
Rynkowe i techniczne środki integracji źródeł odnawialnych w krajowym systemie elektroenergetycznym

Konrad Purchała, Andrzej Midera

Konferencja REE 2024, 23 kwiecień 2024 r.

www.pse.pl

| KSE przy rosnącym udziale OZE

| Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej

- **Zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii wymaga:**
 - Odpowiedniej ilości zdolności wytwórczych (**wystarczalność generacji**)
 - Ilość (moc i energia elektryczna)
 - Lokalizacja (miejsce przyłączenia do sieci)
 - Technologia (dyspozycyjność i elastyczność pracy)
 - Odpowiedniej infrastruktury sieciowej (**wystarczalność sieci**)
 - Bezpieczeństwa operacyjnego pracy systemu (**wystarczalność operacyjna**)
- **Składowe bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej**
 - **Bezpieczna praca sieci elektroenergetycznej (OSP, OSD)**
 - Nieprzerwana praca sieci oraz jej odporność na awarie
 - Dotrzymywanie parametrów jakościowych dostaw energii elektrycznej
 - **Zaspokojenie zapotrzebowania na energię elektryczną (Ministerstwo ds. energii, uczestnicy rynku)**
 - Zrównoważony rozwój strony podażowej i popytowej
 - Koordynacja rozwoju połączeń transgranicznych

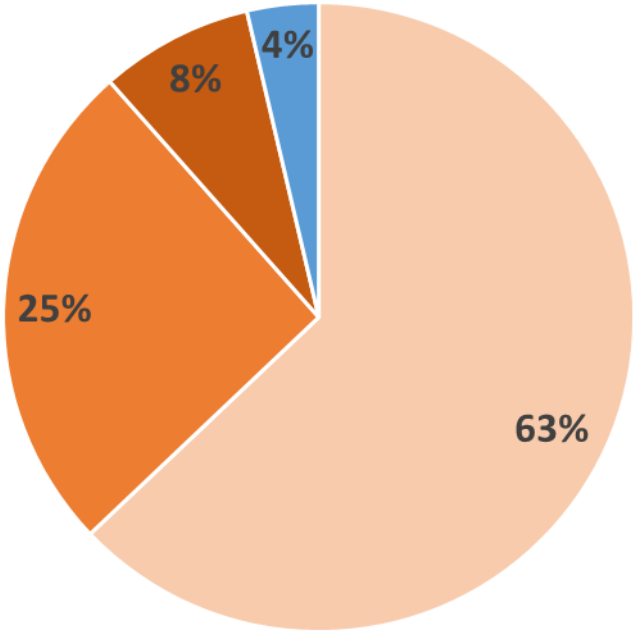
Praca KSE przy rosnącym udziale generacji OZE

- **W ostatnich latach do KSE przyłączonych zostało kilkanaście tysięcy MW mocy źródeł odnawialnych**
 - Obecnie moc osiągalna źródeł fotowoltaicznych (**PV**) to około **18 GW**
 - rekord chwilowej produkcji PV to ok. **10,6 GW**, tj. ok. **62%** mocy zainstalowanej.
 - Moc osiągalna farm wiatrowych (**FW**) to około **10 GW**
 - rekord chwilowej produkcji FW to ok. **8,5 GW**, tj. ok. **85%** mocy zainstalowanej.
 - Sumarycznie rekordowa chwilowa generacja OZE to ok. **16 GW**
 - rekord chwilowej produkcji OZE pokrywał **ok. 80%** krajowego zapotrzebowania (w dniu 29.03.2024)
 - Zdarzają się także okresy, kiedy generacja OZE osiąga bardzo niskie poziomy, nie przekraczając 500 MW (ok. 4% godzin w 2023)
- **OZE są źródłem czystej energii, lecz bezpieczeństwo KSE wymaga także pewności dostaw mocy**
 - Jedynym dostępnym dziś w KSE źródłem mocy, czyli inaczej pewności zasilania, są źródła konwencjonalne
 - Określona liczba pracujących bloków konwencjonalnych jest niezbędna dla zapewnienia wymaganych parametrów technicznych pracy KSE: inercja, moc zwarciova, regulacja napięć, zdolności regulacji mocy, itd.
 - Spełnianie ograniczeń systemowych (sieciowych i elektrownianych) stanowi warunek konieczny dla zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej
 - W KSE pojawiają się naprzemiennie okresy:
 - Niskiej generacji OZE, za czym idzie potrzeba pracy bloków konwencjonalnych z dużą mocą
 - Wysokiej generacji OZE, co oznacza konieczność pracy bloków konwencjonalnych na minimach technicznych lub ich odstawiania i uruchamiania

93% źródeł OZE jest przyłączonych do sieci OSD

Moc zainstalowana PV wg stanu na 1.03.2024

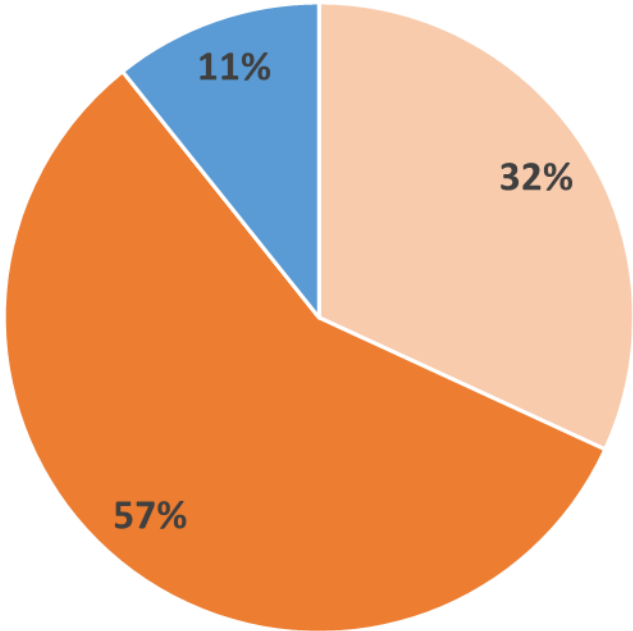
(17 971 MW)



- PV w sieci nN
- PV w sieci SN
- PV w sieci 110 kV OSD
- PV w sieci przesyłowej OSP

Moc zainstalowana FW wg stanu na 1.04.2024

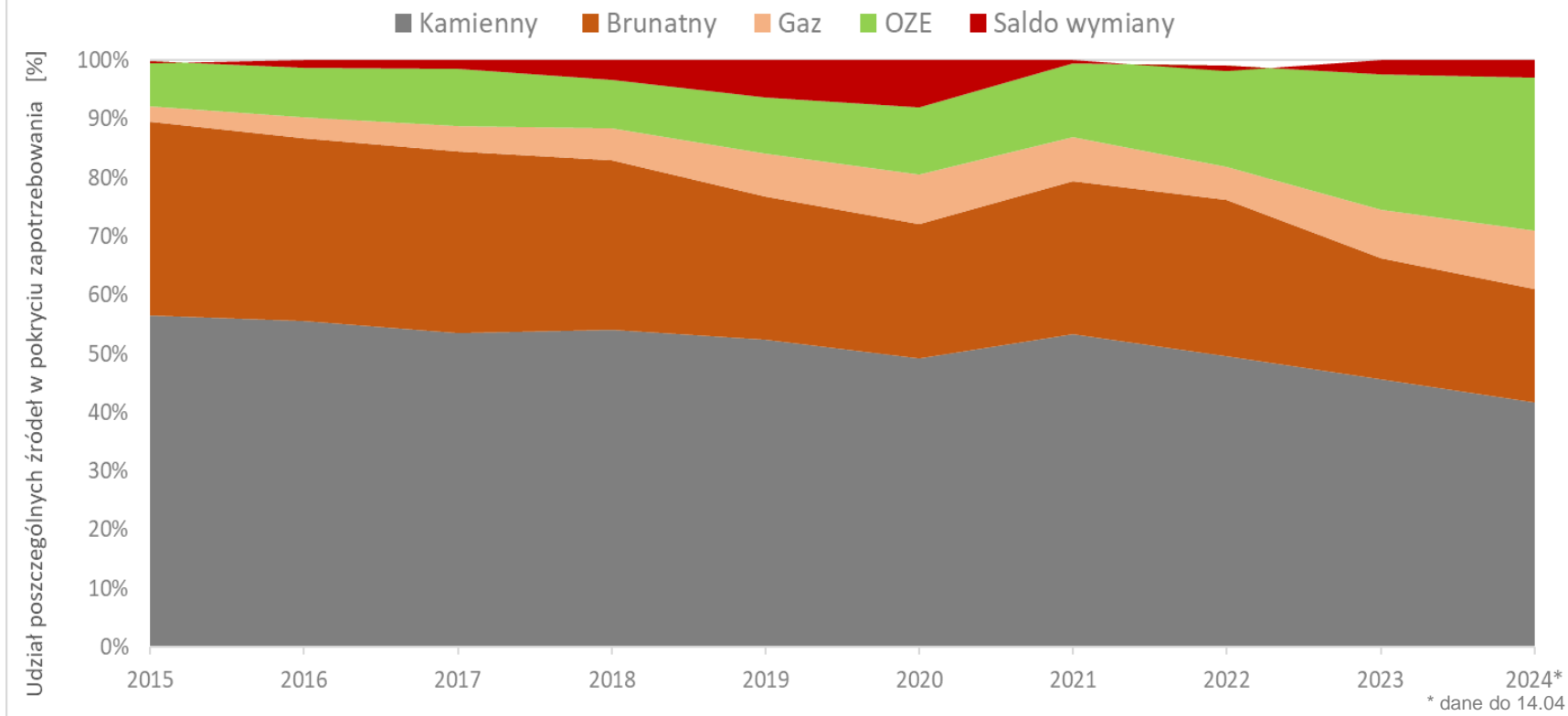
(10 107 MW)



- FW w sieci SN/nn
- FW w sieci 110 kV OSD
- FW w sieci przesyłowej OSP

Udział generacji OZE w pokryciu krajowego zapotrzebowania

Źródła energii elektrycznej na potrzeby pokrycia zapotrzebowania w Polsce



**Wymiana transgraniczna jest istotnie mniejszym składnikiem
pokrywania zapotrzebowania KSE niż generacja OZE**

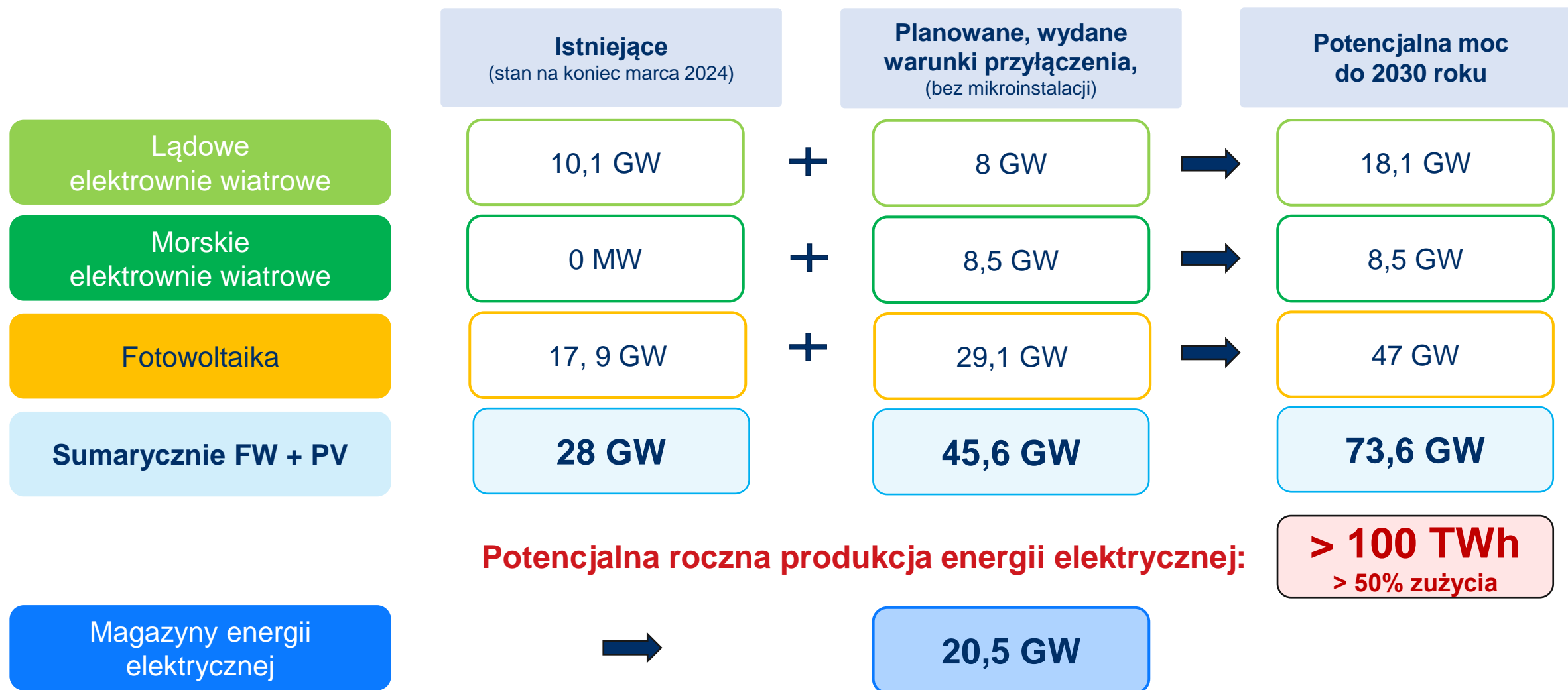
Rok	Kamienny	Brunatny	Gaz	OZE	Saldo wymiany
	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]
2015	91 640	53 564	4 193	12 301	- 334
2016	91 478	51 204	5 776	14 022	1 999
2017	89 925	51 983	7 172	16 622	2 287
2018	92 397	49 072	9 590	13 875	5 718
2019	88 368	41 502	12 099	16 357	10 624
2020	81 345	37 969	13 924	19 071	13 224
2021	93 037	45 367	13 366	21 814	820
2022	87 761	46 978	10 002	30 417	- 1 679
2023	76 607	34 571	13 650	38 801	3 889
2024*	21 444	9 917	5 129	13 452	1 471

Rok	Kamienny	Brunatny	Gaz	OZE	Saldo wymiany
	%	%	%	%	%
2015	57%	33%	3%	8%	0%
2016	56%	31%	4%	9%	1%
2017	54%	31%	4%	10%	1%
2018	54%	29%	6%	8%	3%
2019	52%	25%	7%	10%	6%
2020	49%	23%	8%	12%	8%
2021	53%	26%	8%	13%	0%
2022	51%	27%	6%	18%	-1%
2023	46%	21%	8%	23%	2%
2024*	42%	19%	10%	26%	3%

* dane do 14.04

Potencjał do przyłączania źródeł OZE w perspektywie do 2030 r.

Szacunki PSE S.A. na 10.04.2024 na podstawie wydanych i uzgodnionych warunków przyłączenia

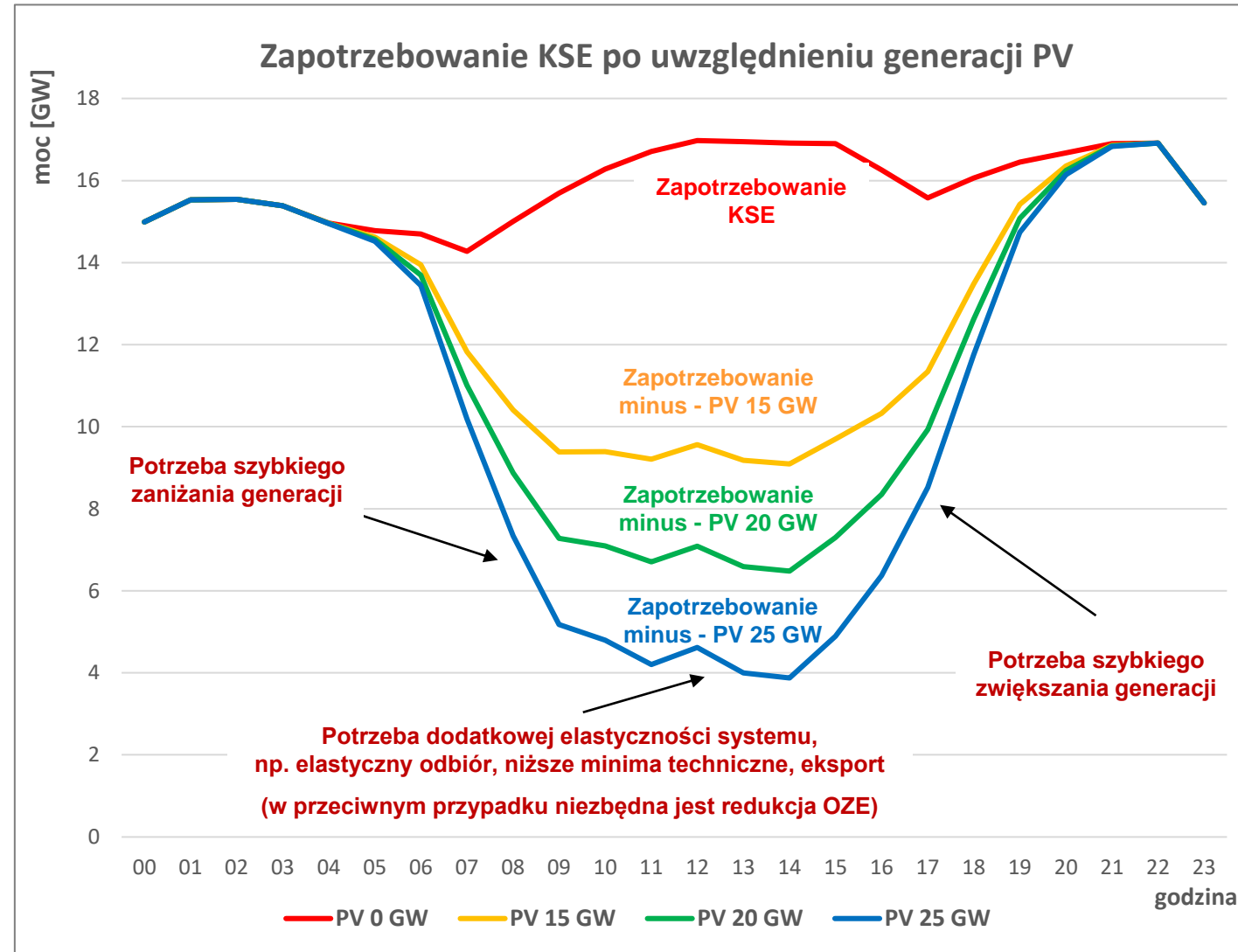


| Główne wyzwania w zakresie integracji OZE

Główne wyzwania w zakresie integracji źródeł OZE (1/4)

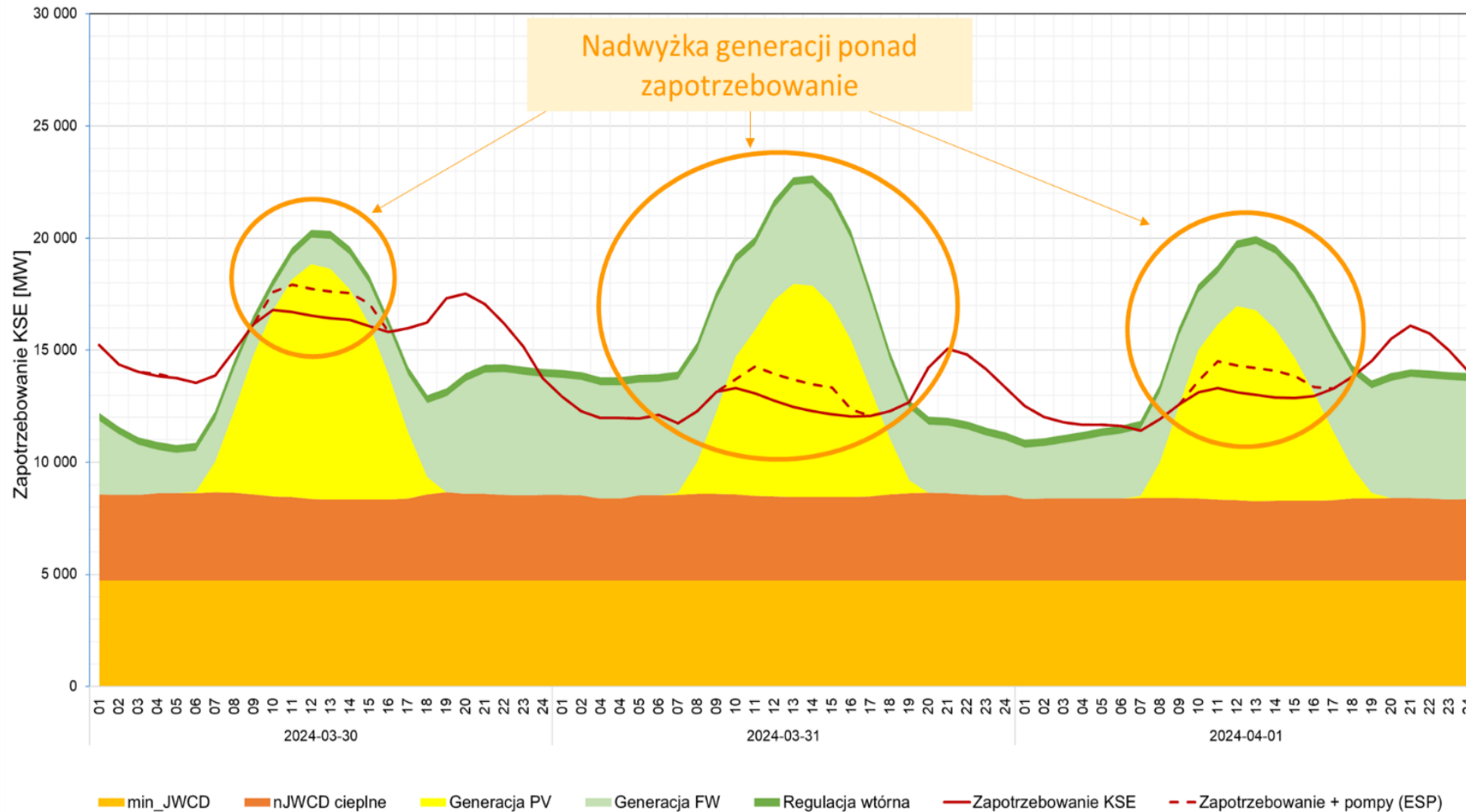
Bilansowanie techniczne KSE

- **Wysoki poziom PV wymaga dużej elastyczności podaży**
 - Wraz ze wzrostem generacji PV, maleje zapotrzebowanie na moc i energię ze źródeł dyspozycyjnych w środku dnia
 - Jednocześnie wieczorny spadek generacji PV przypada na okres wzrostu zapotrzebowania
 - Aby zaspokoić rosnącą lukę podaży, konieczne jest szybkie zwiększenie generacji źródeł dyspozycyjnych
- **W takich warunkach szczególnego znaczenia nabierają:**
 - **poprawna koordynacja cenowa zachowań uczestników rynku** (oddziaływanie poprzez ceny zgodne z warunkami bilansowymi w KSE)
 - **adekwatne usługi systemowe częstotliwościowe oraz nieczęstotliwościowe** (wynagradzanie pracy na rzecz bezpiecznych dostaw energii elektrycznej)
- Istnieje **minimum generacji źródeł dyspozycyjnych**, wymaganej dla dotrzymania technicznych parametrów systemu i pracy elektrowni, które obecnie wynosi:
 - Zimą: ok. 9 GW (ok. 5 GW JWCD + 4 GW nJWCD)
 - Latem: ok. 7 GW (ok. 4,5 GW JWCD + 2,5 GW nJWCD)



Główne wyzwania w zakresie integracji źródeł OZE (2/4)

Zagospodarowanie nadwyżek energii elektrycznej

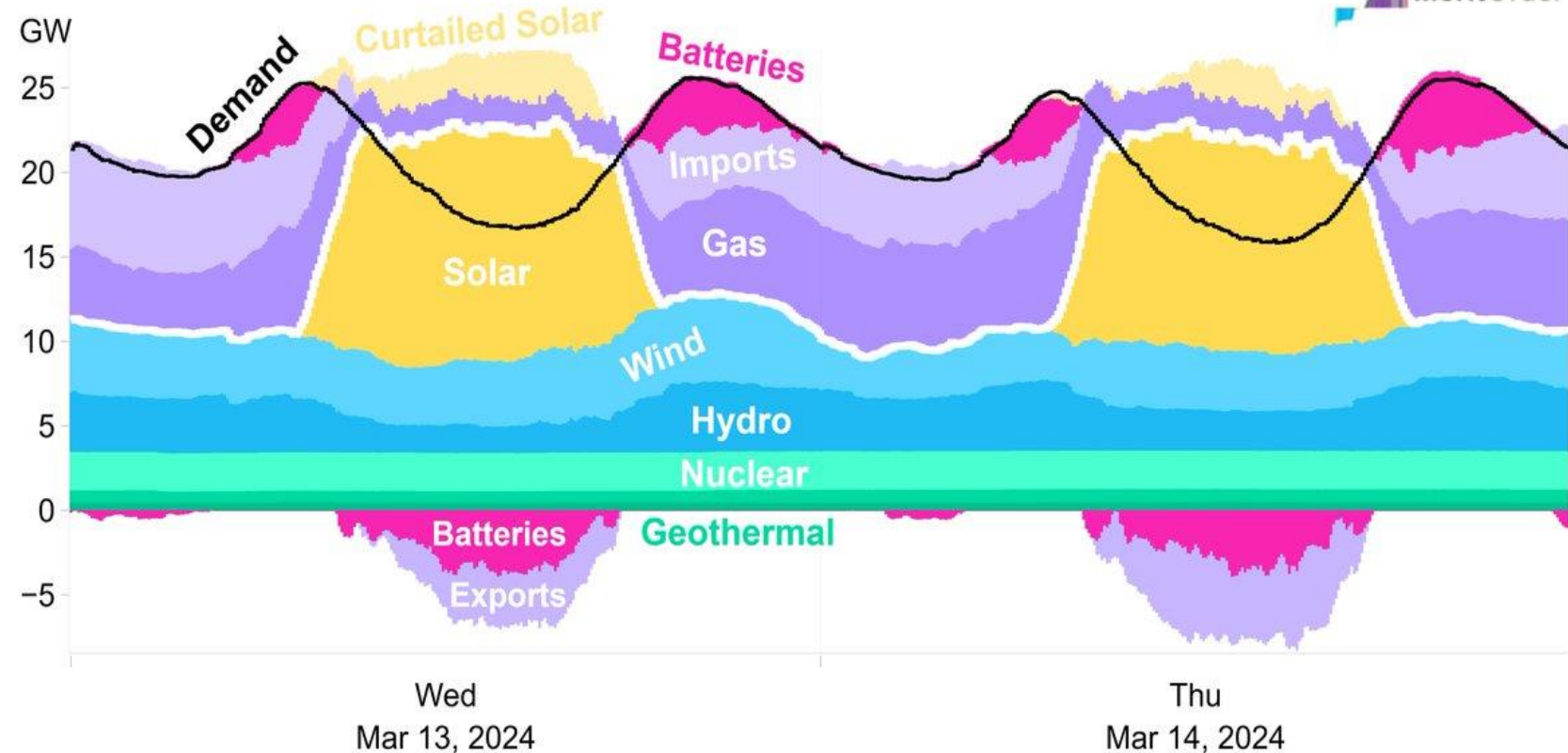


- Moc źródeł OZE już obecnie przekracza zapotrzebowanie szczytowego, a do roku 2030 może osiągnąć 2-3 krotność
- Okresowe nadwyżki generacji będą zjawiskiem coraz częstszym i głębszym, w sensie mocy i energii
- Skala działań wymaganych po stronie OSP istotnie wzrosła w 2024 r.

Główne wyzwania w zakresie integracji źródeł OZE (3/4)

Kluczowe znaczenie sygnałów cenowych

CAISO power supply and demand



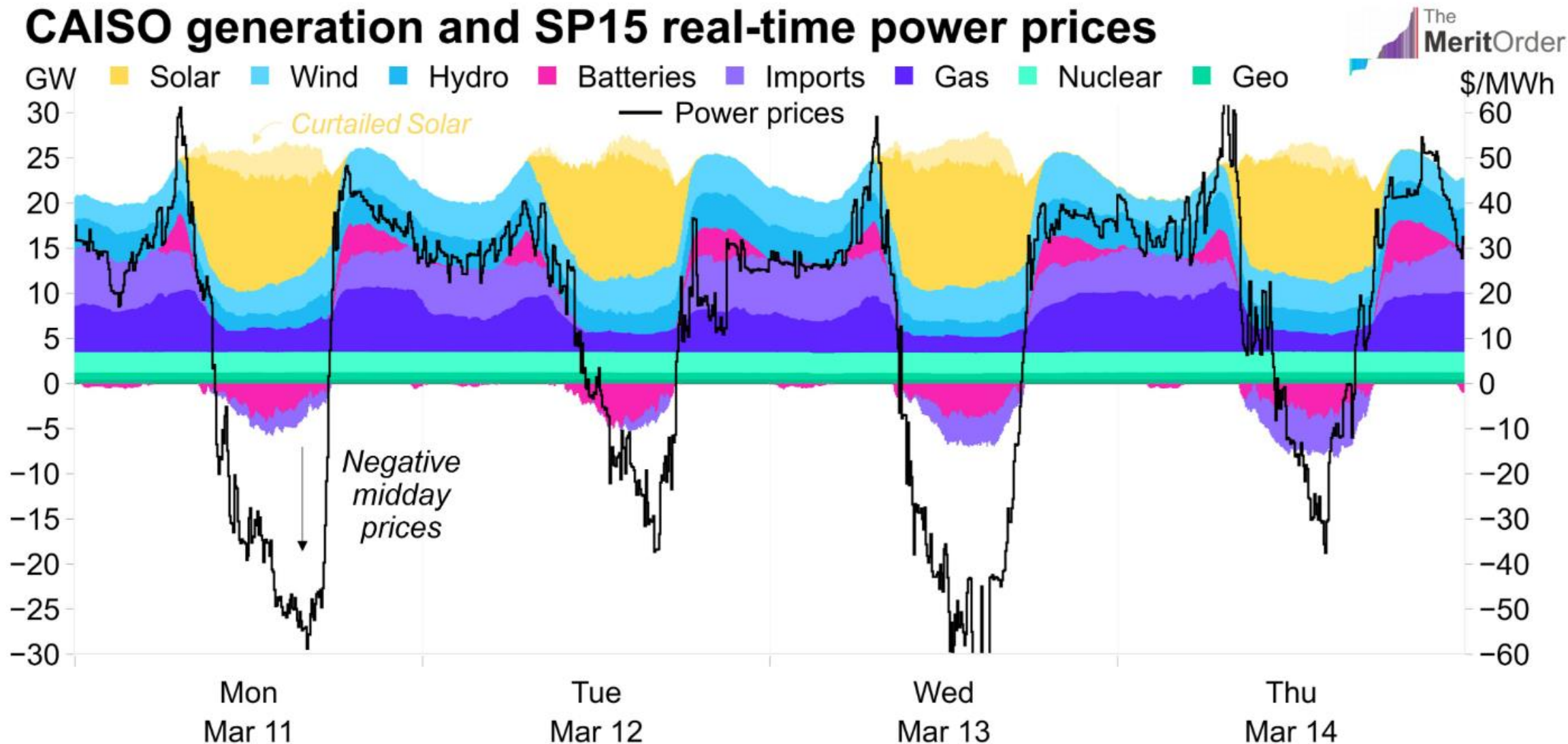
Fot.X/@BPBartholomew

- Na dojrzałych rynkach energii elektrycznej (CAISO, USA), kluczowe znaczenie mają sygnały cenowe odzwierciedlające sytuację w systemie i sterujące zasobami
- Wysoka różnica cen między szczytem PV i szczytem zapotrzebowania to sygnał dla rozwoju elastyczności i magazynów
- Spadek cen w szczycie PV pozawala także na eksport nadwyżek do sąsiadów
- Istotnym elementem bilansowania jest także samoograniczenie generacji OZE przez jej właścicieli, kiedy cena spada do wielkości ujemnych

Główne wyzwania w zakresie integracji źródeł OZE (3/4)

Kluczowe znaczenie sygnałów cenowych

CAISO generation and SP15 real-time power prices



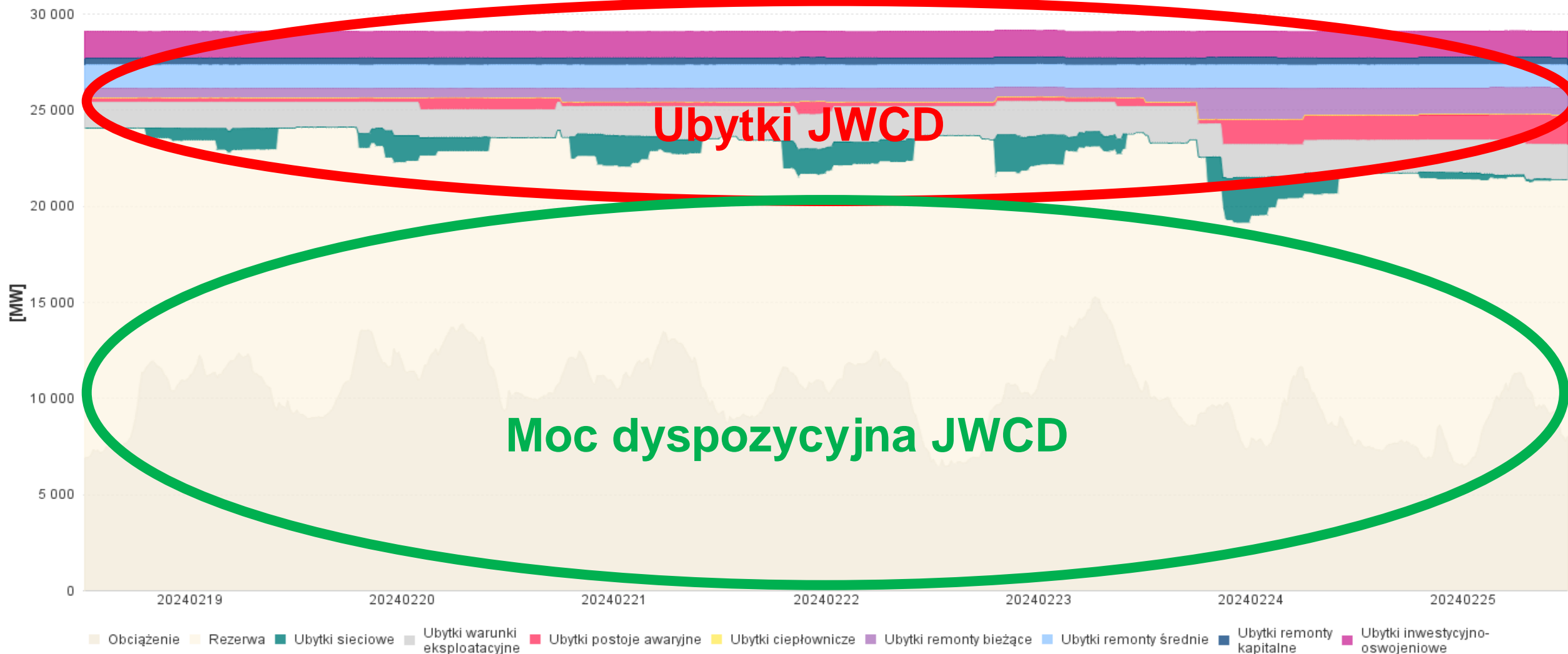
Data: CAISO, GridStatus | Chart: @BPBartholomew | Note: Utility-scale solar only

Fot.X/@BPBartholomew

Główne wyzwania w zakresie integracji źródeł OZE (4/4)

moc vs energia

JWCDC



Główne wyzwania w zakresie integracji źródeł OZE (4/4)

moc vs energia

OZE



| Jak integrować więcej OZE?

| Jak integrować więcej źródeł OZE w KSE?

- **Absorbacja większych ilości energii ze źródeł OZE wymaga:**
 - Zwiększania elastyczności systemu poprzez:
 - **uelastycznianie istniejącego odbioru** (kształtowanie krzywej zużycia)
 - **uelastycznianie istniejących źródeł wytwórczych** (obniżanie minimów technicznych, zwiększanie ramp)
 - Zagospodarowywania nadwyżek energii elektrycznej przez **nowe elastyczne odbiory** (podążające za generacją), w tym magazyny energii elektrycznej oraz ciepłej
- **Kluczowym narzędziem wspierającym rozwój elastyczności są **sygnały cenowe****
 - Wysokie ceny w warunkach niskiej podaży mocy – aktywacja reakcji odbiorców celem redukcji poboru
 - Niskie (ujemne) ceny w warunkach nadpodaży mocy – aktywacja odbiorców celem zwiększania poboru
 - **Energia nieplanowo** pobierana lub dostarczana **na rynek bilansujący** powinna być **nieatrakcyjna finansowo** dla podmiotów przyczyniających się do niezbilansowania KSE (**wyceniana penalizująco**), co zachęci uczestników rynku do dostosowywania generacji do zapotrzebowania odbiorców i podejmowania działań z wyprzedzeniem (w tym ograniczenie produkcji)

| Współpraca OSP-OSD: obecnie i w przyszłości

Zarządzanie pracą systemu elektroenergetycznego wymaga coraz ściślejszej współpracy

Ancillary Services (usługi pomocnicze)

Frequency related (bilansowanie)

- RR
- aFRR
- mFRR
- FCR

Redukcja nierynkowa
z powodów bilansowych
(mechanizm interwencyjny)

Non-frequency related (usługi pomocnicze niezależne od częstotliwości)

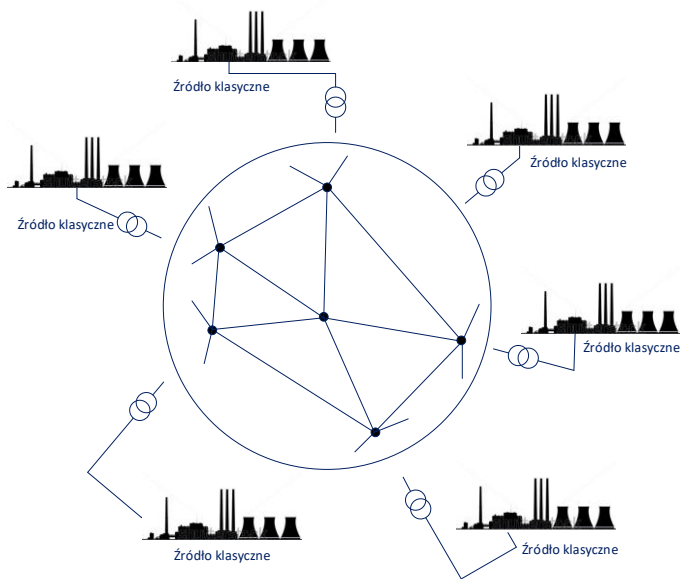
- regulacja napięcia w stanach ustalonych
- dostarczanie prądu zwarcowego
- szybkie wstrzykiwanie prądu biernego
- zapewnienie inercji w celu zachowania stabilności sieci lokalnej
- zdolności do rozruchu autonomicznego
- zdolność do pracy wyspowej oraz w układzie wydzielonym

Congestion Management (zarządzanie ograniczeniami)

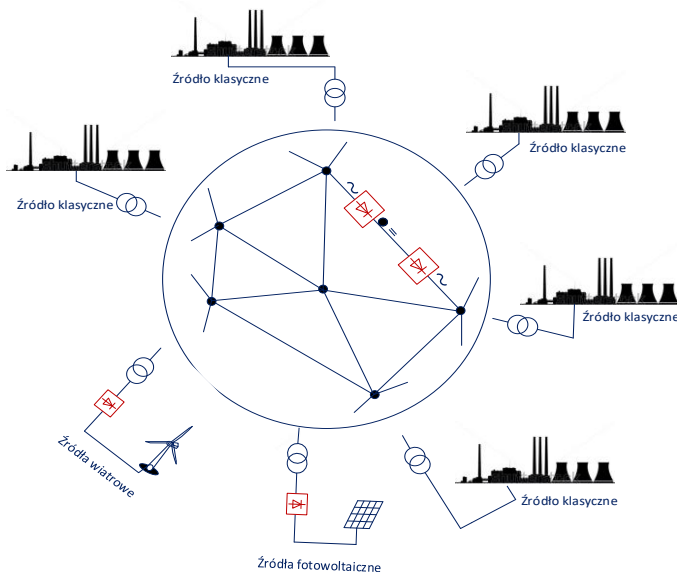
- Redysponowanie transgraniczne
 - rynek bilansujący
- Redysponowanie krajowe w sieci zamkniętej
 - rynek bilansujący
 - dedykowane umowy (GWS, IRP, IZP)
- Redysponowanie krajowe w sieci promieniowej
 - mechanizm oparty na ofertach
- Redukcja nierynkowa z powodów sieciowych
 - mechanizm interwencyjny

Zdolność Grid Forming jako kluczowy warunek pracy KSE

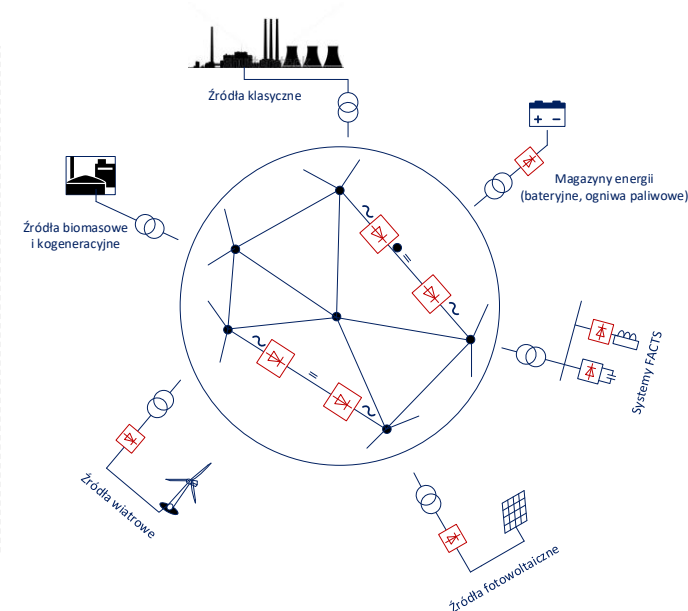
BYŁO | SEE klasyczny



JEST | SEE „przejściowy”



BĘDZIE | SEE przyszłości



Sektor wytwórczy | źródła konwencjonalne
niewiele źródeł odnawialnych

Dynamika | wysoka inercja naturalna systemu

Reakcja | dopuszczalny długi czas reakcji

dominują źródła konwencjonalne, coraz więcej
źródeł odnawialnych (głównie rozproszonych)

nieznaczne obniżenie inercji naturalnej

dopuszczalny długi czas reakcji

coraz mniej źródeł konwencjonalnych
dominują wielkoskalowe źródła odnawialne

znaczne obniżenie inercji naturalnej

wymagany krótki czas reakcji

Grid Following



Grid Forming

Dziękuję za uwagę