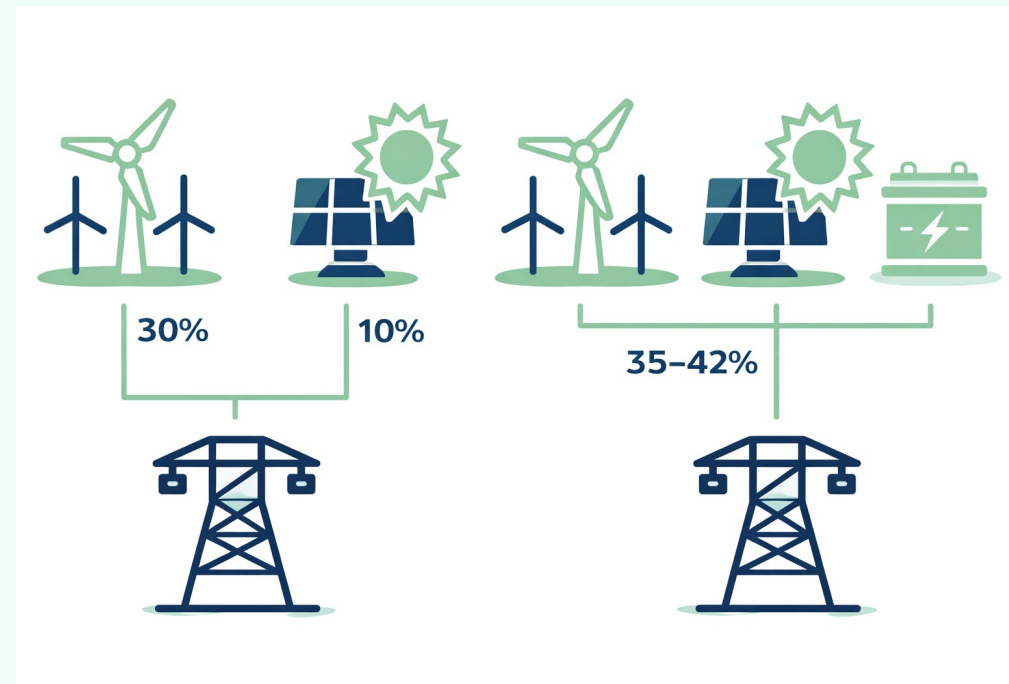
- zwiększenie efektywności wykorzystania istniejącej infrastruktury sieciowej poprzez integrację różnych źródeł OZE,
- ograniczenie potrzeby rozbudowy infrastruktury przesyłowej i dystrybucyjnej, co przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie kosztów inwestycyjnych oraz czasu realizacji projektów,
- jako odpowiedź na ograniczone możliwości przyłączeniowe oraz zwiększoną liczbę odmów wydania warunków przyłączenia.



Cable pooling

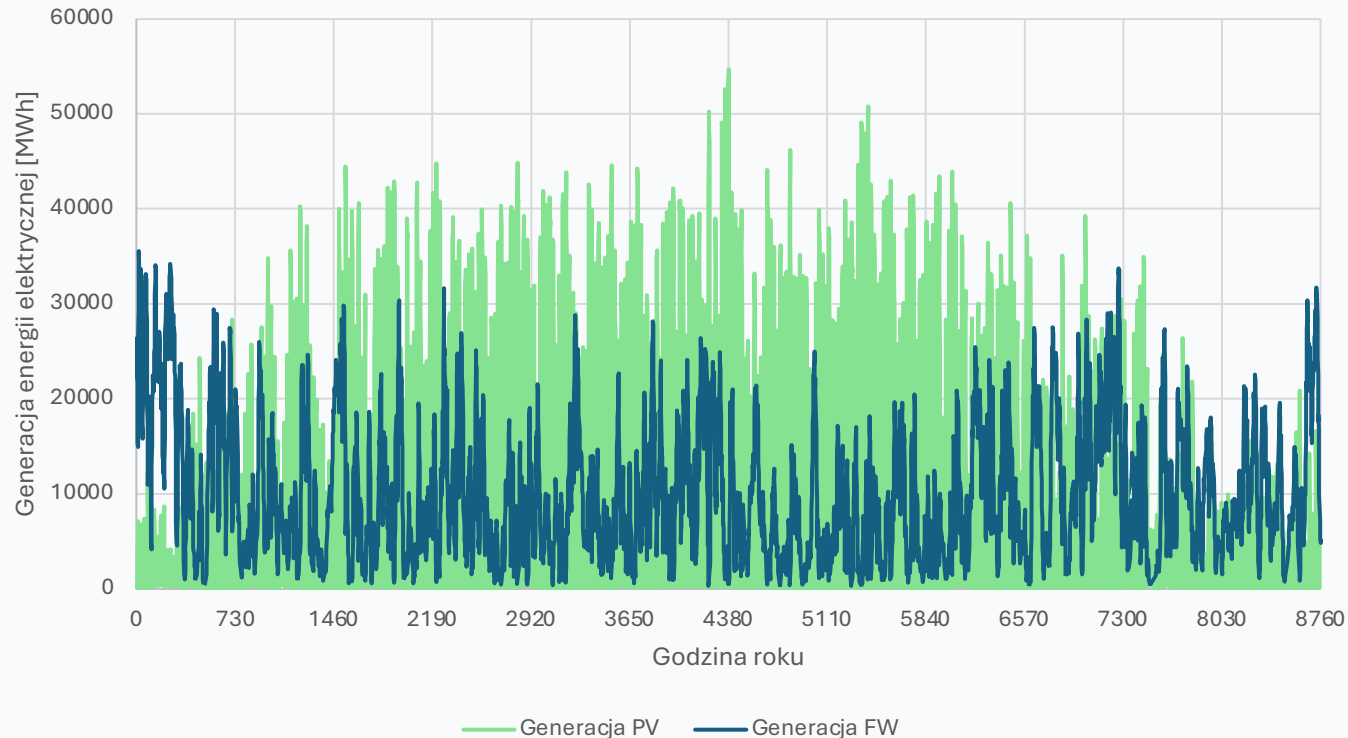


Na schemacie ideowym przedstawiono przykładowe wartości współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej porównujące tradycyjne przyłączenie OZE i zastosowanie współdzielonego przyłącza.



Rys. 1. Schemat koncepcyjny zastosowania współdzielonego przyłącza.

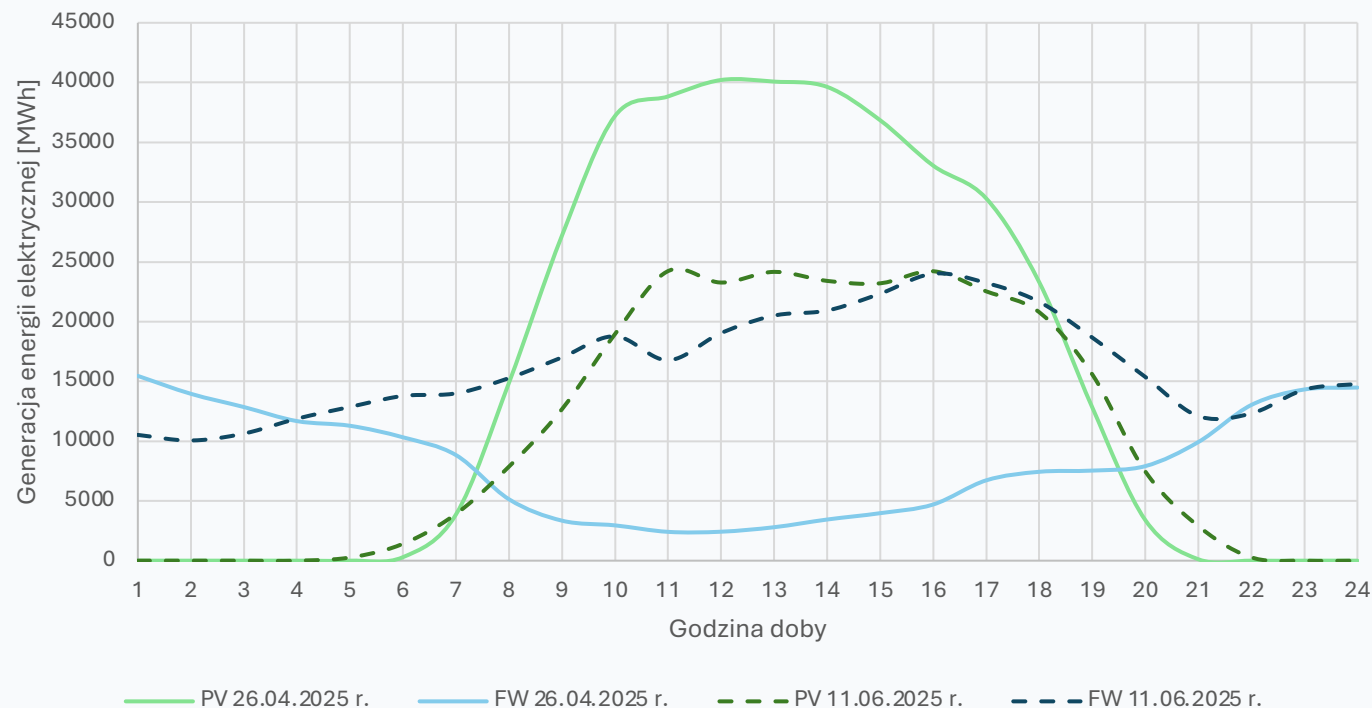
Roczna generacja OZE



Rys. 2. Generacja energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych za rok 2025.

Współdzielenie infrastruktury przez instalacje o komplementarnych profilach generacji pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie istniejących zasobów sieciowych.

Dzienne profile generacji



Rys. 3. Dobowa generacja energii elektrycznej źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych dla wybranych dni roku 2025.

Losowy charakter generacji energii ze źródeł odnawialnych współpracujących w ramach współdzielonego przyłącza może wciąż nie gwarantować stabilnej generacji energii w danym punkcie przyłączenia, zwłaszcza w przypadku analizy dobowej.

Stan prawny w Polsce



Hybrydowa instalacja OZE

- Wprowadzenie definicji w Ustawie o odnawialnych źródłach energii z 2016 r.
- Konieczność uwzględnienia magazynu energii.
- Pierwsza wydana przez URE koncesja 7.03.2024 r.

Cable pooling

- Wprowadzenie koncepcji w Ustawie Prawo Energetyczne.
- Możliwość przyłączenia dwóch lub więcej instalacji OZE w jednym punkcie przyłączenia do sieci o napięciu powyżej 1 kV.
- Instalacja cable pooling nie dotyczy odbiorców końcowych.

Magazyny energii w formule współdzielonego przyłącza

- Ustawa Prawo energetyczne nie umożliwia przyłączenia bezpośrednio magazynu energii w ramach współdzielonego przyłącza.
- W formule cable pooling możliwość przyłączenia tylko jako jednej z części instalacji OZE.

Doświadczenia europejskie



Holandia

- Model 50-100 % - możliwość przyłączenia PV o mocy 50-100% mocy FW.
- Umowa "Cable pooling agreement".
- Maksymalnie 4 instalacje w PCC.
- Minimalna moc przyłączeniowa spadła z 2 MVA do 100 kVA.

Niemcy

- Wyprowadzenie pojęcia elastycznej umowy przyłączeniowej.
- Wymóg stosowania oddzielnych układów pomiarowych dla źródeł.

Hiszpania

- Współdzielenie w ramach prywatnej sieci.
- Inwestorzy pokrywają koszty rozbudowy sieci publicznej.

Portugalia

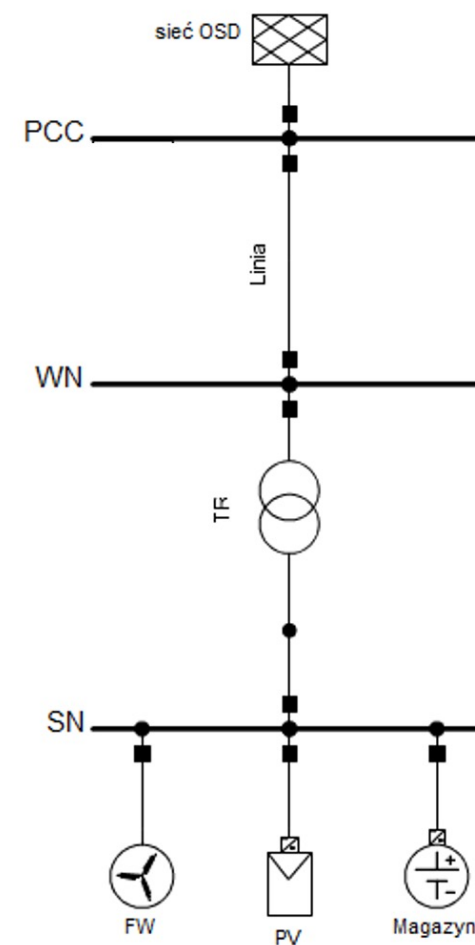
- Overplanting – zwiększenie mocy przy jednoczesnym zachowaniu przepustowości w PCC.



Studium przypadku



- Dla istniejącej farmy wiatrowej przeanalizowano możliwość wykonania kolejnego przyłączenia OZE oraz magazynu energii.
- Badania symulacyjne przeprowadzono z wykorzystaniem modułu Quasi-Dynamic Simulation oprogramowania DIgSILENT PowerFactory 2025.
- Generacja energii przez źródła wiatrowe i fotowoltaiczne została zamodelowana wykorzystując dane meteorologiczne z bazy danych ERA5 opartej na re-analizie.



Rys. 4. Schemat modelowanej sieci.

Efektywność pracy źródeł



Tabela 1. Porównanie efektywności pracy źródeł o różnej mocy.

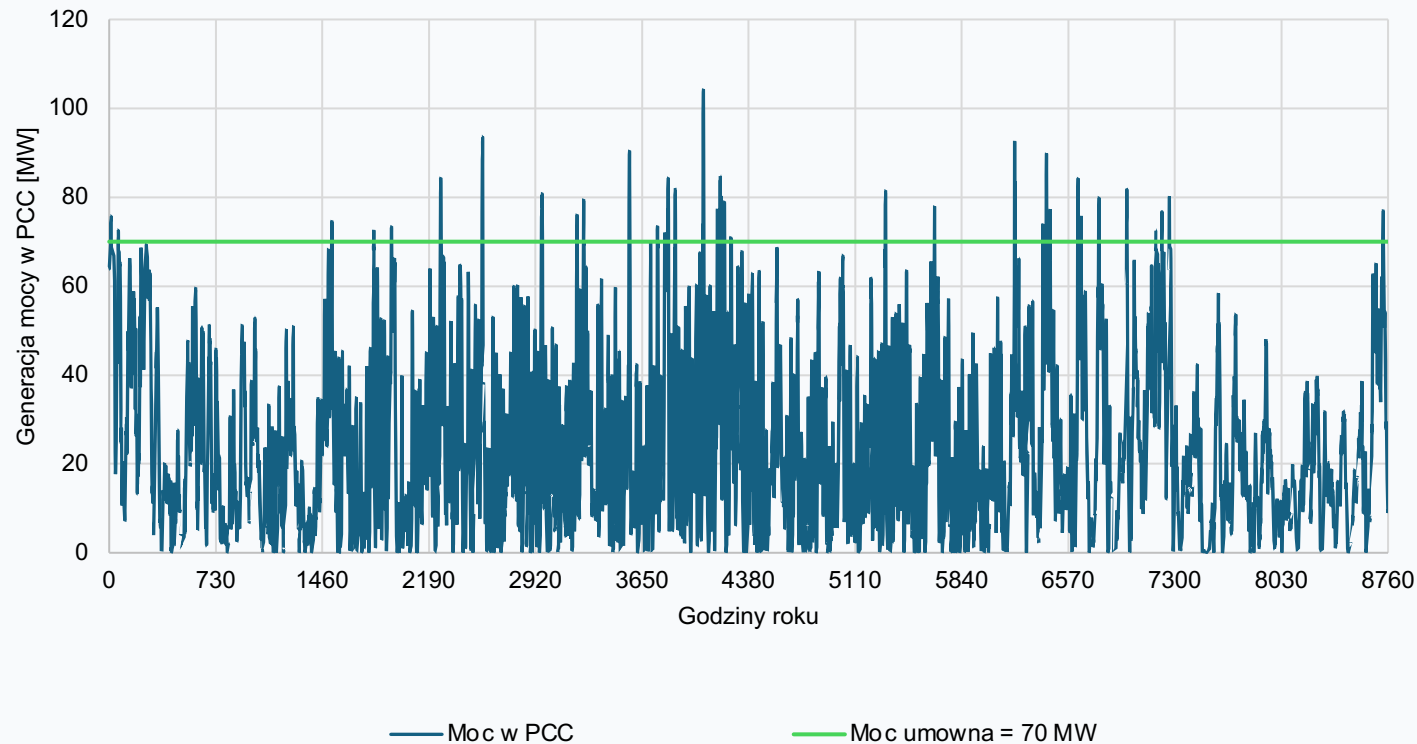
ŹRÓDŁO	FW	FW + PV	FW + PV	FW + PV	FW + PV	FW + PV
P_{PV} [MW]	0	35	52,5	70	87,5	105
E_{PCC} [GWh]	140,95	168,77	182,41	195,65	208,29	219,51
CF [-]	0,23	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36
H_{ogr} [h]	0	34	72	128	223	401
p_{ogr} [-]	0,00	0,39	0,82	1,46	2,55	4,58
E_{ogr} [MWh]	0,00	98,13	361,50	967,96	2113,26	4619,80
ΔE_{PV} [MWh/MW]	-	742,57	754,90	755,31	748,71	730,76

$$p_{ogr} = H_{ogr} / T \cdot 100\%$$

$$CF = \frac{\sum_{t=1}^T E_{PCC,t}}{P_{PCC}^{\max} \cdot T}$$

$$\Delta E_{PV} = \frac{\sum_{t=1}^T (E_{PCC,t} - E_{FW,t})}{P_{PV}}$$

Profil generacji mocy



Rys. 5. Generacja mocy w PCC dla $P_{PV}=70$ MW

Przykładowy profil mocy generowanej przez elektrownie i oddawanej do sieci przez współdzielone przyłącze dla przypadku $P_{PV} = P_{FW}$

Przekroczenia mocy przyłączeniowej



Tabela 2. Analiza przekroczeń mocy przyłączeniowych.

P_{PV} [MW]	35	52,5	70	87,5	105
dla 8760 h (100% roku)					
P_{ogr_max} [MW]	13,57	23,97	34,30	44,54	54,76
H_{ogr_max} [h/dobę]	4	6	7	8	8
E_{ogr_max} [MWh/dobę]	40,86	86,41	141,14	204,23	270,65
dla 8712 h (99,45% roku)					
P_{-ogr_max} [MW]	0,00	2,28	7,77	15,12	22,64
H_{ogr_max} [h/dobę]	4	5	7	8	8
E_{ogr_max} [MWh/dobę]	9,41	27,29	77,52	140,02	197,47

Przeprowadzona analiza wykonana została na potrzeby doboru mocy magazynu energii dla dwóch wariantów możliwości czasu trwania ograniczeń mocy – dla 0% oraz 0,55% godzin ograniczeń w roku co wynika z wyłączenia najbardziej skrajnych przypadków.

Dołączanie magazynu energii



$$CF_{mag} = \frac{\sum_{t=1}^T P_{mag,t} \cdot \Delta t}{E_{Mag} \cdot 365}$$

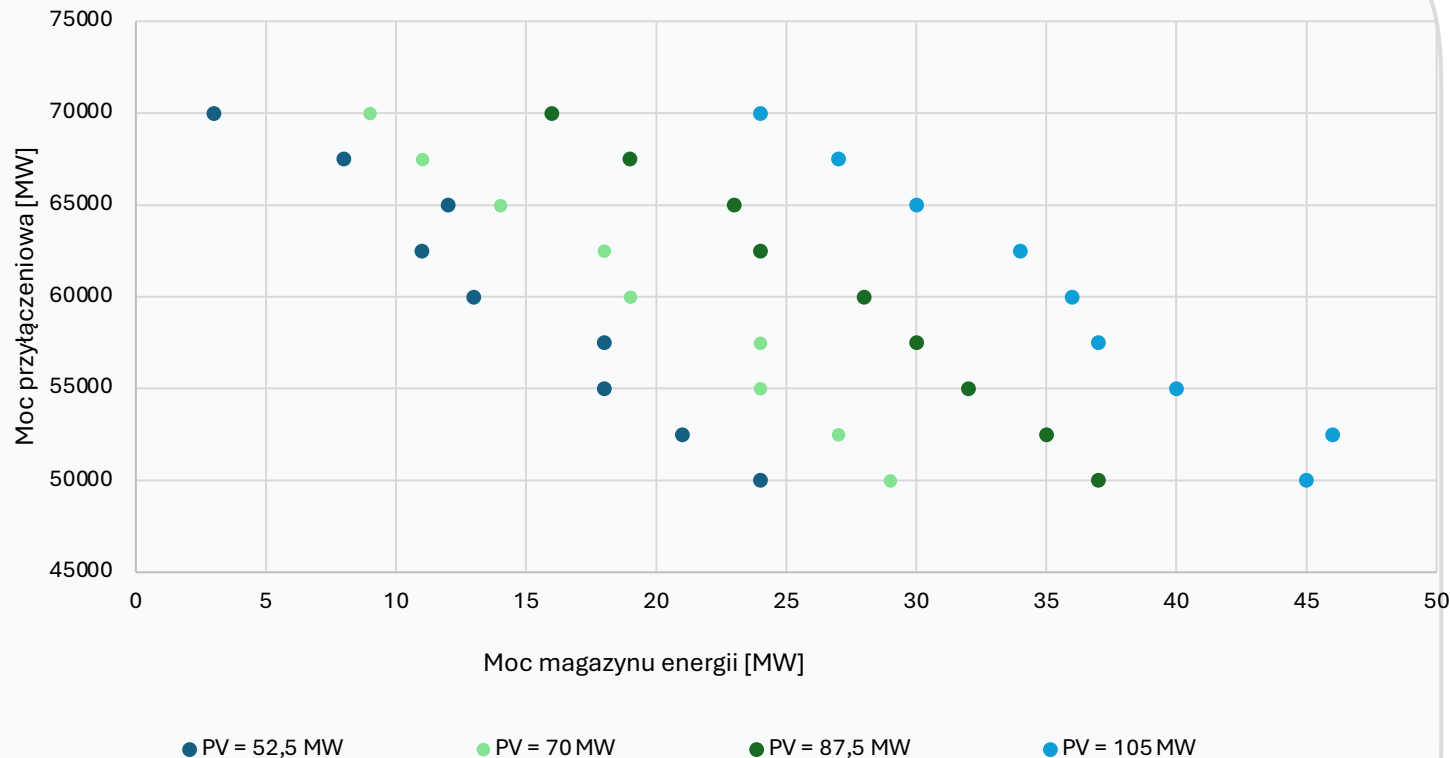
Tabela 3. Parametry magazynu energii na potrzeby unikania przekroczeń

P_{PV} [MW]	35	52,5	70	87,5	105
P_{Mag} [MW]	---	3	9	16	24
E_{Mag} [MWh]	---	18	54	96	144
Liczba cykli [-]	---	26	36	71	109
CF_{mag} [-]	---	0,032	0,044	0,061	0,095

Na potrzeby unikania przekroczeń mocy przyłączeniowej dobrane zostały moc i pojemność magazynu P_{Mag} i E_{Mag} dla poszczególnych wariantów symulacji.

Wyniki uwzględniają możliwość występowania przekroczeń przez co najwyżej 0,55% godzin w roku.

Moc magazynu energii



Rys. 6. Minimalne wartości mocy magazynu energii umożliwiające obniżenie wartości mocy przyłączeniowej

Zestawienie proponowanych wartości mocy przyłączeniowej oraz mocy magazynu energii niezbędne na potrzeby wyrównywania profilu generacji w celu wykorzystania magazynu do obniżenia mocy przyłączeniowej całej instalacji.

Podsumowanie



- Wdrożenie współdzielonego przyłącza w Polsce napotyka bariery prawne i organizacyjne: brak rozporządzeń wykonawczych, jednolitych wytycznych dla OSD, wzorców umów oraz różnorodne obowiązki administracyjne wśród wytwórców, które zwiększają koszty i ryzyko prawne.
- Główne ograniczenia techniczne dotyczą możliwych przeciążeń linii i transformatorów, co może prowadzić do redukcji mocy (curtailment).
- Magazyny energii mogą znacząco ograniczyć straty energii, przy odpowiednim doborze ich parametrów.
- Kluczowe jest kompleksowe podejście uwzględniające warunki techniczne, a także analizy opłacalności rozwiązań, w tym koszty inwestycyjne, operacyjne i dostępne dotacje.





Dziękuję za uwagę

- dr inż. Aleksandra Schött-Szymczak
- aleksandra.schott-szymczak@put.poznan.pl