



**System  
Elektroenergetyczny:  
Bezpieczeństwo  
Operacyjne i Rynkowe**

# **Magazyny energii elektrycznej – czy to się opłaca? - wielowymiarowe studium przypadku**

---

Dariusz Bober

Kazimierz Dolny, 17–19 marca 2026 r.

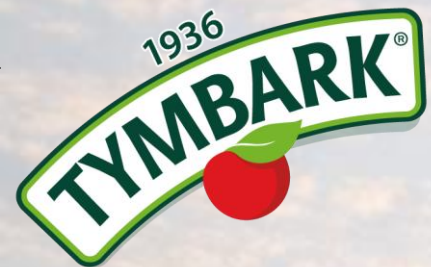
# Założenia...

---



## Plan wystąpienia

- Projekt NCBiR
- Zespół B+R
- Sylwetka zakładu
- Algorytm sterowania ME
  - Ceny dynamiczne EE
  - Ograniczenia mocy dyspozycyjnej
  - Inne ograniczenia: „Zjeść ciastko i mieć ciastko”
- Dobór wielkości ME
- ROI
- Wnioski



**NCBR**

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**SEBOR'26**



**System  
Elektroenergetyczny:  
Bezpieczeństwo  
Operacyjne i Rynkowe**

Opracowanie innowacyjnego systemu do zarządzania zbilansowaniem miksu energetycznego w układach izolowanych i częściowo izolowanych z zastosowaniem rozmytego modelu trybów zasilania FuzzyTR

Nr Umowy o dofinansowanie: FENG.01.01-IP.01-A0AH/24-00

Beneficjenci:

Tymbark-MWS Sp. z o.o.

Politechnika Lubelska

**Kazimierz Dolny, 17–19 marca 2026 r.**

# Zespół



Fundusze Europejskie  
dla Nowoczesnej Gospodarki



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



## Kierownik B+R

- ▶ **Dr hab. inż. Dariusz Czerwiński, prof. PL,**

*kluczowy personel B+R po stronie Politechniki Lubelskiej*

- ▶ **Dr hab. inż. Piotr Miller, prof. PL,**
- ▶ **Dr hab. inż. Paweł Pijarski, prof. PL,**
- ▶ **Dr hab. inż. Michał Wydra, prof. PL,**
- ▶ **Dr hab. Paweł Karczmarek, prof. PL,**
- ▶ **Dr inż. Marek Wancerz, prof. PL,**
- ▶ **Dr inż. Robert Jędrychowski, prof. PL,**
- ▶ **Dr Michał Dolecki,**
- ▶ **Dr Adam Kiersztyn,**
- ▶ **Paweł Chrapowicki, Dyrektor Centrum Innowacji i Transferu Technologii Politechniki Lubelskiej**

*kluczowy personel po stronie TYMBARK–MWS Sp. z o.o.*

- ▶ **Piotr Kapera, Dyr. Techniczny**
- ▶ **Marta Kutyna-Bakalarska, Dyr. Działu Zarządzania Innowacjami**
- ▶ **Józef Augustyński, Kier. Dz. Energetycznego**
- ▶ **Maria Pyrc, Kier. Procesów Pomocniczych**
- ▶ **Zbigniew Hochół, Kier. Obszaru Dział Tłoczni**
- ▶ **Wojciech Bokowy, Józef Klimek, Wojciech Dziadoń, Kier. Obszaru Pozostałe Koszty Produkcji:**
- ▶ **Jakub Stuglik, Manager Projektów Innowacyjnych**
- ▶ **Dariusz Bober, Specjalista ds. Badan i Rozwoju**

# Parametry EE zakładu



Roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną (YED)  $\approx$  24 [GWh].

Zakład zasilany jest poprzez dwa przyłącza do sieci OSD:

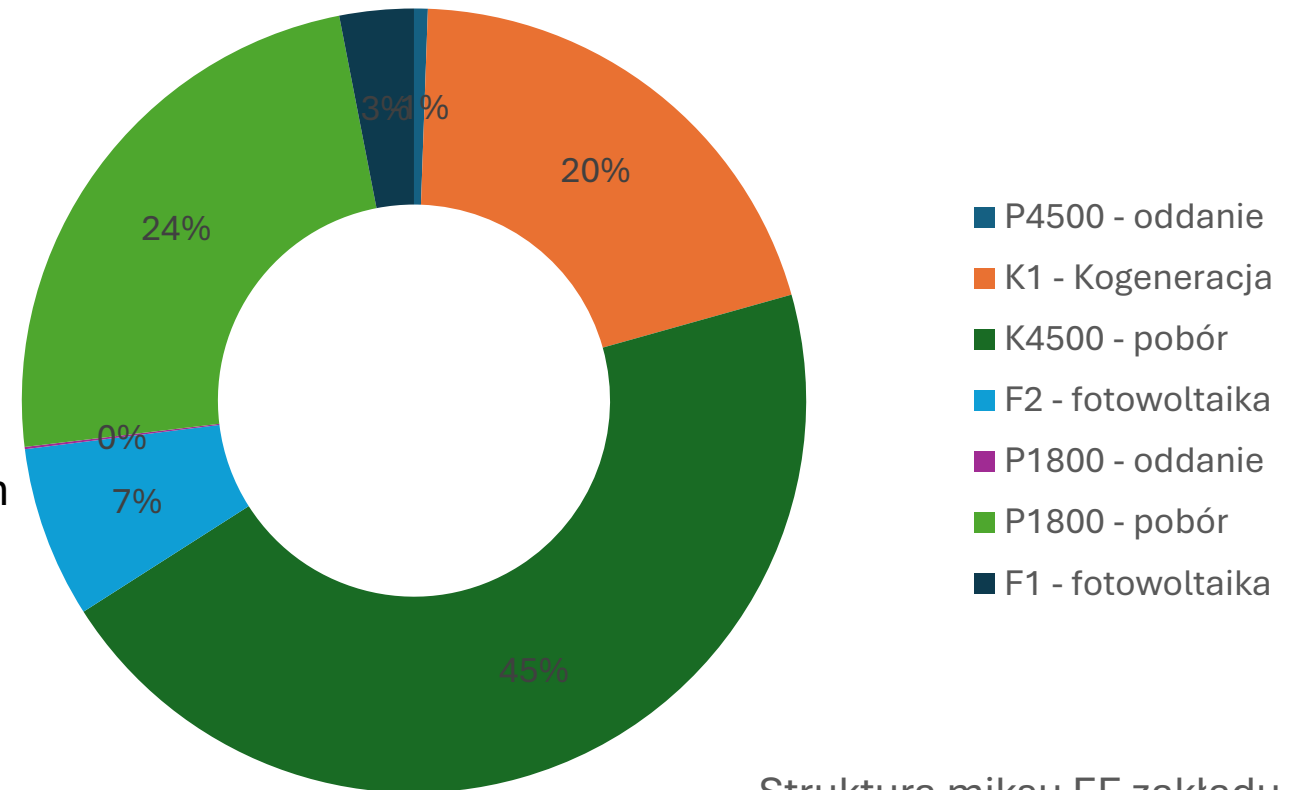
- P1800 – „Zamieście”
- P4500 – „Łososina”

30 % YED jest wytwarzane przez zakład:

- kogeneracja (K1) 1MW
- fotowoltaika (F1) 1MW (peak)
- fotowoltaika (F2) 2MW (peak)
- 3 nowoczesne oczyszczalnie produkujące biogaz

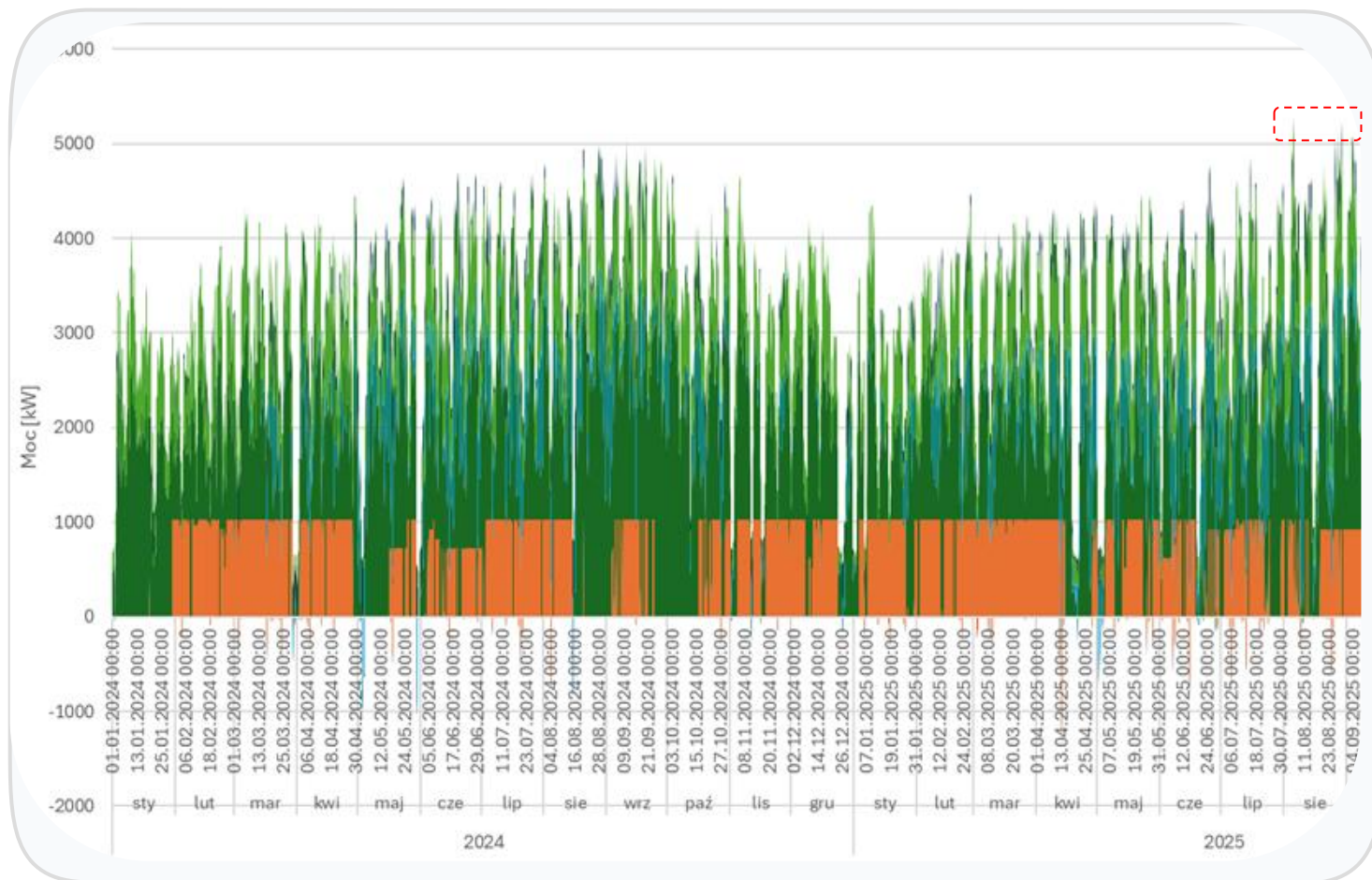
Plany rozwojowe infrastruktury energetycznej:

- Kogeneracja (K2) 1MW
- Dwa magazyny energii (ME), ok. 1+2 MW / 2+4MWh

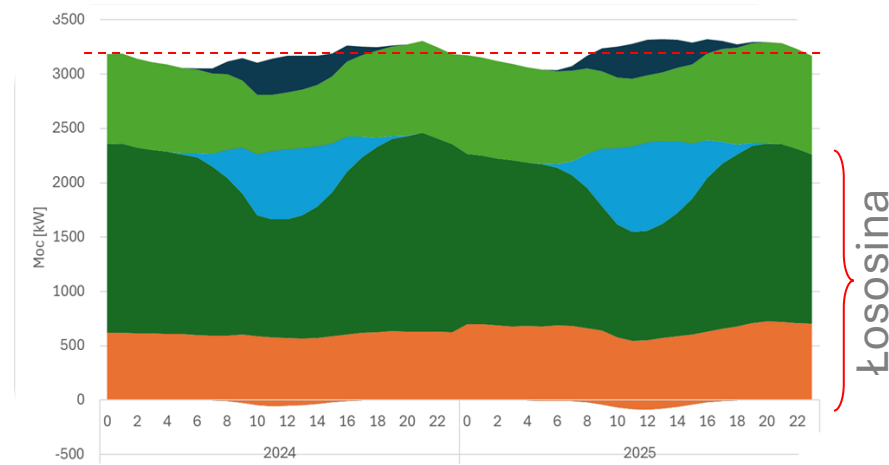


Struktura miksu EE zakładu

# Dane opisujące zakład: 2024-2025



- Maksymalne godzinowe zużycie energii: ~ 5MWh
- Średnie godzinowe zużycie: ~ 3,2 MWh (≈ ME: 1+2 MW)
- Kogeneracja to stabilne źródło
- PV obniża pobór EE z OSD

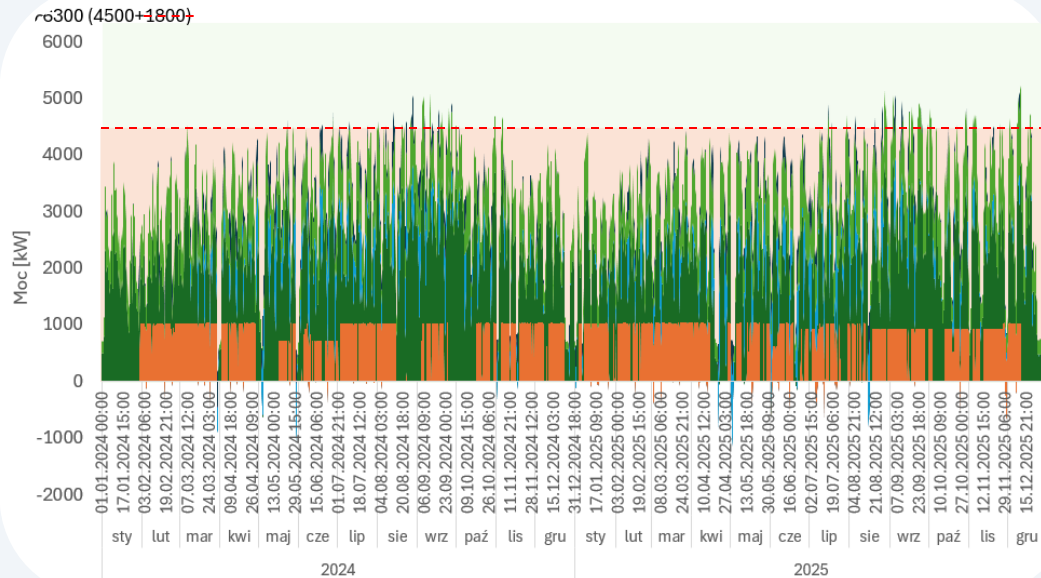


■ P4500 - oddanie ■ K1 - Kogeneracja ■ K4500 - pobór ■ F2 - fotowoltaika ■ P1800 - oddanie ■ P1800 - pobór ■ F1 - fotowoltaika

# Dane opisujące układ

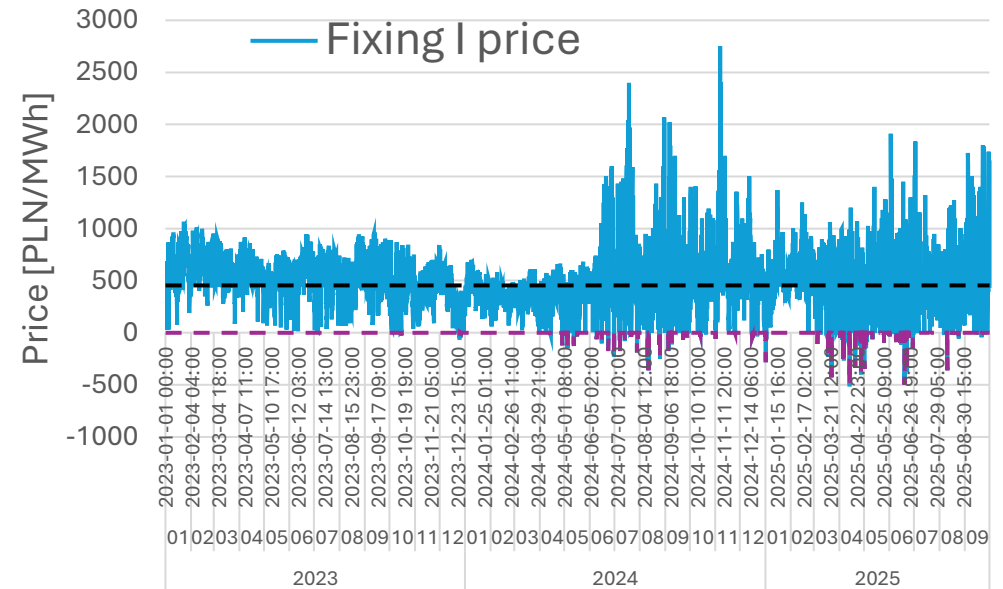


- Moc dyspozycyjna = moc zamówiona – zużycie + generacja OZE + kogeneracja



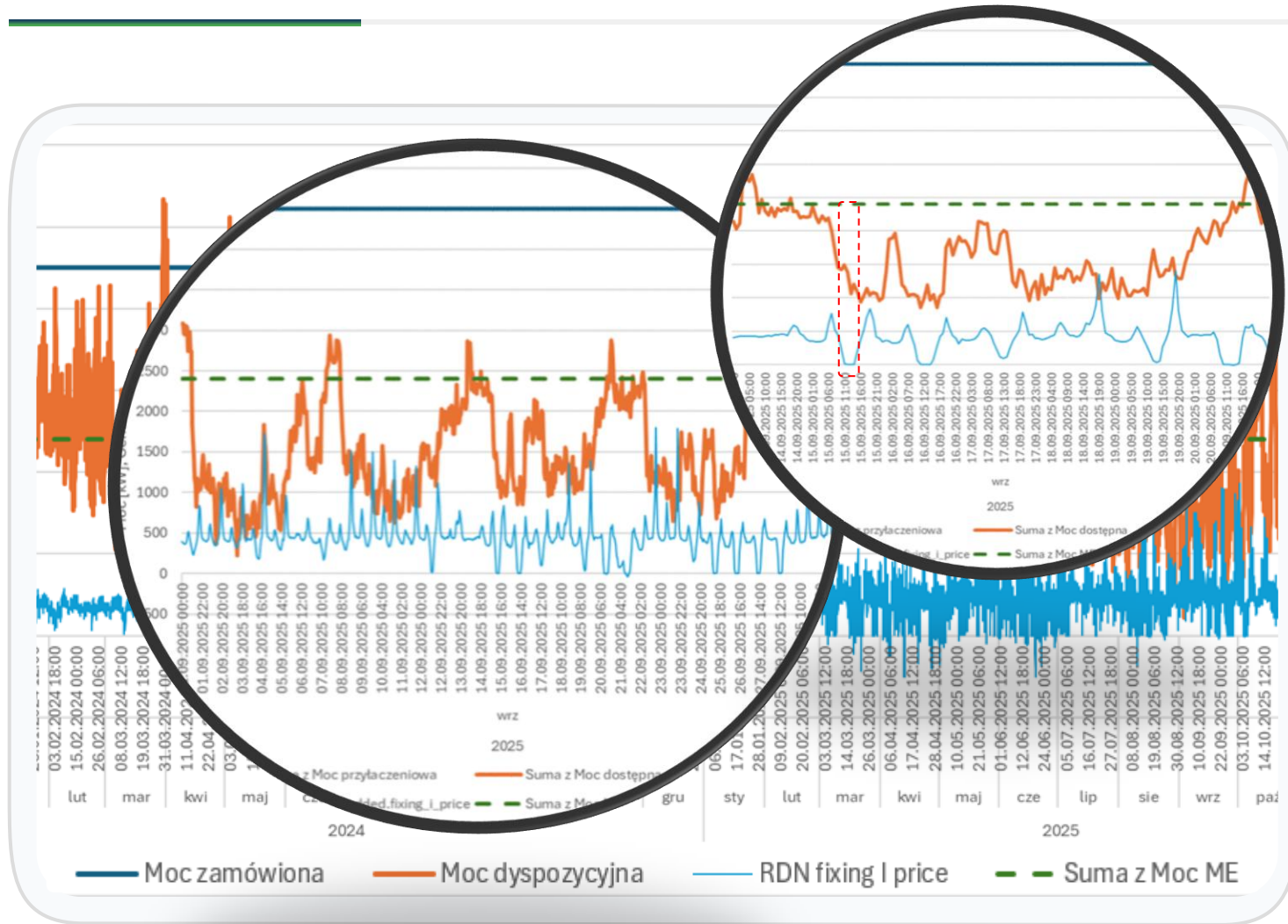
„Łososina”

- Dynamiczne ceny energii



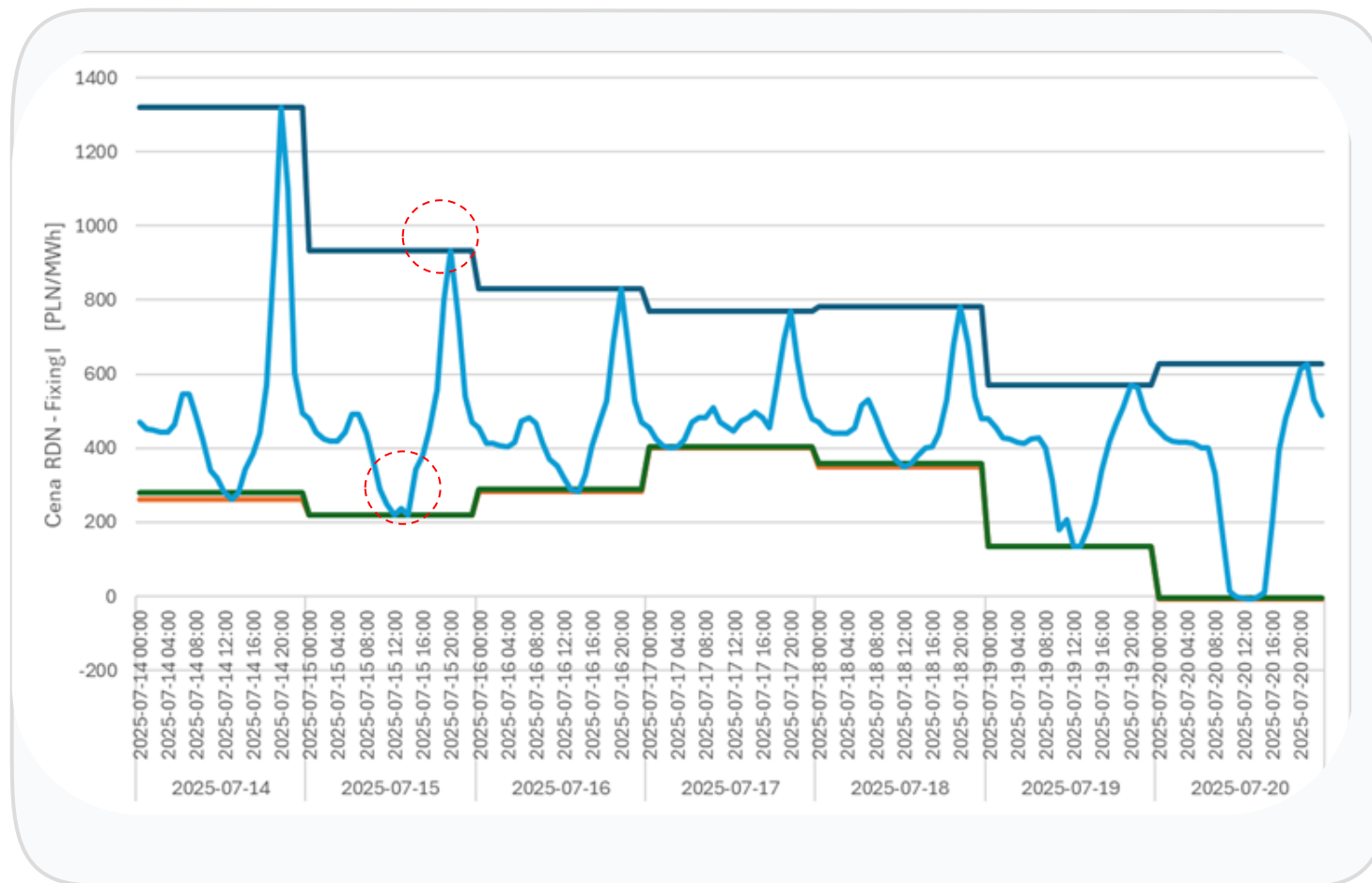
■ Średnia z P\_oddanie ■ Średnia z Kogen ■ Średnia z P\_pobór ■ Średnia z PV ■ Średnia z P1800\_oddanie ■ Średnia z P1800\_pobranie ■ Średnia z K1

# Moc dyspozycyjna układu



- Moc dyspozycyjna (dostępna)
- Koincydencja charakterystyk (cena a moc dostępna)
- Układ potrzebuje kilku godzin do naładowania magazynu energii (ME)
- Ryzyko przekroczeń mocy zamówionej

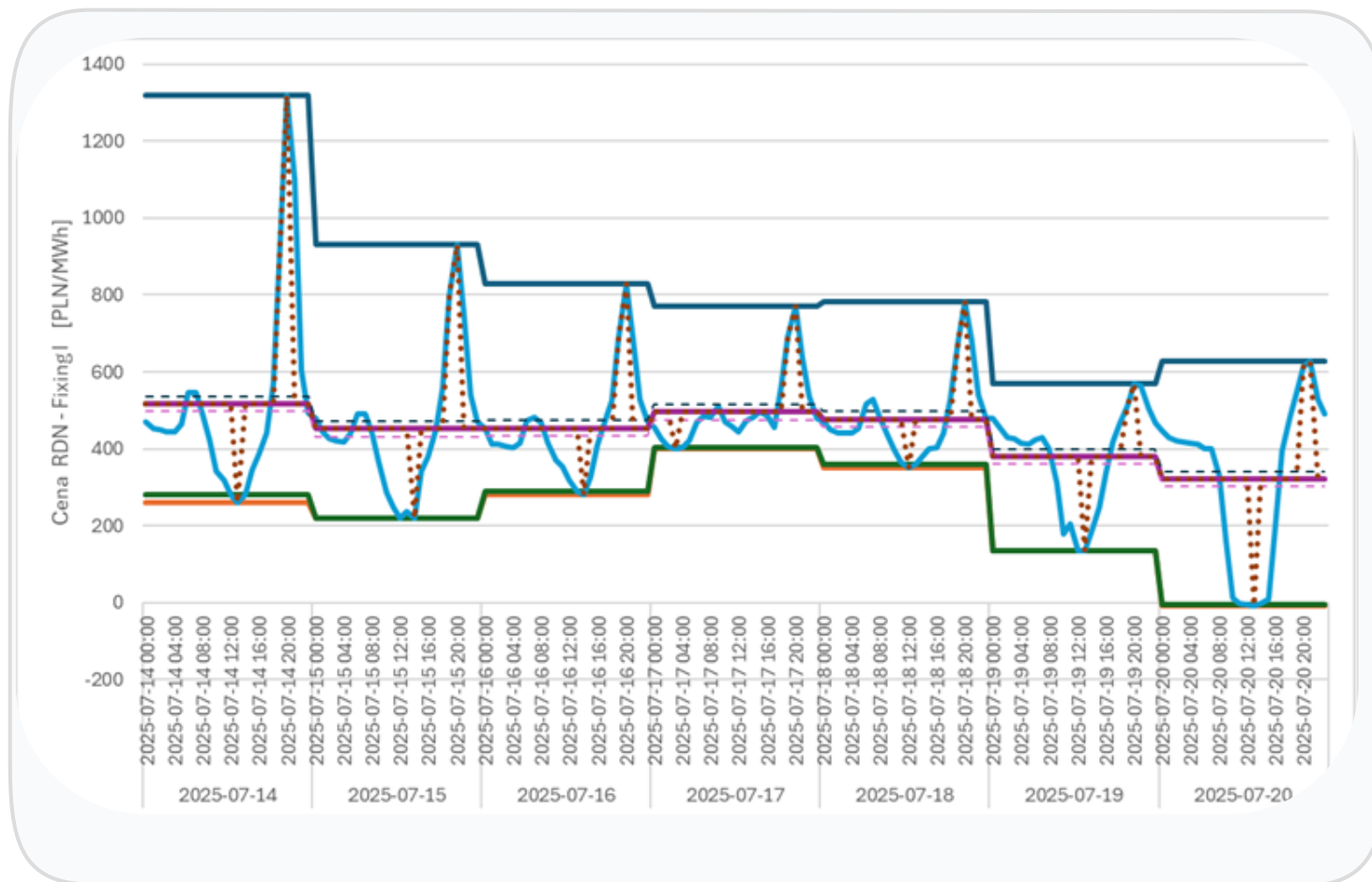
# Algorytm doboru stanów pracy ME



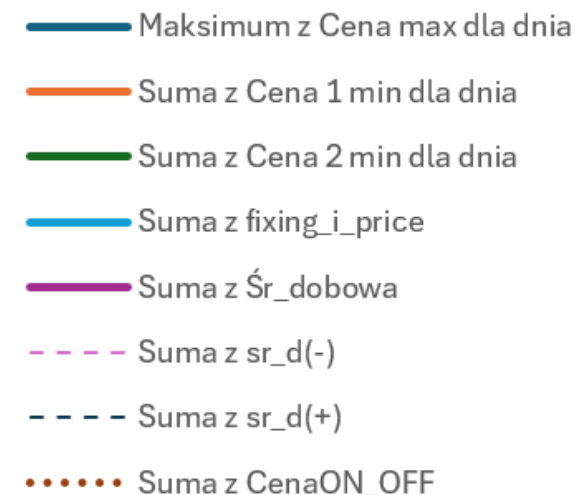
- Zakres zmienności cen: dobowa cena min i max
- Poszukiwanie godzin doby dla cen min i max

- Maksimum z Cena max dla dnia
- Suma z Cena 1 min dla dnia
- Suma z Cena 2 min dla dnia
- Suma z fixing\_i\_price

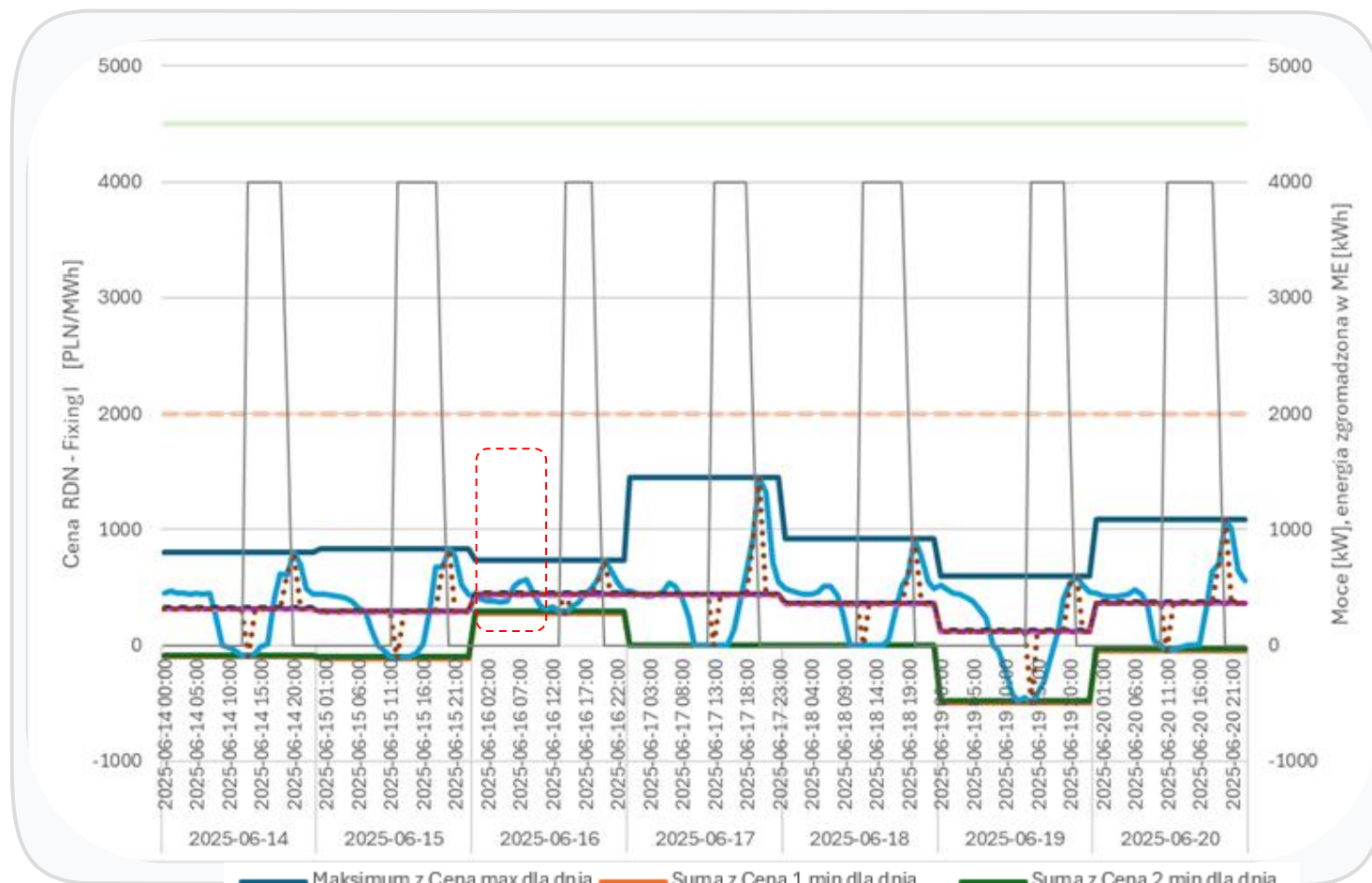
# Algorytm doboru stanów pracy ME



- Średnia jako odcięcie stanów: ładuj/rozładuj
- Identyfikacja godzin skrajnych ON\_OFF

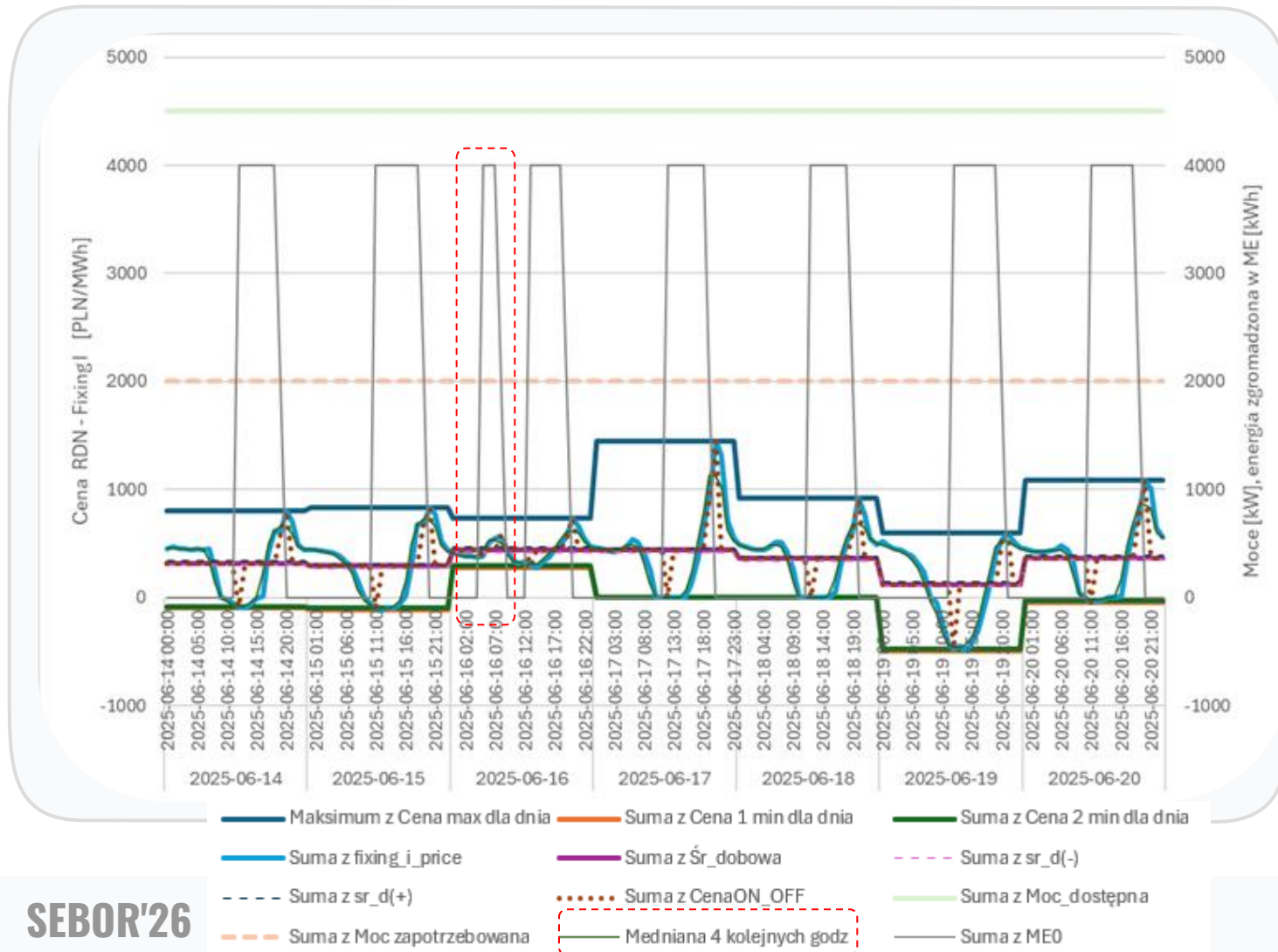


# Algorytm doboru stanów pracy ME

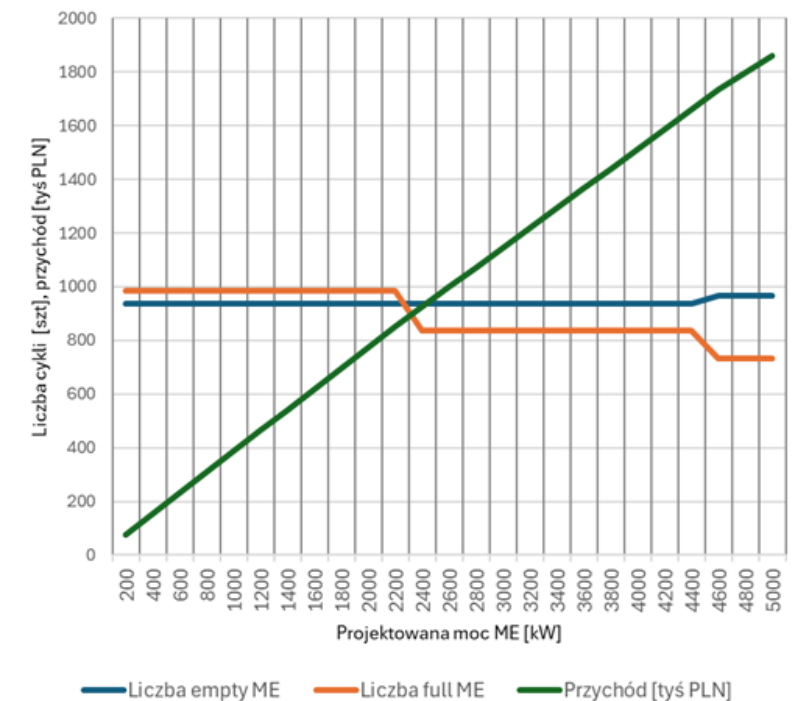


- Ładowanie ME w godzinach min dla doby, np. ceny ujemne – 19/06/2026
- Rozładowywanie ME w godzinach max dla dnia
- Nie wykorzystane cykle

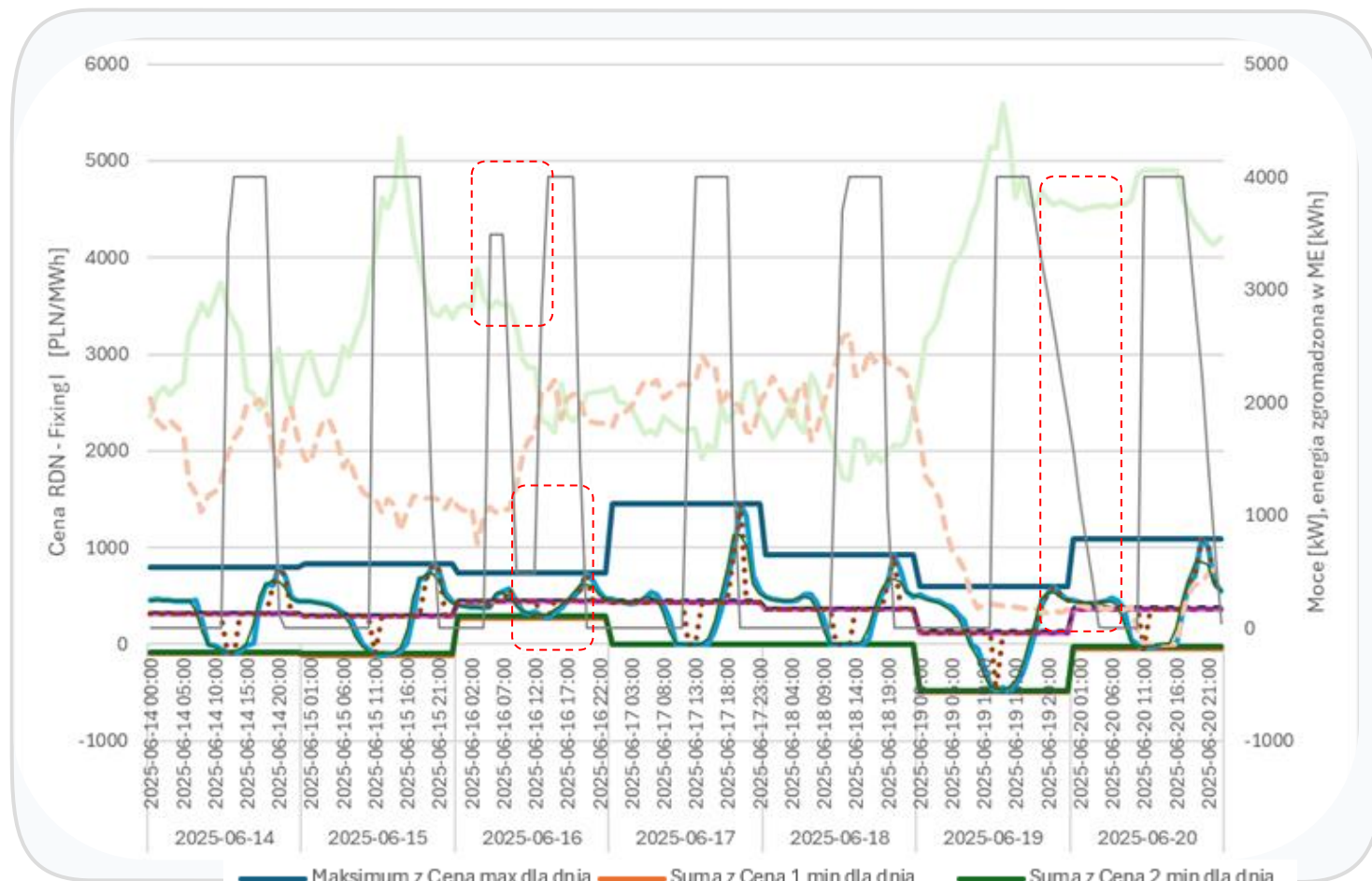
# Wariant pracy ME, bez ograniczeń OSD



- Włączenie do algorytmu „ładuj/rozładuj” parametru mediany kroczącej
- Projektowanie wielkości ME z pełnym dostępem do P4500

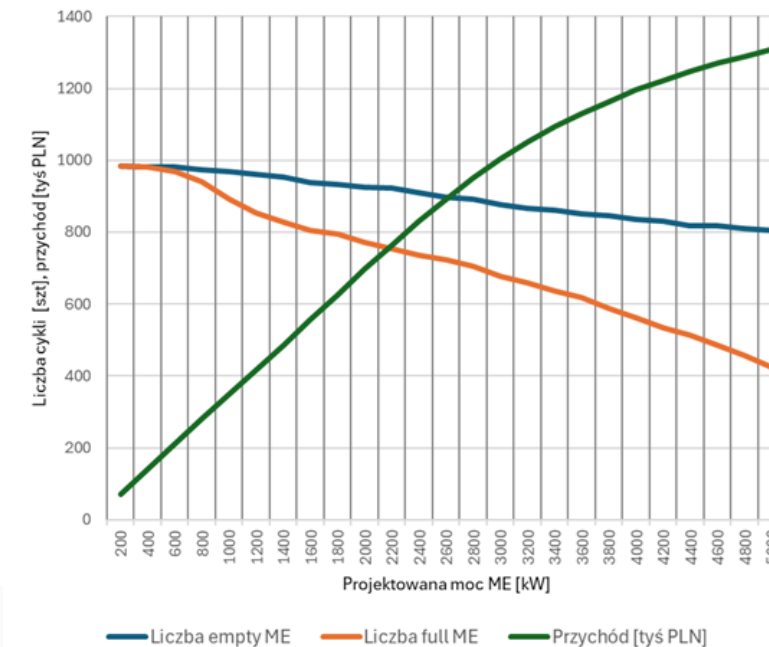


# Wariant pracy ME z mocą dyspozycyjną

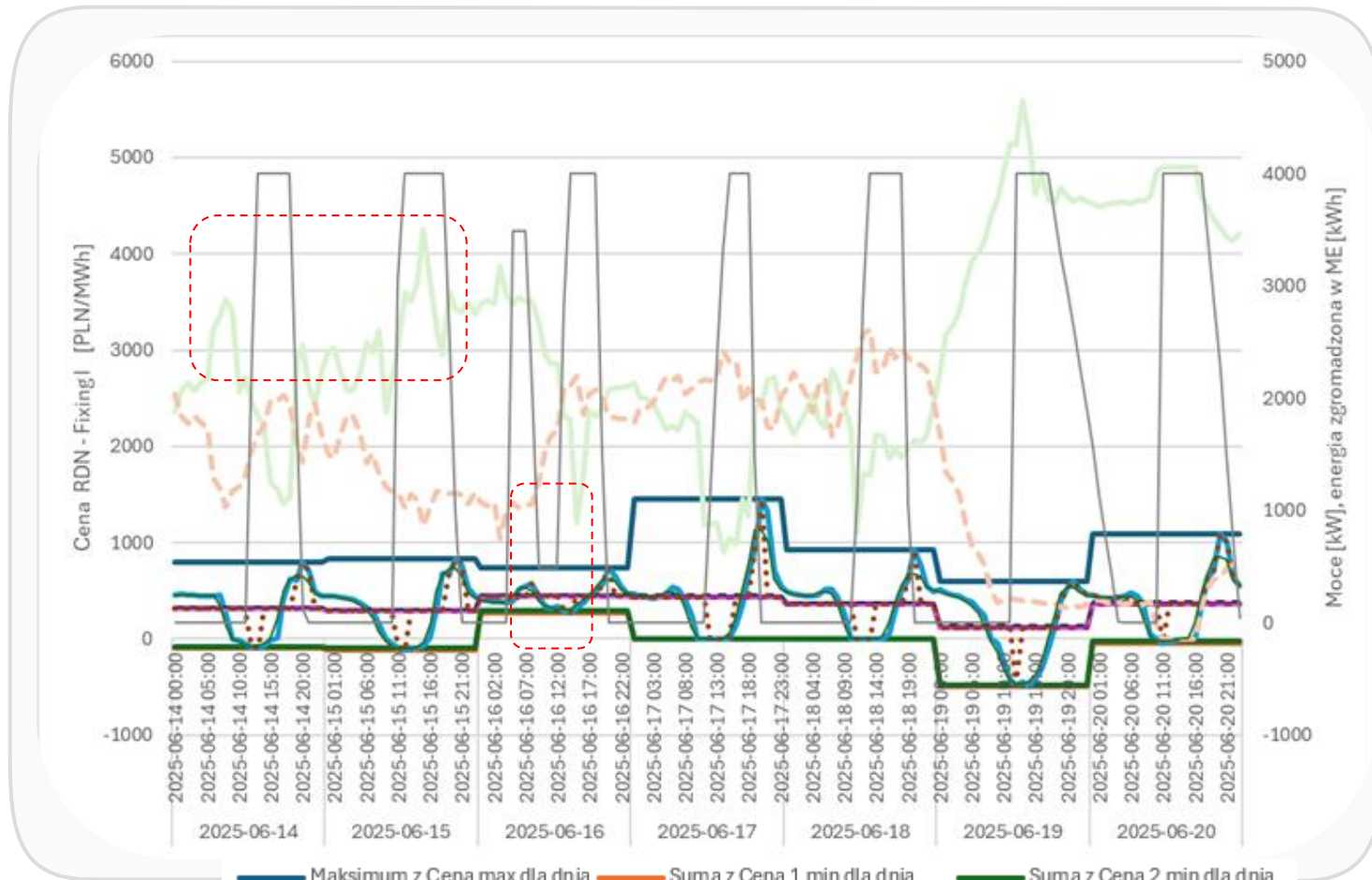


— Maksimum z Cena max dla dnia — Suma z Cena 1 min dla dnia — Suma z Cena 2 min dla dnia  
— Suma z fixing\_i\_price — Suma z Śr\_dobowa — Suma z sr\_d(-)  
- - - Suma z sr\_d(+)  
••••• Suma z CenaON\_OFF — Suma z Moc\_dostepna  
- - - Suma z Moc zapotrzebowana — Medniana 4 kolejnych godz — Suma z ME0

- Obciążenie OSD do poziomu mocy zamówionej
- Czas trwania cykli wydłuża się
- Pojawiają się cykle niepełnego ładowania i rozładowania

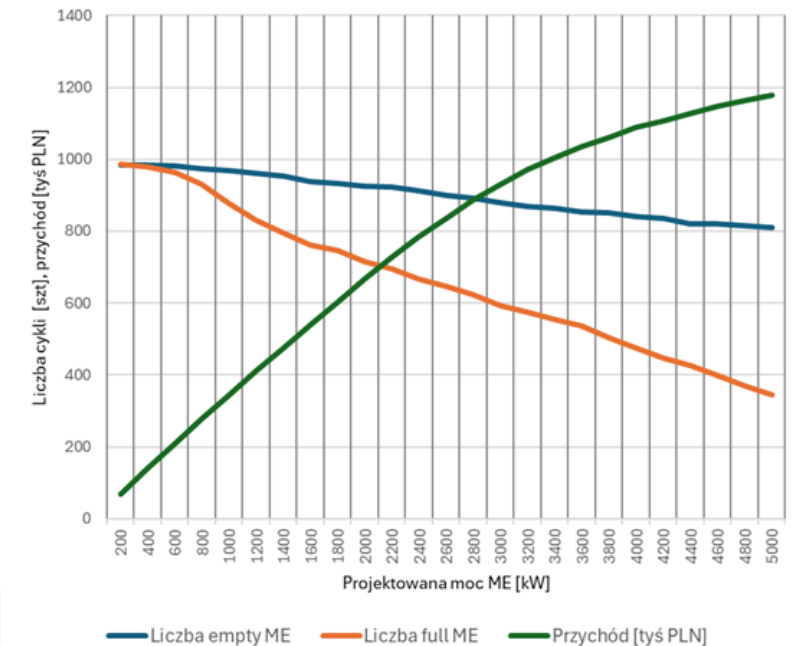


# Wariant pracy ME z modulacją kogeneracji

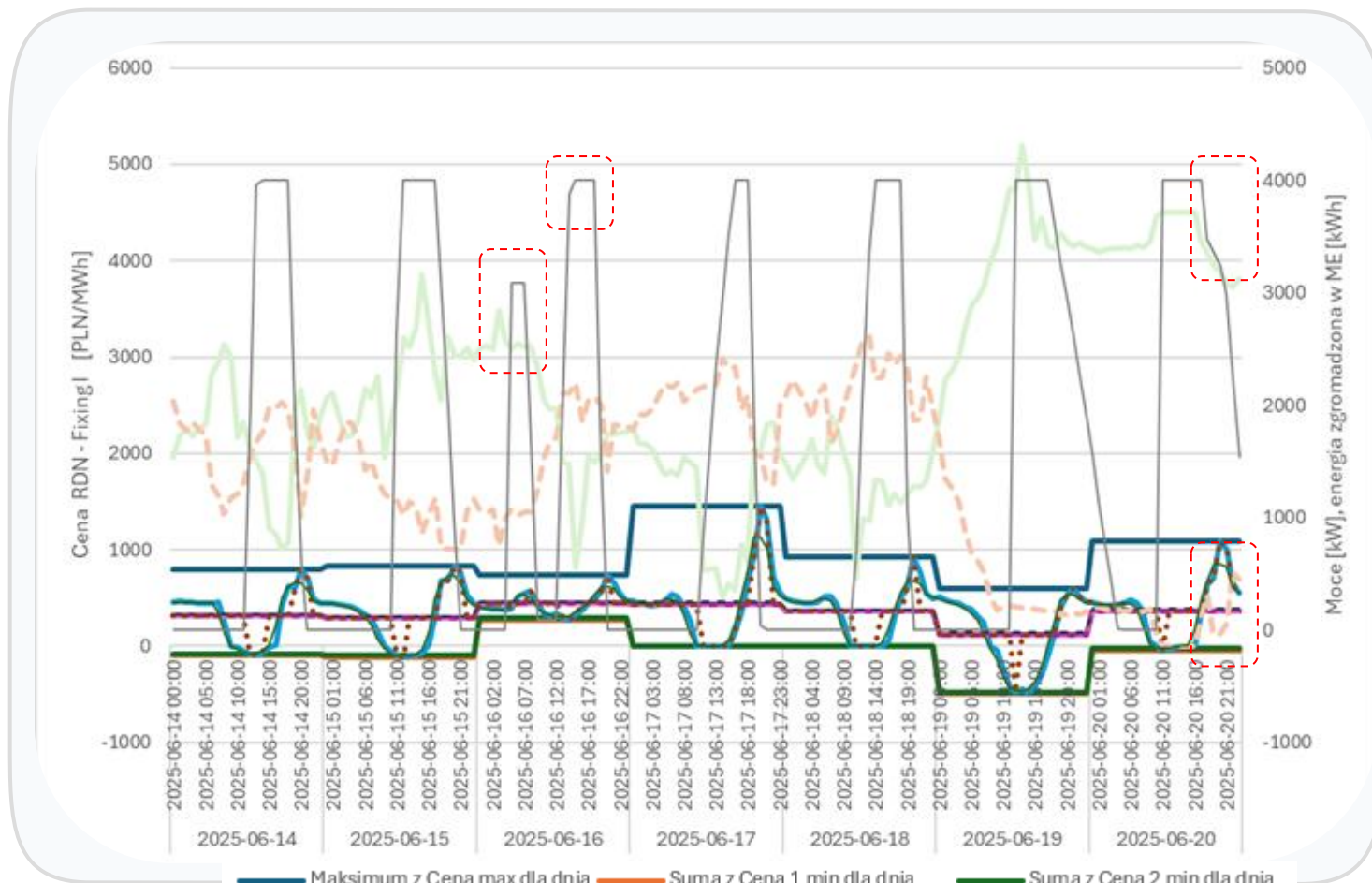


— Maksimum z Cena max dla dnia    — Suma z Cena 1 min dla dnia    — Suma z Cena 2 min dla dnia  
— Suma z fixing\_i\_price    — Suma z Śr\_dobowa    — Suma z Moc\_dostepna  
- - - Suma z sr\_d(+)  
- - - Suma z Moc zapotrzebowana    - - - Suma z CenaON\_OFF    - - - Suma z sr\_d(-)  
— Mediana 4 kolejnych godz    — Suma z ME0

- Zmniejszenie poziomu mocy dyspozycyjnej w okresach ceny RDN fixing I < 300 PLN/MWh
- Czas trwania cykli wydłuża się
- Zmniejsza się liczba cykli FULL

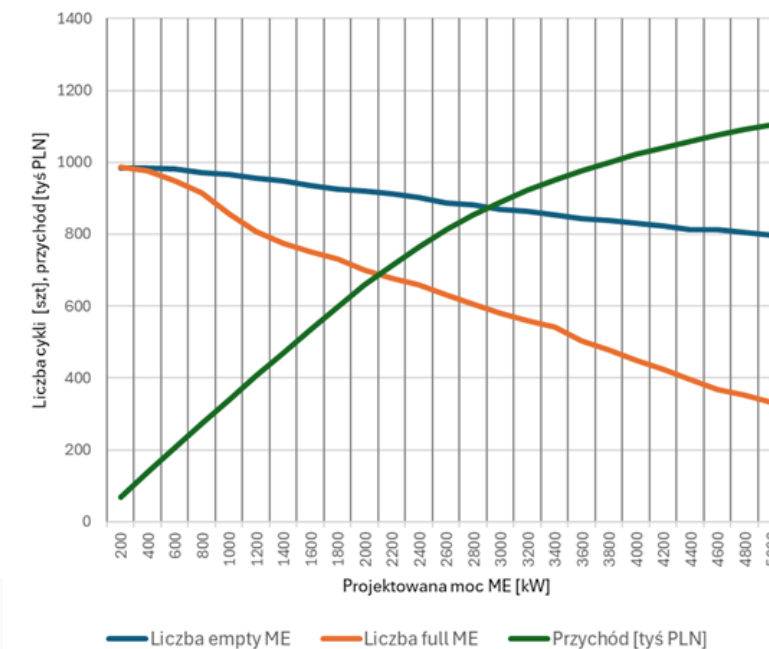


# Wariant pracy ME z aktywnym DSR

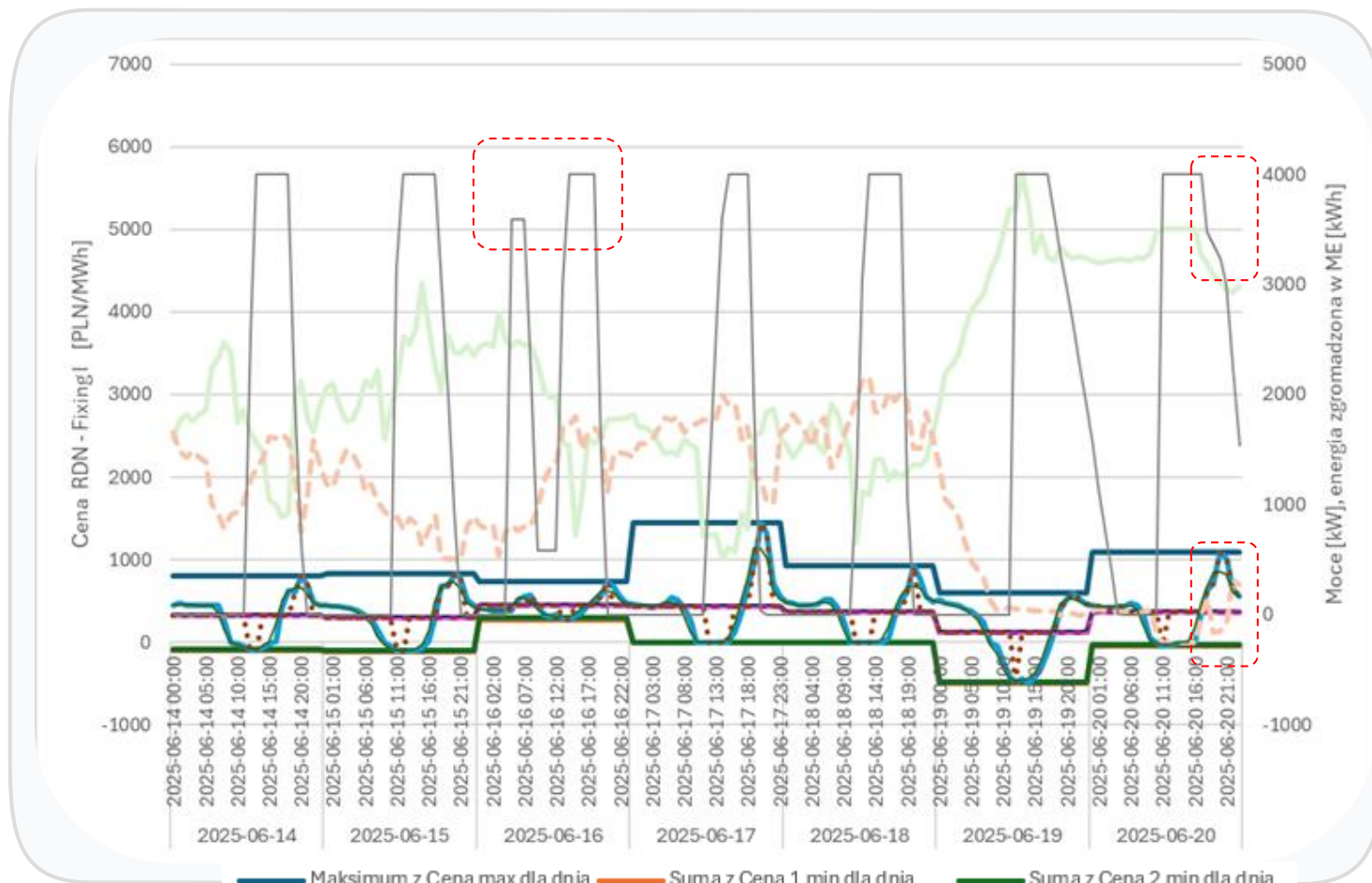


— Maksimum z Cena max dla dnia — Suma z Cena 1 min dla dnia — Suma z Cena 2 min dla dnia  
— Suma z fixing\_i\_price — Suma z Śr\_dobowa — Suma z sr\_d(-)  
- - - Suma z sr\_d(+)  
••••• Suma z CenaON\_OFF — Suma z Moc\_dostepna  
- - - Suma z Moc zapotrzebowana — Medniana 4 kolejnych godz — Suma z ME0

- Zmniejszenie zapotrzebowania o 500 kW w godzinach szczytu cen energii
- Czas trwania cykli wydłuża się
- Delikatny wpływ na przychód

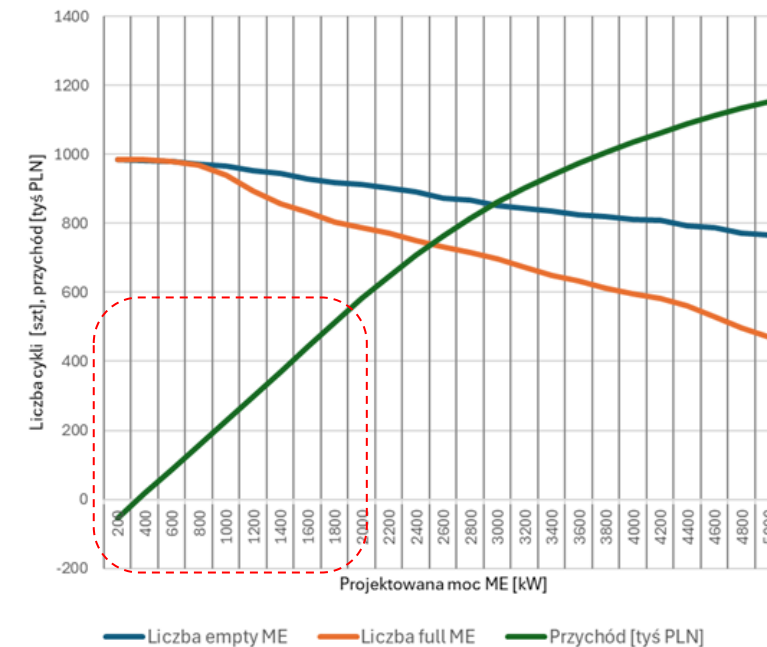


# Wariant pracy ME zwiększenie Pzam



— Maksimum z Cena max dla dnia    — Suma z Cena 1 min dla dnia    — Suma z Cena 2 min dla dnia  
— Suma z fixing\_i\_price    — Suma z Śr\_dobowa    - - - Suma z sr\_d(-)  
- - - Suma z sr\_d(+)  
- - - Suma z Moc zapotrzebowana    - - - Suma z CenaON\_OFF    — Suma z Moc\_dostepna  
— Medniana 4 kolejnych godz    — Suma z ME0

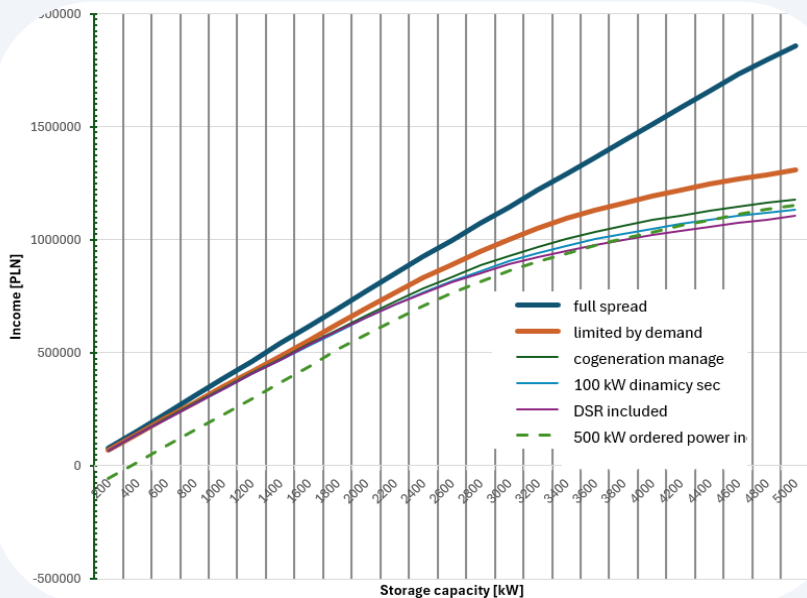
- Zwiększenie mocy zamówionej o 500 kW – zwiększa dostępność mocy dla ME
- Niweluje część ograniczeń
- Obniża przychód dla małych ME



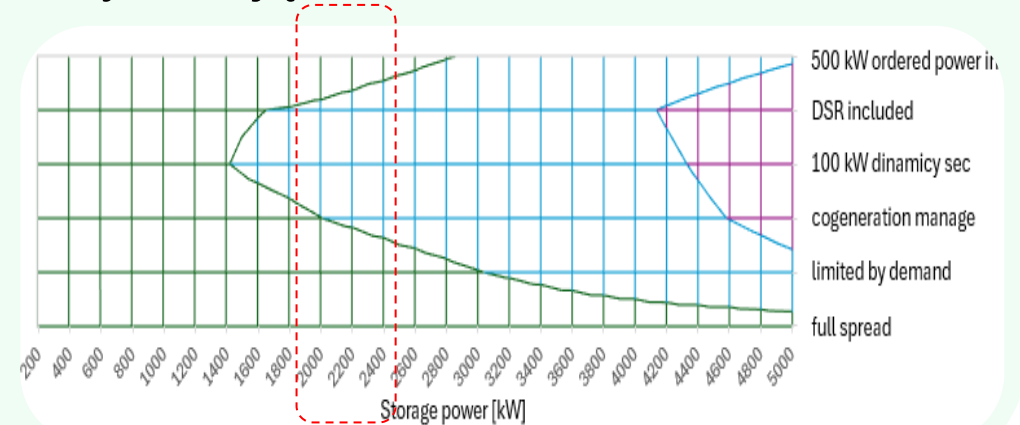
# Dobór wielkości ME i ROI



- Wpływ ograniczeń po stronie mocy dyspozycyjnej odgrywa znaczenie dla mocy ME pow. 1.6 MW



- Dla magazynów ME: 2-2,4MW ograniczenia po stronie obecnego w zakładzie zapotrzebowania nie wpływają istotnie na ROI  $\approx$  2-3 lat
- DSR i modulacja kogeneracją wydłużają okres zwrotu ROI o 1 rok



ROI [years] □ - -1,0 □ 1,00 -2,00 □ 2,00 -3,00 □ 3,00 -4,00 □ 4,00 -5,00

# Wnioski...

---



Planując inwestycję w ME należy uwzględnić:

- charakterystykę popytową zakładu (dobowo godzinową i sezonową)
- zdolności techniczne zakładu do aktywnego zarządzania podażą mocy z własnych źródeł
- zdolności techniczne zakładu do aktywnego udziału w usługach rynkowych (DSR, elastyczności)
- ograniczenia w zakresie zwiększenia mocy zamówionej

Ograniczenie analizy opłacalności ME wyłącznie do różnicy cen EE prowadzi do przeskalowania inwestycji i wydłuża ROI.

W analizach przyjęto:

- 1 mln/1MW – jako średni koszt zakupu magazynu energii wraz kosztami instalacji
- C-Rate (Charging/Discharging Rate) = 1C vs 0.5C (ładowanie pełną mocą rozładowywanie połową mocy)

Nie uwzględniono specyficznych ograniczeń konkretnego producenta ME, jak:

- RTE (Round-Trim Efficiency) – sprawność „ładowanie -> rozładowanie (typowo 88-95%)
- SOH (State of Health) – kondycja baterii, degradację baterii w czasie
- DiD (Depth of Discharge) – głębokość rozładowania baterii (np.. baterie LiFePO<sub>4</sub> DoD <=80-90%)
- SoC (State of Charge) – utrzymywanie stanu pełnego naładowania, wpływa na degradację chemiczną ogniw

# Pytania...

---

?





# Dziękuję za uwagę

---

- Dr inż. Dariusz Bober
  - [dbober@ur.edu.pl](mailto:dbober@ur.edu.pl)

# Manualne modulowanie kogeneracji



1	458,93		350	397,2	338,6	455	448,20	450,00	400,00	376,00
2	425		336	373,8	313	406	410,00	398,00	385,18	360,00
3	404		320	366	313	408,99	375,00	386,00	379,01	428,99
4	403,75		320	370	313	402	375,00	380,00	363,10	364,00
5	410,91	praca kogeneracji	350	372	313	412,3	394,00	385,23	366,00	378,00
6	460,11	praca kogeneracji	396	376	368	446,3	400,00	420,00	371,30	466,30
7	644		504	396	513,31	584,85	495,00	580,00	489,59	527,00
8	690		515,31	392,8	546,9	700	561,10	645,79	624,94	591,00
9	608		500	372,7	508	647	474,00	593,29	616,54	511,00
10	500,4		390	271	479,6	503	444,00	501,09	567,36	446,40
11	413		250	125	425	447	327,00	443,10	471,80	398,00
12	343	wyłączenie kogeneracji	164	0,01	385,4	427	290,00	443,10	437,80	369,00
13	303,99	wyłączenie kogeneracji, maksymalizacja zużycia energii	74,99	-10	356	409	270,00	401,99	386,00	289,00
14	281,99	wyłączenie kogeneracji, maksymalizacja zużycia energii	49,99	-22,77	371,7	394	270,00	441,95	366,00	235,00
15	338,57		74,99	-0,9	366,92	379	267,22	434,00	370,00	225,00
16	390		150	70,5	391,72	409	320,97	442,00	390,85	399,00
17	475,56	praca kogeneracji	341,97	287,99	429	493,4	448,00	443,10	437,80	513,40
18	789	praca kogeneracji, ograniczenie zużycia energii	500	494	513,86	710	588,00	453,68	527,63	690,00
19	1334,4	praca kogeneracji, ograniczenie zużycia energii	730,4	620	570	900	750,00	480,00	613,60	895,00
20	1800		1119	690	749,88	1 700,00	1500,00	519,00	659,10	1125,00
21	1350		764,89	611,3	668,16	1 140,00	999,00	469,00	583,82	740,00
22	649		509	480,78	503,74	680	590,00	396,50	460,00	486,00
23	490,1	praca kogeneracji	440	407	430	490	523,15	350,00	408,36	429,00
24	420,89		396	371,7	370	400	446,50	290,00	350,00	400,00

