



BESS
A CHŁONNOŚĆ
POLSKIEGO RDN
Q4 2025

02.01.2026

dr inż. Paweł Włoch

O ENERGYAI

NINIEJSZA ANALIZA ZOSTAŁA PRZYGOTOWANA Z WYKORZYSTANIEM DANYCH ORAZ SILNIKA ANALITYCZNEGO **ENERGYAI** — PLATFORMY TYPU SAAS, KTÓRA WYKORZYSTUJE ALGORYTMY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI I UCZENIA MASZYNOWEGO DO MODELOWANIA ORAZ ANALIZY FUNKCJONOWANIA POLSKIEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO I RYNKÓW ENERGII.

ENERGYAI UMOŻLIWIA INWESTOROM, WYTWÓRCOM ORAZ TRADEROM GŁĘBSZE SPOJRZENIE NA RYNEK, LEPSZE PRZEWIDYWANIE JEGO ZACHOWAŃ ORAZ PODEJMOWANIE BARDZIEJ ŚWIADOMYCH DECYZJI INWESTYCYJNYCH.

PLATFORMA WSPIERA RÓWNIEŻ SAMORZĄDY, PODMIOTY PRYWATNE ORAZ PRZEDSIĘBIORSTWA W PODEJMOWANIU BARDZIEJ RACJONALNYCH DECYZJI DOTYCZĄCYCH DZIAŁAŃ UKIERUNKOWANYCH NA OBNIŻENIE KOSZTÓW ZAKUPU ENERGII ELEKTRYCZNEJ.

PLATFORMA DOSTĘPNA JEST POD ADRESEM: WWW.ENERGYAI.PL

DOSTĘP KOMERCYJNY OFEROWANY JEST W FORMIE MIESIĘCZNEJ SUBSKRYPCJI.

SERDECZNIE ZAPRASZAM DO WSPÓŁPRACY.

DR INŻ. PAWEŁ WŁOCH

Spis treści

1. Streszczenie dla decydentów (Executive summary)	2
2. Co dokładnie policzono (metodyka w skrócie)	2
3. Wyniki: interpretacja 4 wykresów	3
Wykres 1: Boxplot Δ spread vs V_{buy} (zmiana spreadu po dniach)	3
Wykresy 2–3: Dopasowane krzywe Gaussa dla Δ spread (3D i 2D overlay)	5
Wykres 4: Spread retention vs V_{buy} (mediana oraz 25–75% po dniach)	8
4. Kontekst rynkowy: dlaczego to ma znaczenie teraz	10
4.1. Rynek połączony (MultiNEMO) a głębokość lokalna	10
4.2. Usługi elastyczności: ryzyko single-buyer	10
4.3. Potencjał migracji wolumenów między rynkami	10
4.4. Usługi elastyczności i ryzyko single-buyer	10
5. Wnioski strategiczne: co to znaczy dla BESS “standalone”	11

Okres analizy: Q4 2025 (analiza historyczna na danych rynkowych)

Cel: ocena wpływu pojawienia się dodatkowego, „must-charge/discharge” wolumenu BESS na ceny i trwałość spreadu arbitrażowego.

1. Streszczenie dla decydentów (Executive summary)

W analizie przeprowadzono historyczny „replay” rynku dnia następnego w Polsce, symulując pojawienie się dodatkowego wolumenu po stronie zakupu i sprzedaży charakterystycznego dla BESS realizującego arbitraż dobowy. Wyniki pokazują, że rynek DAM jest wrażliwy na dodatkowy wolumen, a spread arbitrażowy szybko ulega kompresji wraz ze wzrostem wolumenu transakcji.

Najważniejsze wnioski:

- Już relatywnie niewielki wolumen (rzędu setek MW) istotnie redukuje spread – co oznacza szybkie „kanibalizmu” marży arbitrażowej przy rosnącej penetracji BESS.
- Dla większych wolumenów rynek wchodzi w reżim, w którym część dni traci spread niemal do zera, a w skrajnych przypadkach spread może się odwracać (czyli arbitraż staje się nieopłacalny z definicji w danym dniu).
- W praktyce oznacza to, że podejście BESS „standalone” oparte na arbitrażu DAM jest kruche i silnie zależne od otoczenia rynkowego oraz regulacyjnego. Wymaga stabilnego „revenue stack” i/lub alternatywnych zastosowań BESS.

Raport nie jest argumentem przeciw BESS, tylko wskazaniem, że przy zapowiadanych w Polsce wolumenach (GW) arbitraż może nie spełnić oczekiwań w horyzoncie kilku najbliższych lat.

2. Co dokładnie policzono (metodyka w skrócie)

Analiza odpowiada na pytanie: jak zmieni się punkt równowagi i spread cenowy, jeśli na rynku pojawi się dodatkowy wolumen transakcyjny „zawsze chcący się rozładować/naładować”.

Dla każdego dnia:

1. Na podstawie krzywych zagregowanych dla każdego dnia kwartału 4 2025 roku wyznaczono:
 - godzinę z najniższą ceną (kupno) oraz godzinę z najwyższą ceną (sprzedaż),
 - nominalne ceny clearingowe (bez dodatkowego wolumenu) i nominalny spread.
2. Następnie zasymulowano dodatkowy wolumen:
 - po stronie zakupu (V_{buy}),
 - po stronie sprzedaży ($V_{\text{sell}} = 0.85 \times V_{\text{buy}}$).
3. Ponownie wyznaczono ceny przełamania i spread po „dociążeniu” rynku wolumenem BESS.
4. Zbudowano metryki:

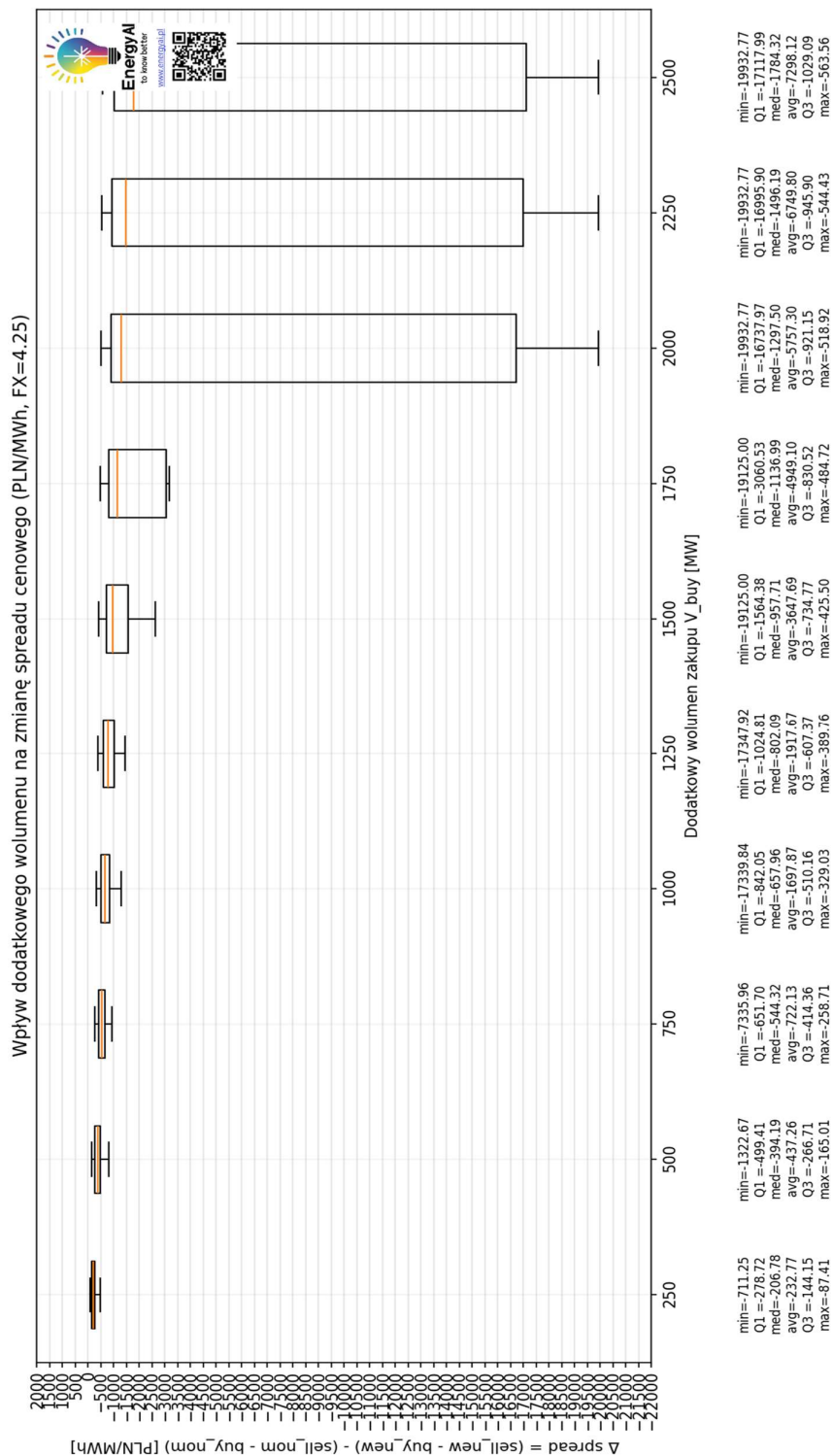
- $\Delta\text{spread} = (\text{spread_new} - \text{spread_nominal})$ – pokazuje bezwzględny spadek spreadu (EUR/MWh),
- $\text{Spread retention} = \text{spread_new} / \text{spread_nominal}$ – pokazuje, jaka część pierwotnego spreadu zostaje (jednostka bezwymiarowa).

3. Wyniki: interpretacja 4 wykresów

Wykres 1: Boxplot Δspread vs V_{buy} (zmiana spreadu po dniach)

Boxplot pokazuje rozkład dziennych zmian spreadu po dodaniu wolumenu.

Wynik jest jednoznaczny: Δspread jest ujemny dla wszystkich wolumenów – dodatkowy wolumen konsekwentnie kompresuje spread.



Wykres 1. Wykres pudełkowy, prezentujące wartości min, max, kwartyl 1 i 3 oraz wartość średnią dla dobowego spreadu przy wzroście wolumenu must clear/must load.

Co ważne:

- dla małych wolumenów kompresja jest „umiarkowana i stabilna” (mniejszy rozrzut),
- wraz ze wzrostem V_{buy} pojawiają się dni skrajne, w których spread jest niemal wygaszony lub „przestrzelony”, co znacząco zwiększa ryzyko operacyjne i finansowe strategii opartej o arbitraż.

Wniosek inwestorski: price impact jest realny już na poziomach setek MW. To wskazuje, że rosnąca liczba BESS będzie konkurować o tę samą, ograniczoną „pulę” spreadu na rynku.

Wykresy 2–3: Dopasowane krzywe Gaussa dla $\Delta spread$ (3D i 2D overlay)

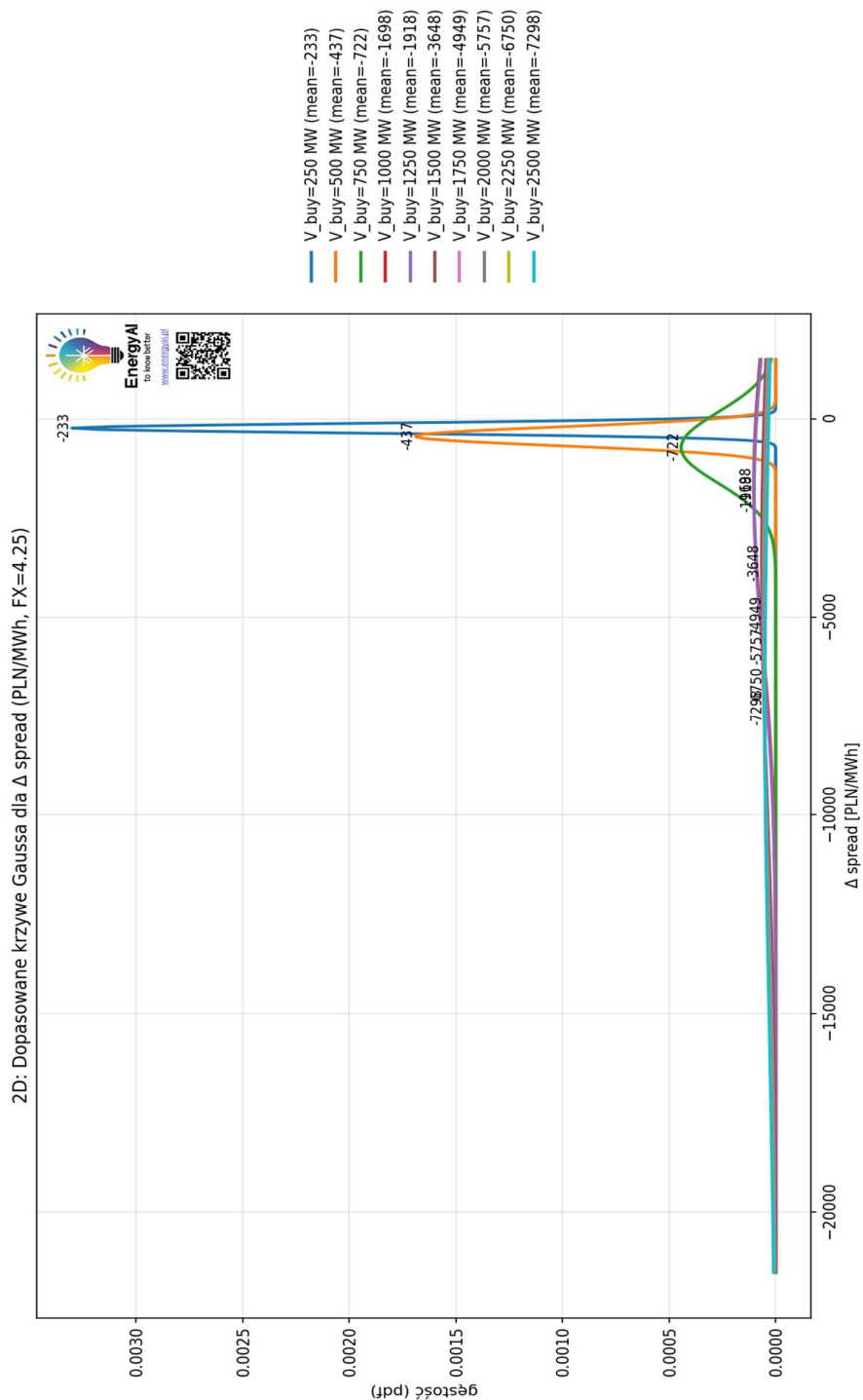
Krzywe Gaussa (dopasowanie mean/std) są tu narzędziem wizualnym, pokazującym:

- gdzie koncentrują się typowe wartości $\Delta spread$ dla danego wolumenu (średnia),
- jak szeroki jest rozkład (zmiennosc efektu price impact),
- jak rośnie udział ogonów przy większym wolumenie.

Obserwacje:

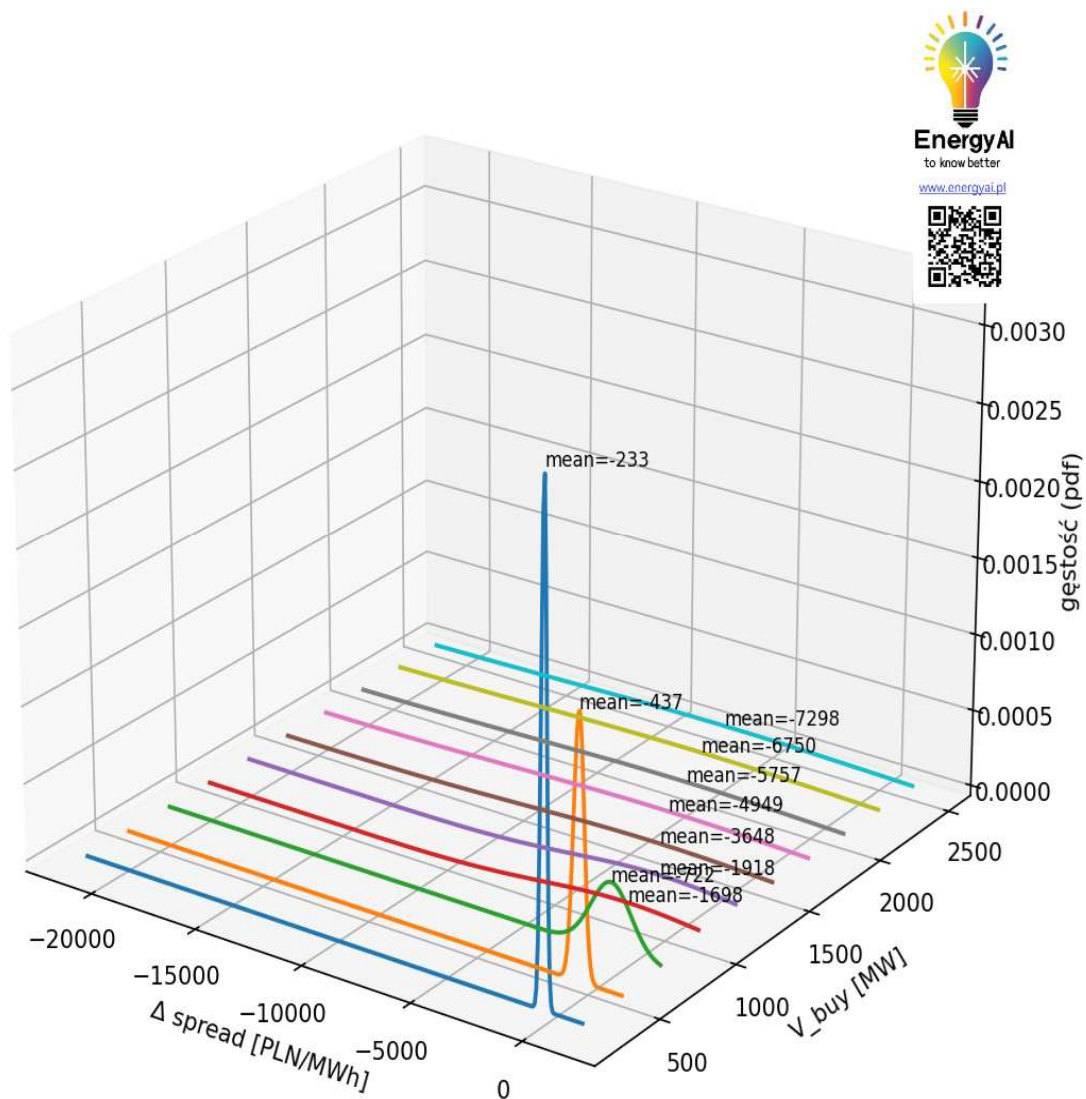
- dla mniejszych V_{buy} rozkład jest bardziej „skupiony” (wąskie, wysokie piki) → rynek reaguje bardziej przewidywalnie,
- dla większych V_{buy} rozkład przesuwa się w stronę silnie ujemnych wartości oraz spłaszcza → rośnie zmienność i udział dni „bardzo złych”.

Wniosek inwestorski: wraz ze wzrostem wolumenu rośnie nie tylko średnia kompresja spreadu, ale też ryzyko ogonowe (dni, które psują wynik roczny). To jest kluczowe dla DSCR (Debt Service Coverage Ratio – Wskaźnik Pokrycia Obsługi Długu) i bankowości.



Wykres 2. Rozkłady Gaussa 2D dla kolejnych wolumenów must clear/must load.

3D: Dopasowane krzywe Gaussa dla Δ spread (PLN/MWh, FX=4.25)



Wykres 3. Rozkłady Gaussa 3D dla kolejnych wolumenów must clear/must load.

Wykres 4: Spread retention vs V_buy (mediana oraz 25–75% po dniach)

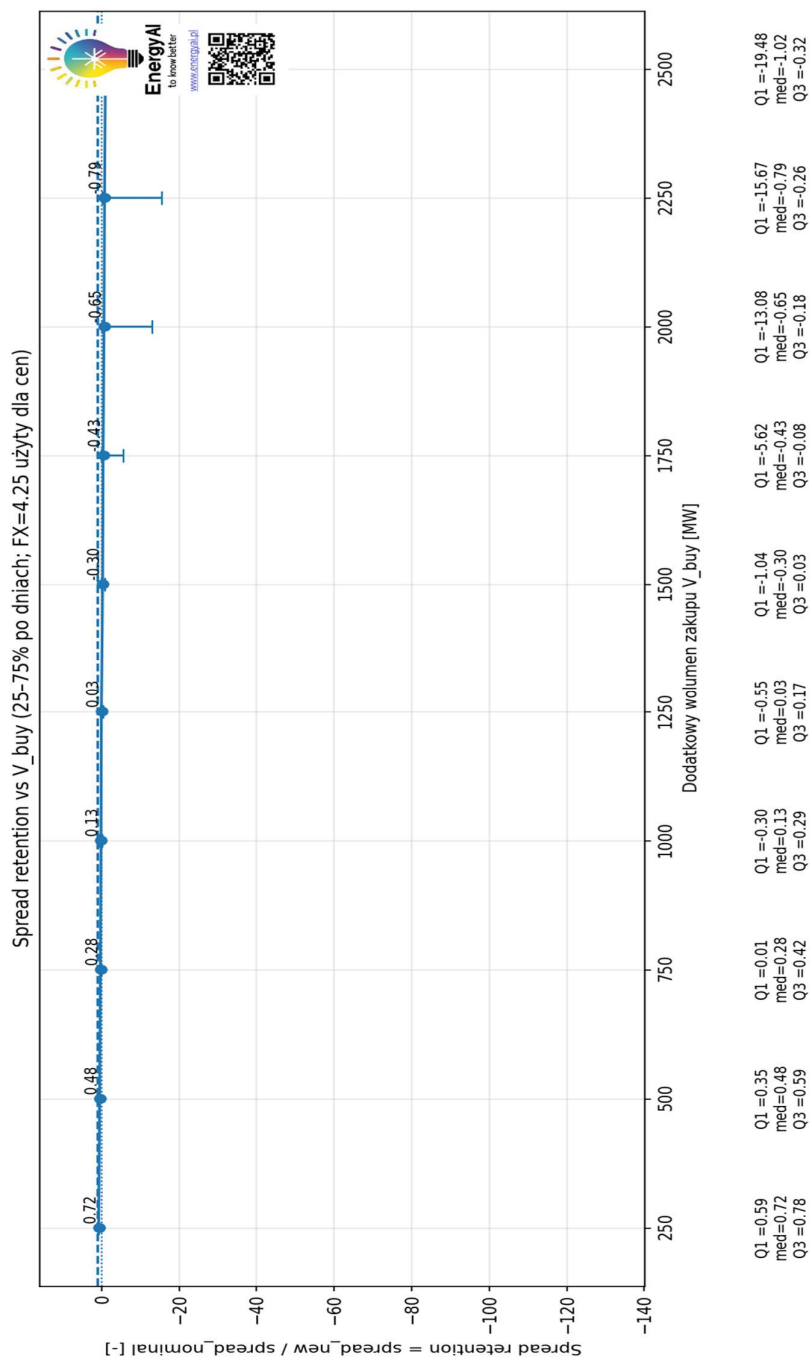
To metryka najbardziej „decyzyjna”, bo przekłada wyniki na prostą interpretację: jaka część pierwotnego spreadu zostaje po wejściu dodatkowego wolumenu.

Interpretacja:

- retention bliskie 1.0 → arbitraż w dużej mierze “przetrwiał”,
- retention ~0.5 → arbitraż stracił połowę marży,
- retention ~0 → spread został wyzerowany,
- retention <0 → spread został odwrócony (rynek “przestrzelony” przez wolumen).

Wynik pokazuje typową (medianową) trajektorię: retention spada szybko wraz z V_buy, a przy większych wolumenach rośnie rozrzut (IQR – Interquartile Range, Rozstęp Międzykwartyłowy), co oznacza, że rynek częściej zachowuje się “niekorzystnie” dla arbitrażu.

Wniosek inwestorski: przy rosnącej penetracji BESS arbitraż DAM ma charakter “malejących przychodów krańcowych” i jest narażony na szybkie wygaszanie.



Wykres 4. Spread retention dla kolejnych wolumenów must clear/must load.

4. Kontekst rynkowy: dlaczego to ma znaczenie teraz

4.1. Rynek połączony (MultiNEMO) a głębokość lokalna

Ważnym aspektem wpływającym na głębię handlu na rynkach SPOT jest fakt, iż w Polsce mamy do czynienia z tzw. multi-NEMO czyli kilkoma wyznaczonymi operatorami rynków energii. Skutkuje to rozdzieleniem całkowitego wolumenu ofert na trzy giełdy energii.

4.2. Usługi elastyczności: ryzyko single-buyer

W modelu przychodów BESS rośnie znaczenie usług systemowych, ale występuje tu naturalna koncentracja popytu po stronie operatora systemu przesyłowego (TSO). Oznacza to:

- ryzyko zmian zasad i produktów,
- ryzyko zmian wolumenów i cen referencyjnych,
- ryzyko “regulatory rewrite”.

Wniosek: jeśli arbitraż się kompresuje (co pokazuje analiza), ciężar przychodów przesuwają się na inne segmenty, a wtedy ryzyko koncentracji kupującego staje się krytyczne.

4.3. Potencjał migracji wolumenów między rynkami

Istotnym ograniczeniem potencjału arbitrażu jest fizyczny charakter rynków energii elektrycznej. Rynki dnia następnego (DAM), intraday (ID) oraz bilansujący (RB) nie są rynkami finansowymi, lecz rynkami fizycznej dostawy energii w ściśle określonych przedziałach czasowych. Oznacza to, że wolumeny nie mogą swobodnie migrować pomiędzy segmentami rynku, lecz są ograniczone rzeczywistym profilem wytwarzania i konsumpcji energii. W konsekwencji rozwój jednego segmentu rynku nie prowadzi automatycznie do wzrostu płynności i głębokości pozostałych. Brak elastycznego, rosnącego popytu zdolnego do absorpcji dodatkowych wolumenów powoduje, że zwiększanie podaży – w tym poprzez aktywa magazynowe – nie przekłada się liniowo na wzrost potencjału arbitrażowego. Sama podaż, bez równoległego rozwoju strony popytowej, prowadzi raczej do kompresji spreadów niż do ich trwałego rozszerzenia.

4.4. Usługi elastyczności i ryzyko single-buyer

Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest struktura rynku usług elastyczności, w której operator systemu przesyłowego (PSE) pełni de facto rolę single buyer. W przeciwieństwie do rynków energii, gdzie popyt i podaż są rozproszone pomiędzy wielu uczestników, rynek usług systemowych charakteryzuje się wysoką koncentracją popytu po jednej stronie. Oznacza to, że przychody z tego segmentu są w istotnym stopniu uzależnione od decyzji jednego podmiotu – zarówno w zakresie wolumenów, produktów, jak i mechanizmów wynagradzania. W praktyce przekłada się to na podwyższone ryzyko regulacyjne i kontraktowe, obejmujące zmiany zasad kwalifikacji, redefinicję produktów elastyczności, modyfikację cen referencyjnych oraz okresową nieciągłość dostępnych przychodów. W sytuacji, gdy arbitraż rynkowy ulega kompresji, a usługi elastyczności przejmują rolę głównego źródła stabilizacji cash flow, koncentracja popytu po stronie PSE staje się jednym z kluczowych ograniczeń bankowości projektów BESS.

5. Wnioski strategiczne: co to znaczy dla BESS “standalone”

Ta analiza nie „dyskwalifikuje” BESS — pokazuje natomiast, że BESS standalone oparty o arbitraż DAM jest wrażliwy na rynek i regulacje. W miarę wzrostu mocy BESS:

- spada oczekiwana marża arbitrażowa,
- rośnie zmienność wyniku,
- rośnie potrzeba zabezpieczenia innych źródeł przychodów i/lub innych zastosowań.

Rekomendacja wysokiego poziomu:

- traktować DAM-arbitraż jako jeden z elementów, nie fundament modelu,
- projektować portfel i operacje pod multi-market / multi-service dispatch oraz zastosowania, które nie konkurują wyłącznie o ten sam spread.