

Zarządzanie magazynami energii z wykorzystaniem sztucznej inteligencji

Michał Jaśkiewicz

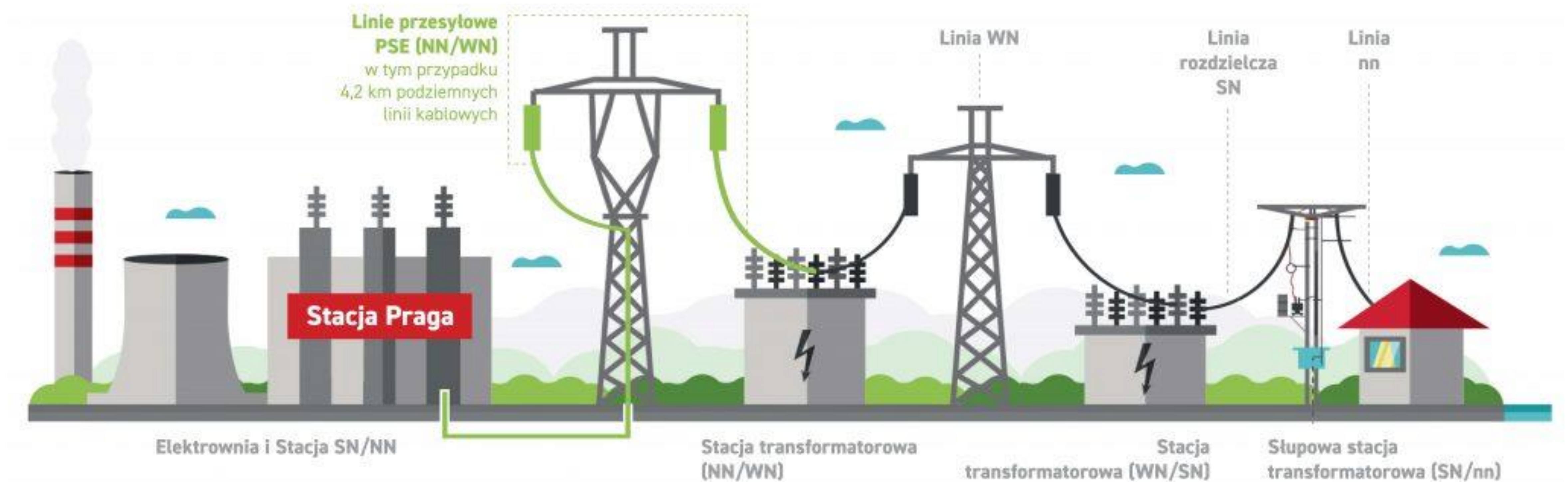
19.03.2025

Brighter Future
in Energy

TKgroup



Przeszły krajowy system elektroenergetyczny



Źródło: PSE

Obecny krajowy system elektroenergetyczny

Elektrownie wodne : Lata 70 XX wieku.

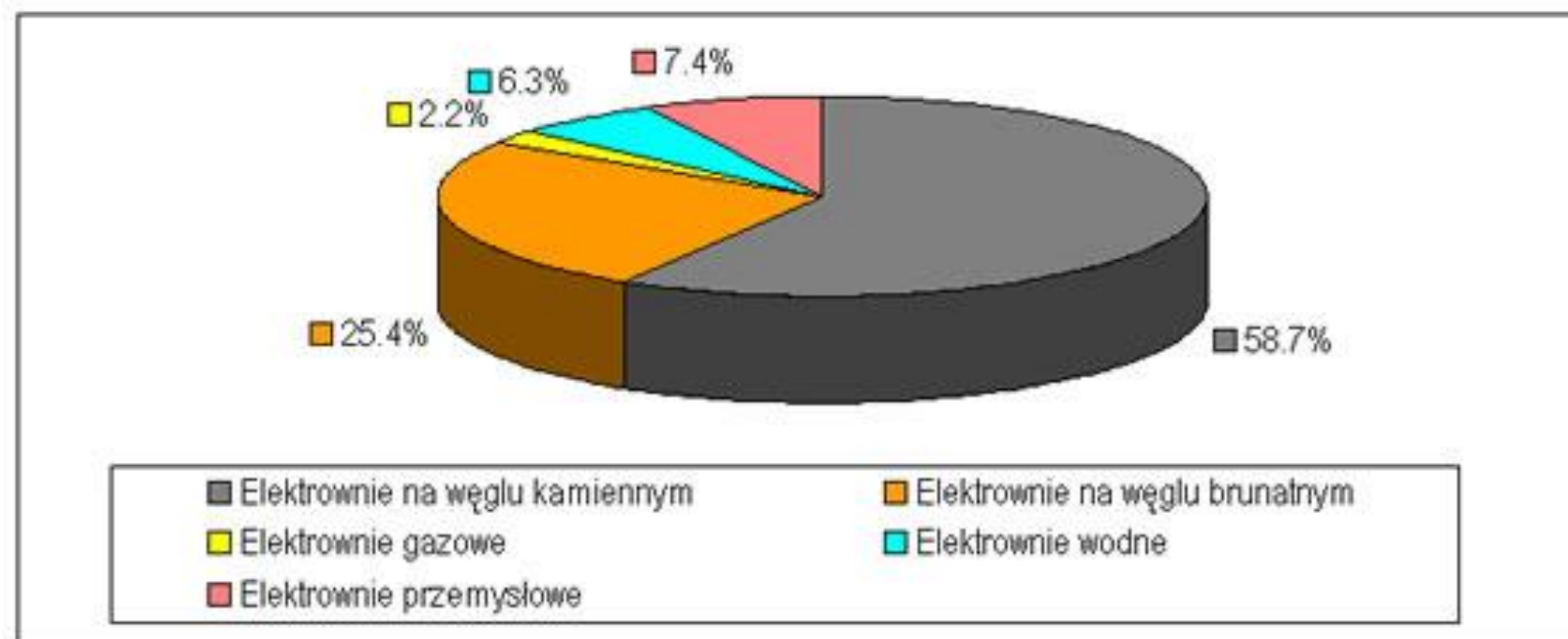
Pierwsze źródła zasilane gazem:
Elektrociepłownia Gorzów 1999 r.

Pierwsze elektrownie wiatrowe:
Elektrownia wiatrowa Barzowice: 2001 r.

Elektrownie słoneczne: Początek XX Wieku.
Farma PV w miejscowości Pęcłin – 2009 r. 1MW
2010 rok – ustawa o OZE (zielone certyfikaty).

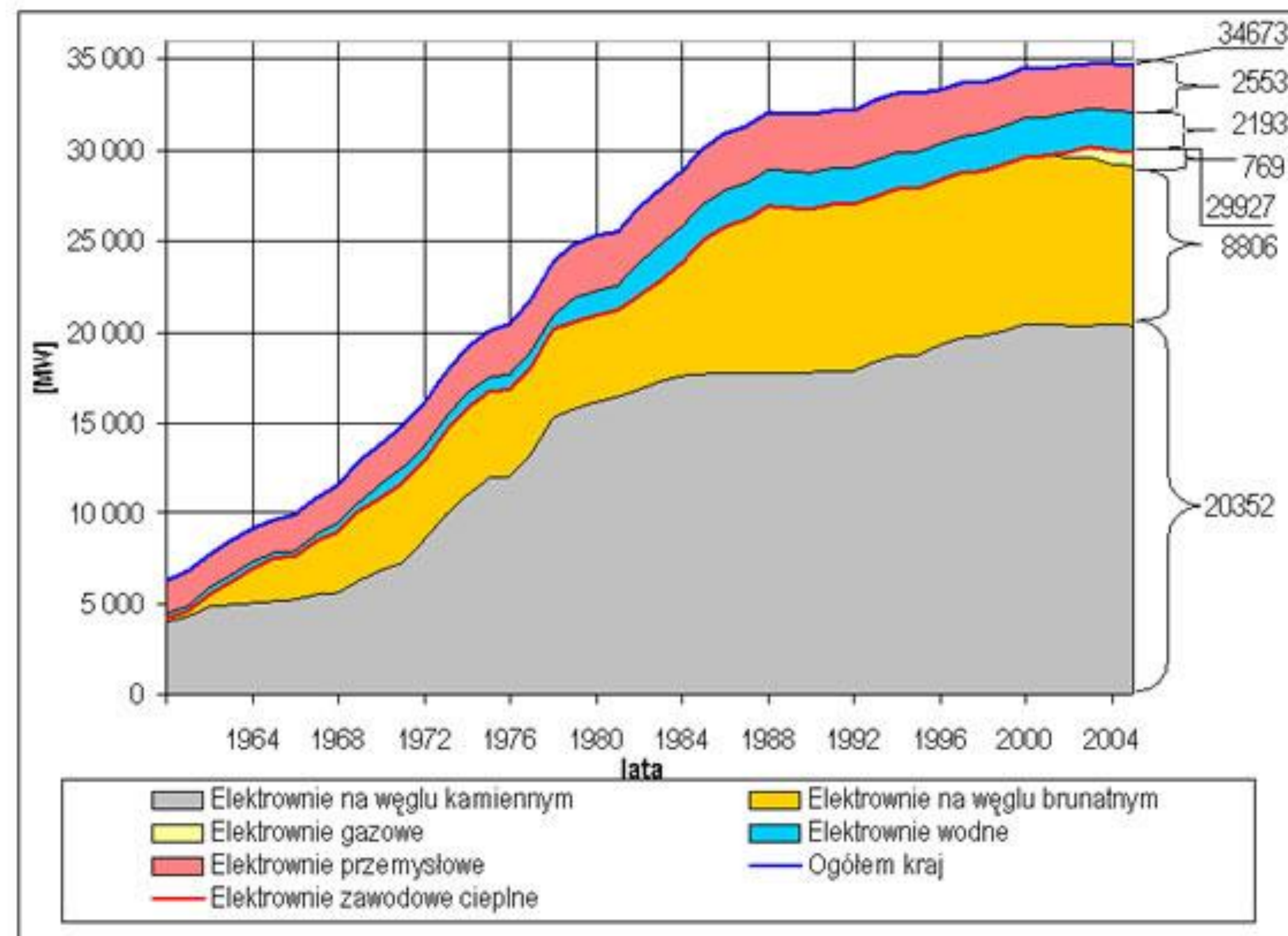


Dynamika wzrostu moc elektrycznej do 2005 r.



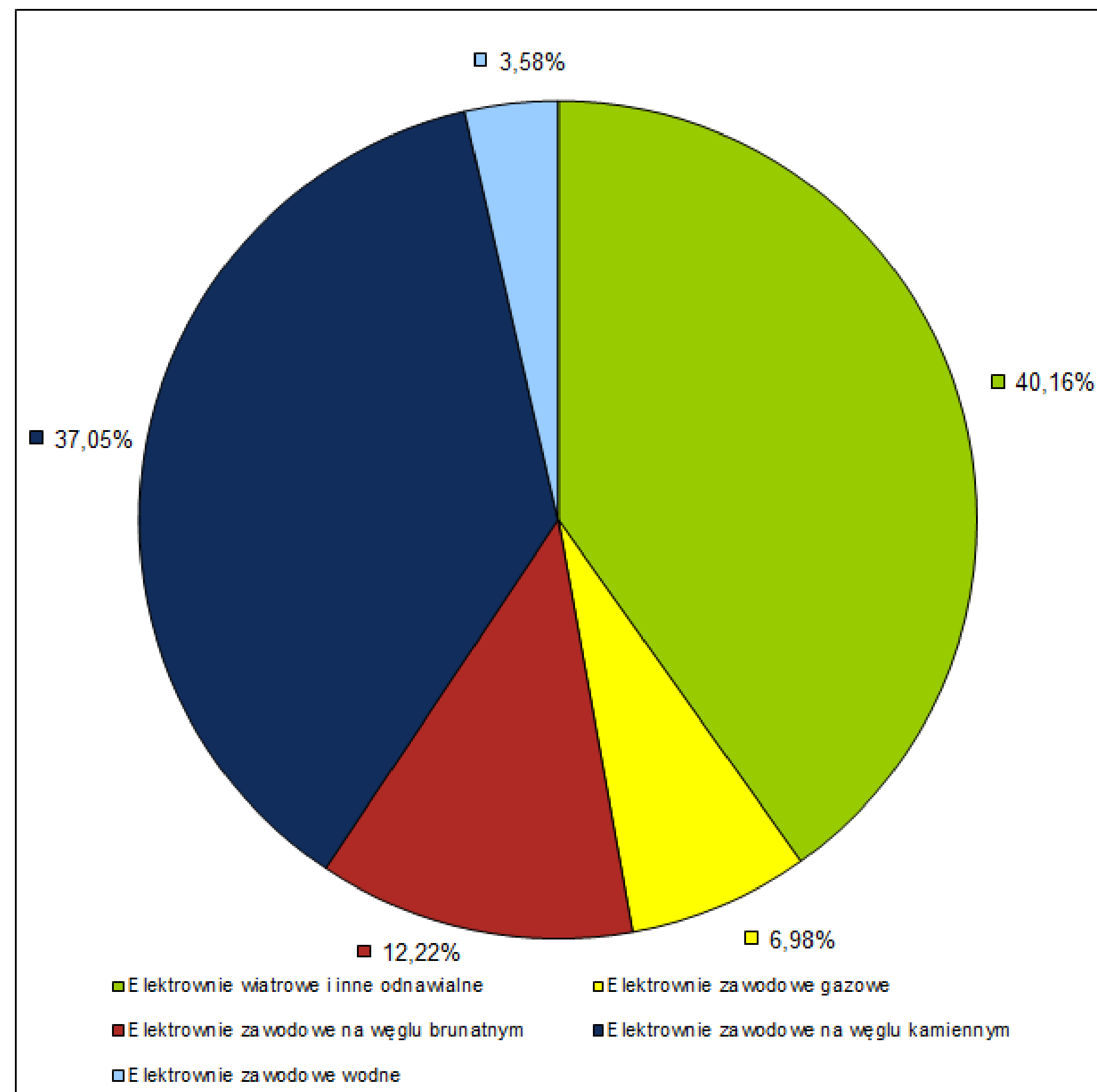
Struktura procentowa mocy zainstalowanej w KSE stan na 31.12.2005 r.

Źródło: PSE

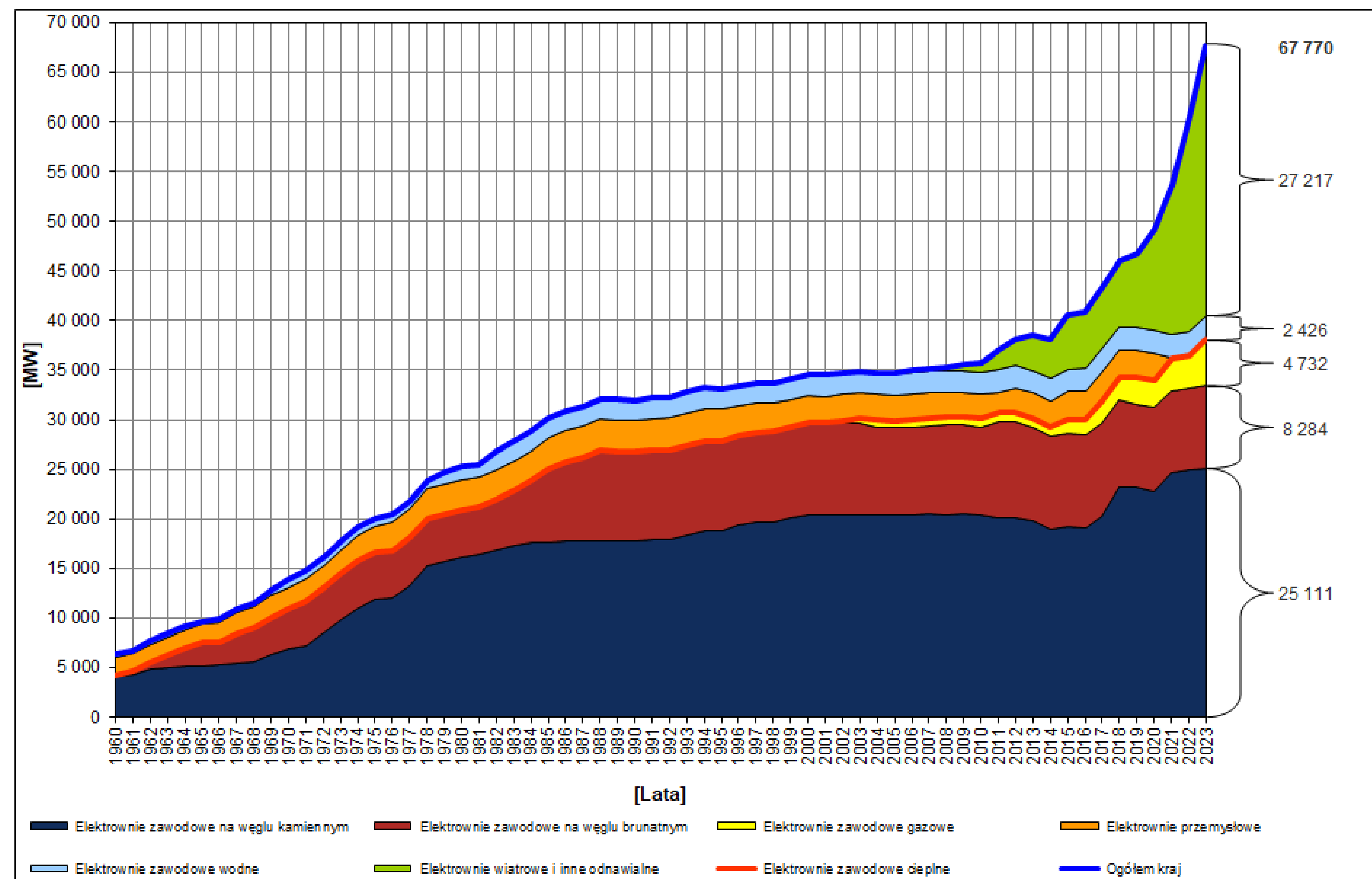


Moc zainstalowana w KSE w latach 1960÷2005. Źródło: PSE

Dynamika wzrostu moc elektrycznej do 2023 r.



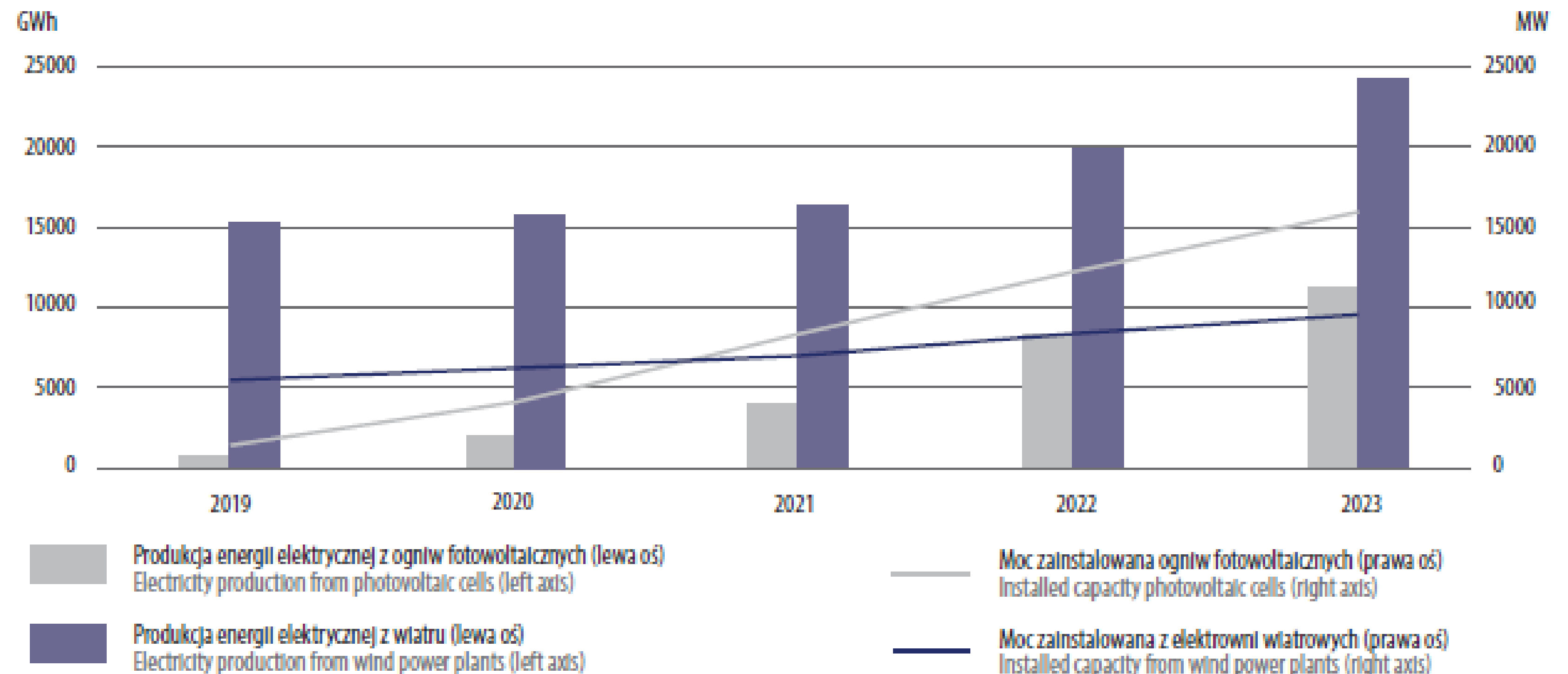
Struktura procentowa mocy zainstalowanej w KSE stan na 31.12.2023 r. Źródło: PSE



Moc zainstalowana w KSE w latach 1960÷2023. Źródło: PSE

Dynamika wzrostu moc elektrycznej do 2023 r.

W latach 2019–2023 moc zainstalowana elektrowni słonecznych wzrosła niemal 11-krotnie, a produkcja energii elektrycznej z tych źródeł wzrosła prawie 16-krotnie. W tym samym czasie moc zainstalowana elektrowni wiatrowych zwiększyła się o 60,0%.



Moc zainstalowana i produkcja energii z ogniw fotowoltaicznych oraz elektrowni wiatrowych w latach 2019-2023. Źródło: Główny urząd statystyczny: „Energia ze źródeł odnawialnych w 2023 roku”.

Dlaczego magazyny energii?

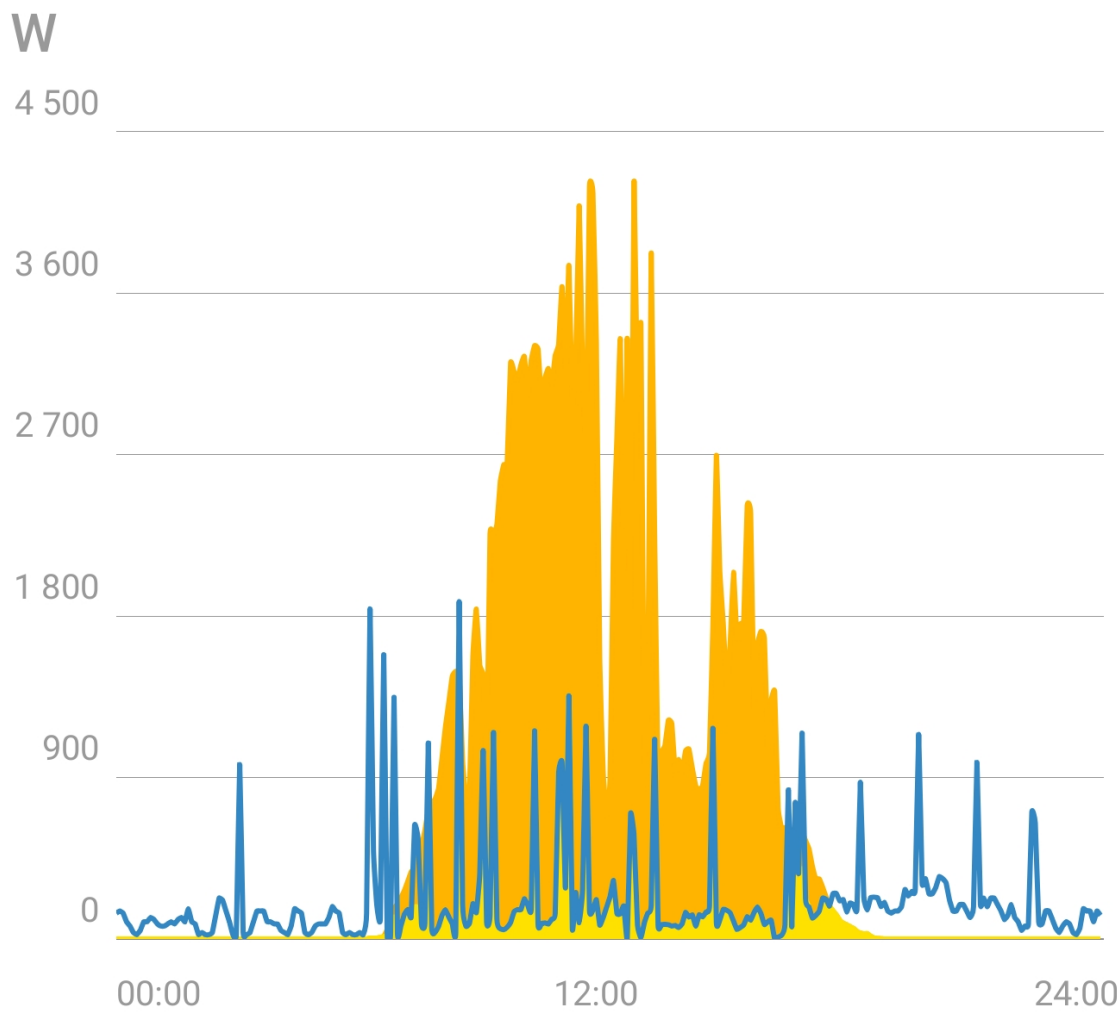
1. Redukcja emisji CO₂ i wsparcie dla zielonej transformacji.
2. Autonomia energetyczna i mikrosieci.
3. Zwiększenie niezawodności i bezpieczeństwa sieci.
4. Integracja odnawialnych źródeł energii (OZE).
5. Bilansowanie podaży i popytu.
6. **Optymalizacja kosztów energii 😊**



Optymalizacja kosztów energii by AI do której jeszcze wrócimy...

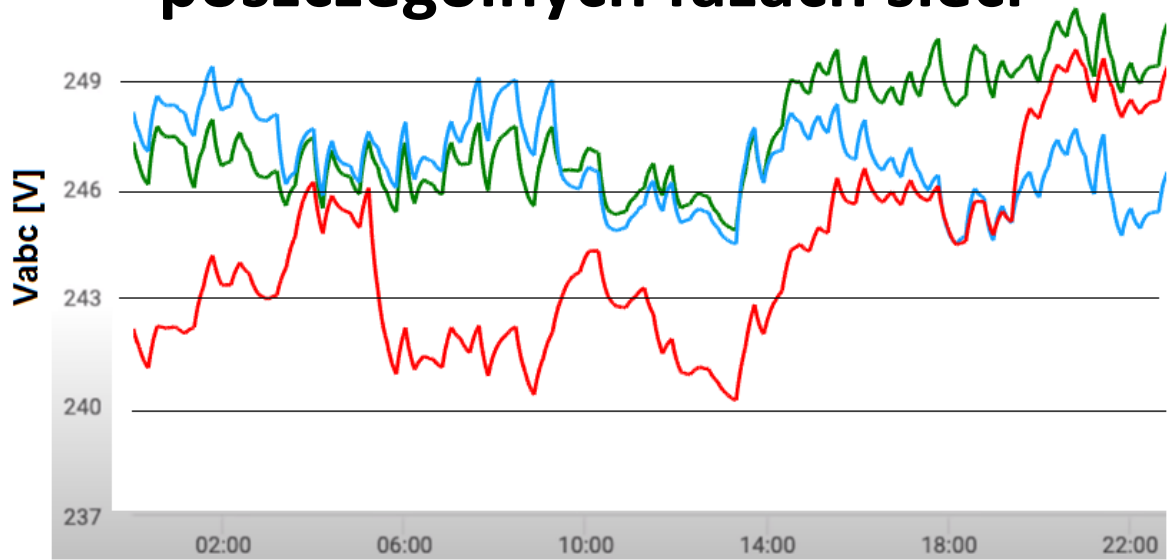
Dlaczego magazynowanie energii jest niezbędne ?

- Produkcja PV18,52 kWh
- Zużycie na potrzeby własne2,33 kWh
- Zużycie łączne5,19 kWh

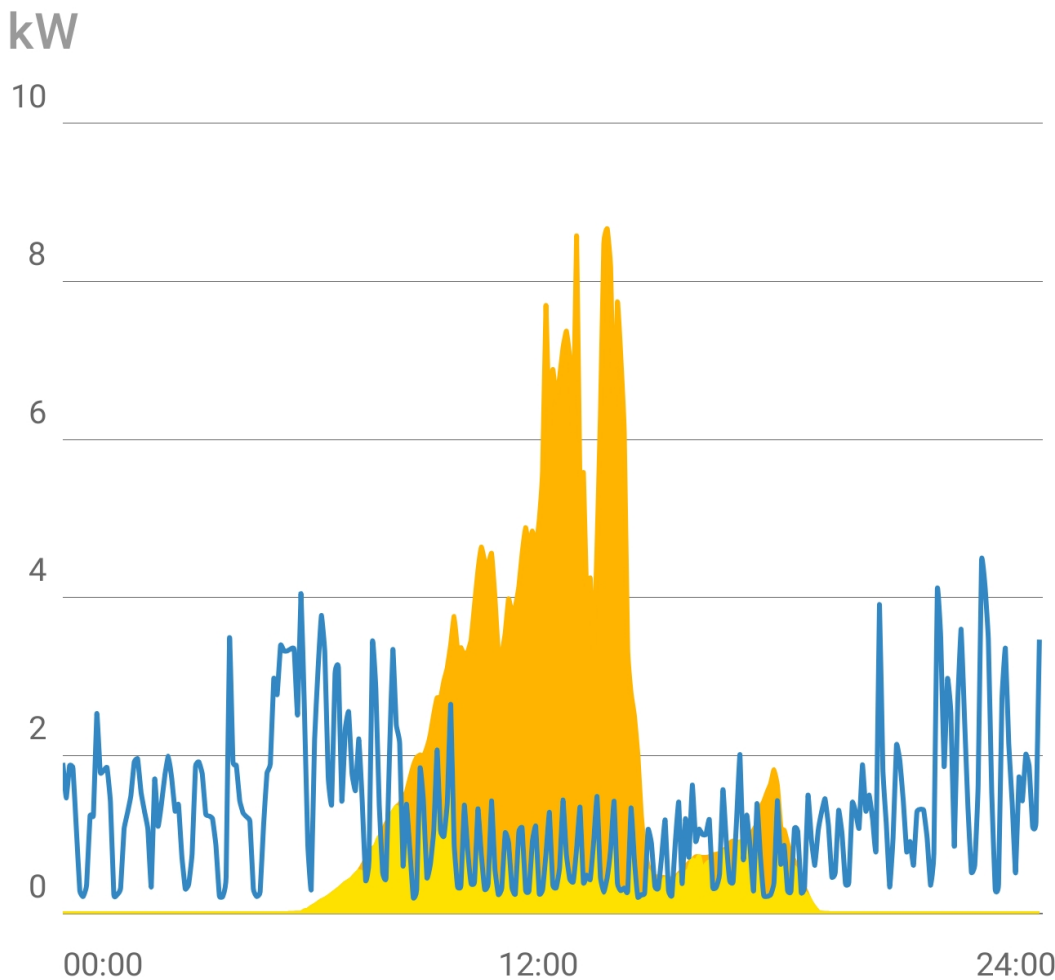


Domek z kominkiem elektrycznym i bojlerem

Napięcie RMS w poszczególnych fazach sieci



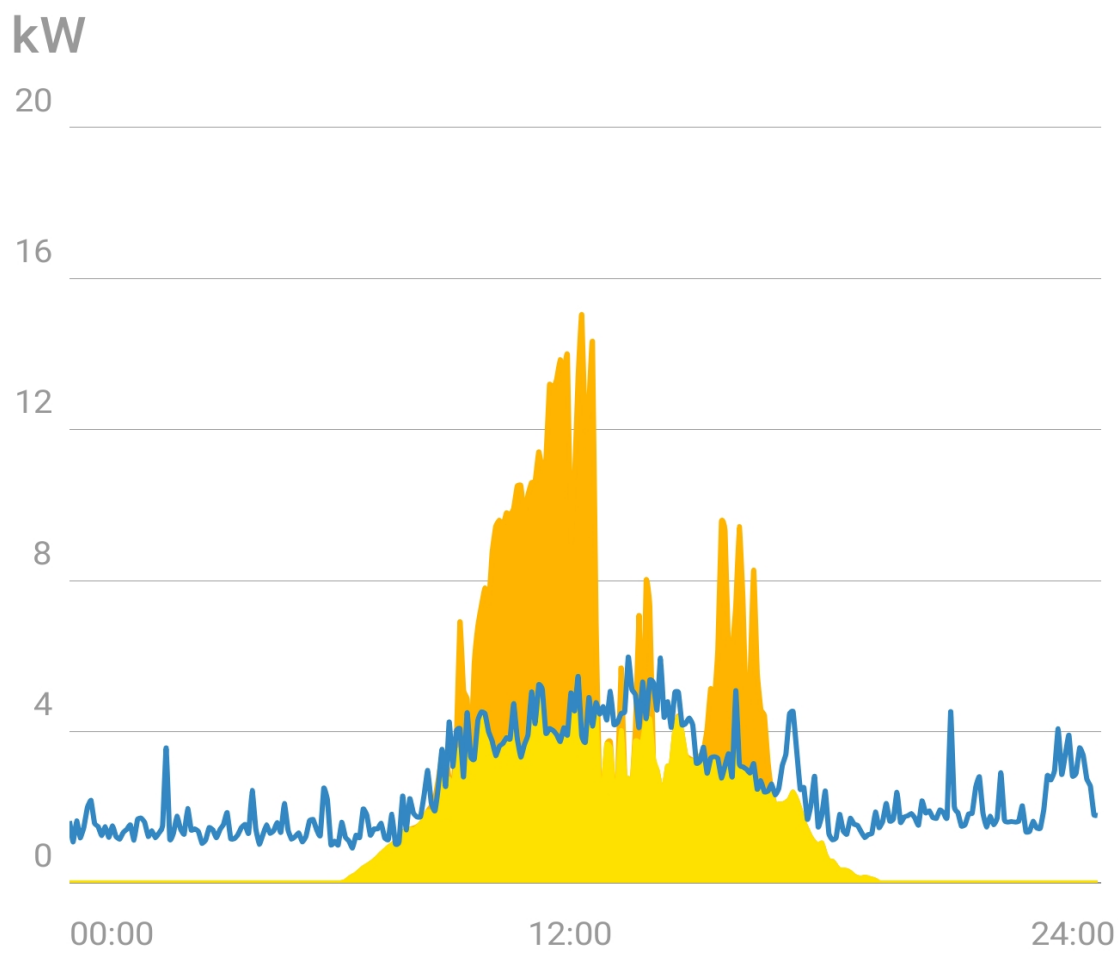
- Produkcja30,77 kWh
- Zużycie na potrzeby własne7,73 kWh
- Zużycie30,44 kWh



Domek z pompą ciepła

Generacja nie ma korelacji ze zużyciem !

- Produkcja PV57,56 kWh
- Zużycie na potrzeby własne31,96 kWh
- Zużycie łączne60,30 kWh



Mała firma o profilu usługowo-handlowym

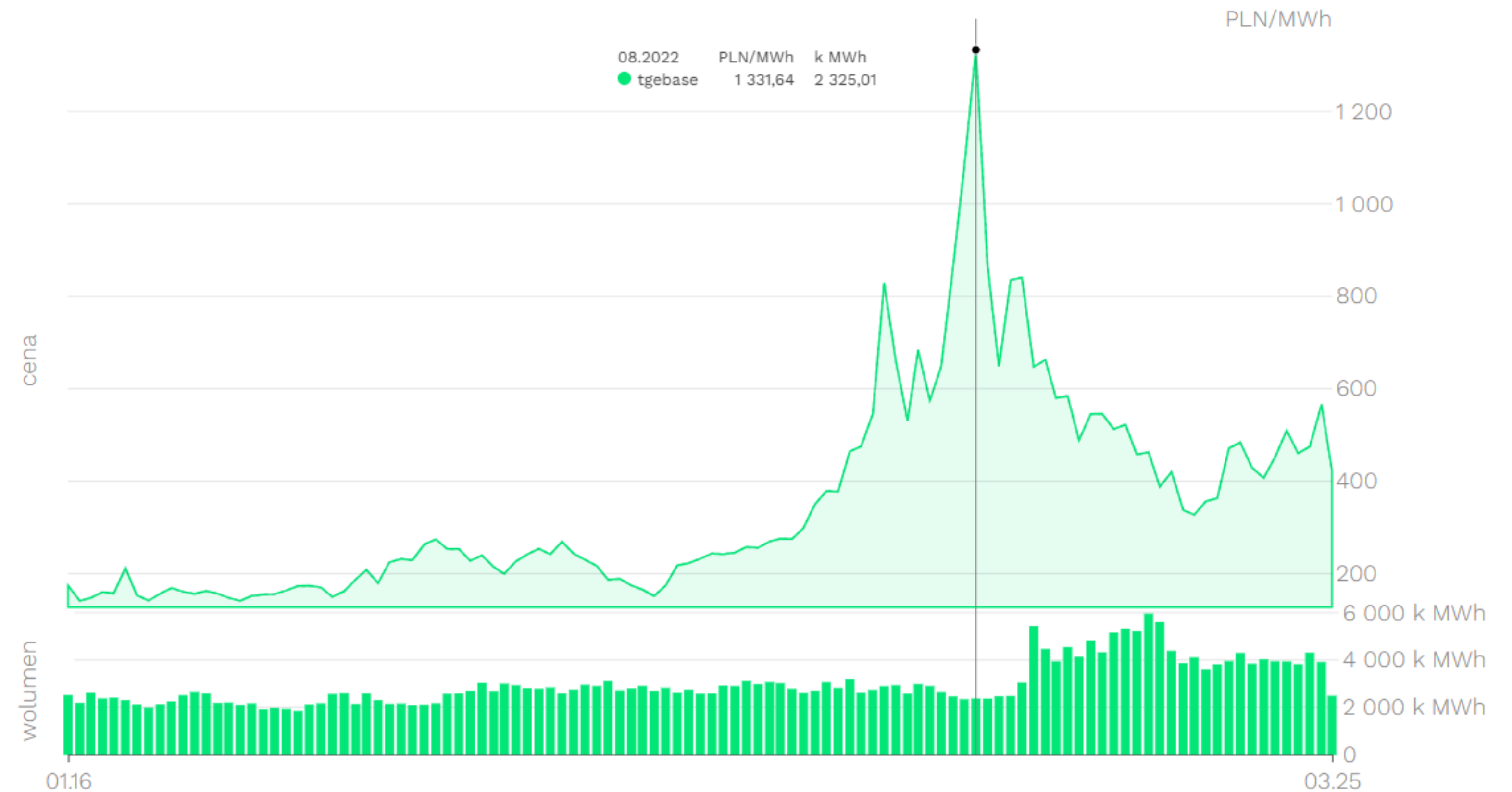
Dlaczego magazyny energii?

Ciągły wzrost energii elektrycznej oraz jej wolumen.



Cena energii elektrycznej z dostawą w kolejnej dobie (RDN)

w PLN za megawatogodzinę (PLN/MWh), indeks TGeBase



Cena energii elektrycznej z dostawą w kolejnej dobie (RDN) Źródło: Energy Instrat.

Dlaczego magazyny energii? Arbitraż cenowy

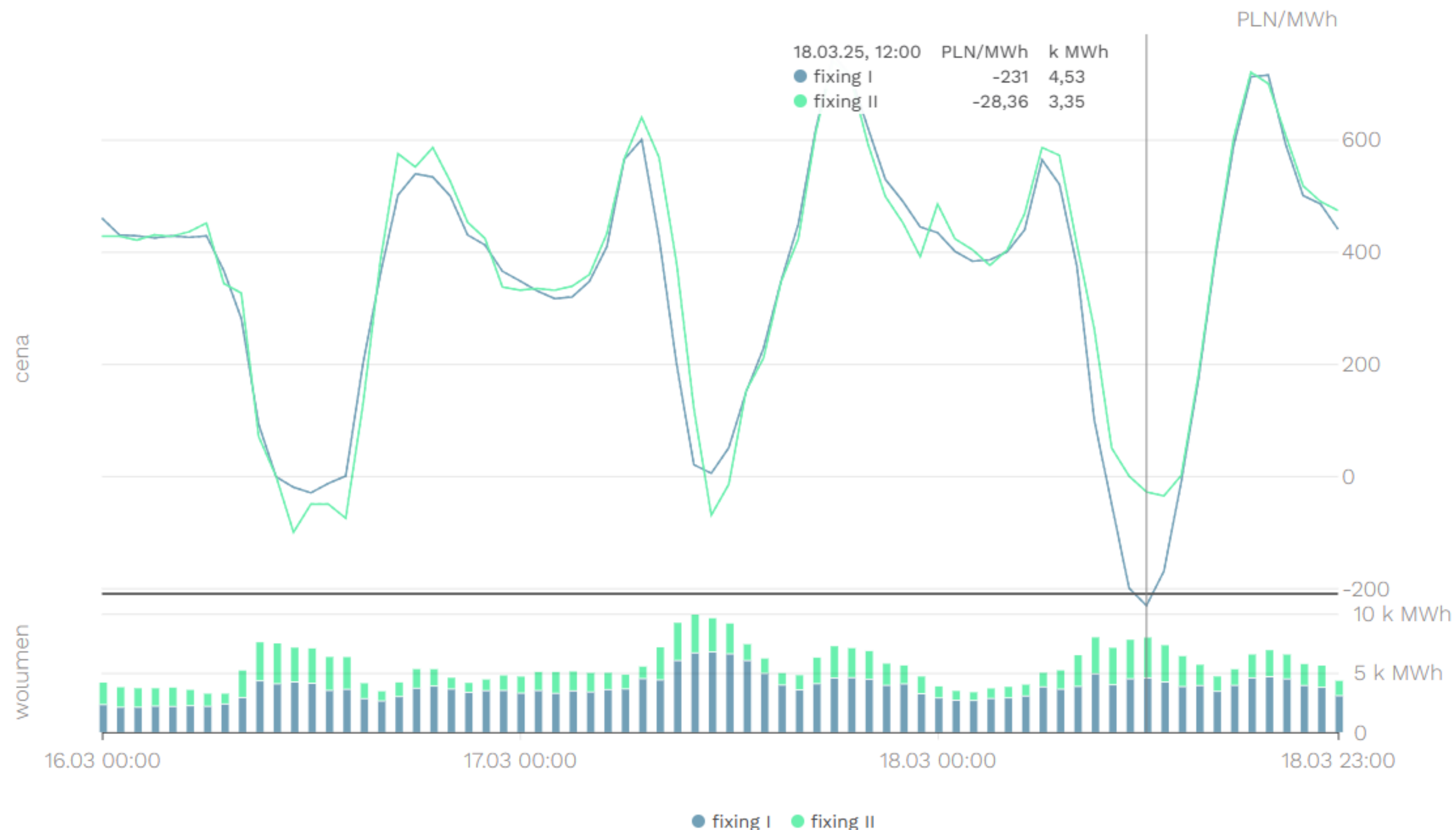
Ujemne ceny energii ☹️
Jeden z największych problemów
„farmiarzy”.

W 2024 r. w Europie liczba okresów z ujemnymi cenami energii elektrycznej wzrosła do 4838 dni, co stanowi niemal dwukrotny wzrost w porównaniu do 2023 r. W Polsce zjawisko to również się nasiliło, z 38 dniami ujemnych cen w II, III i IV kwartale. Najwięcej takich przypadków odnotowano w Finlandii, Szwecji i Niderlandach.

Źródło: Money.pl

Cena energii elektrycznej na poszczególne godziny kolejnej doby (RDN)

w PLN za megawatogodzinę (PLN/MWh), godzinowo

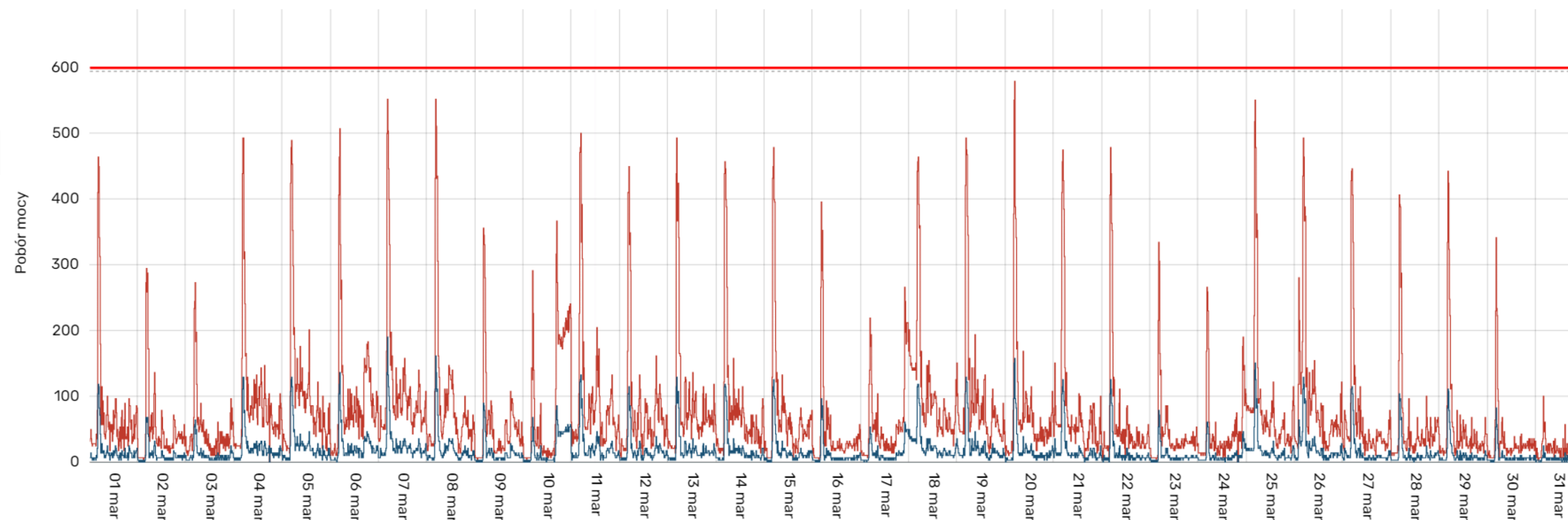
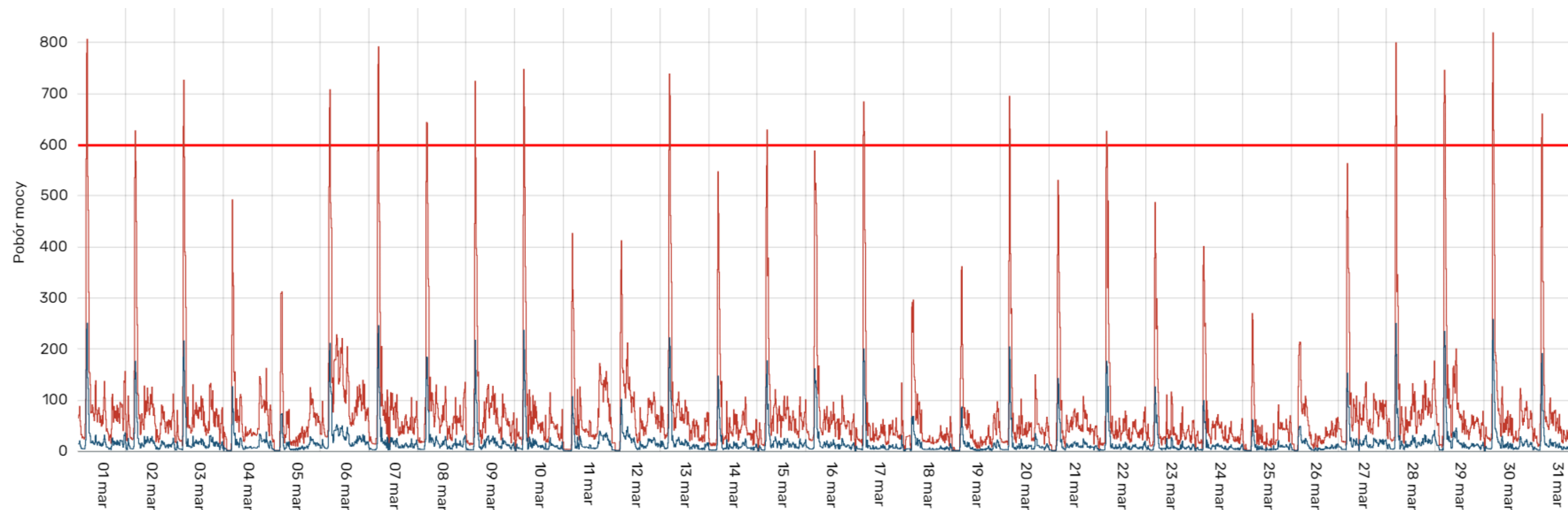


Cena energii elektrycznej na poszczególne godziny kolejnej doby (RDN) Źródło: Energy Instrat.

Dlaczego magazyny energii? Peak Shaving

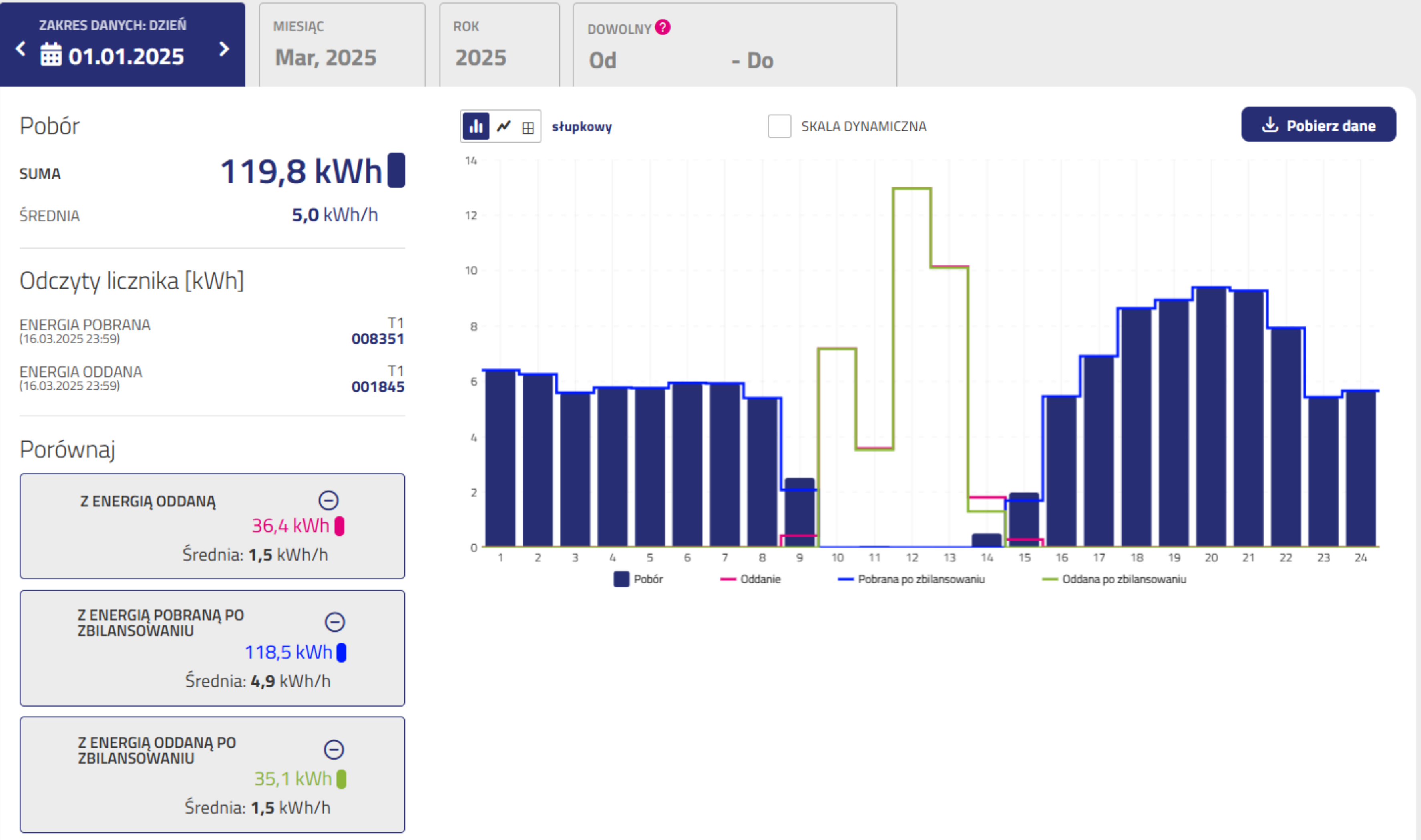
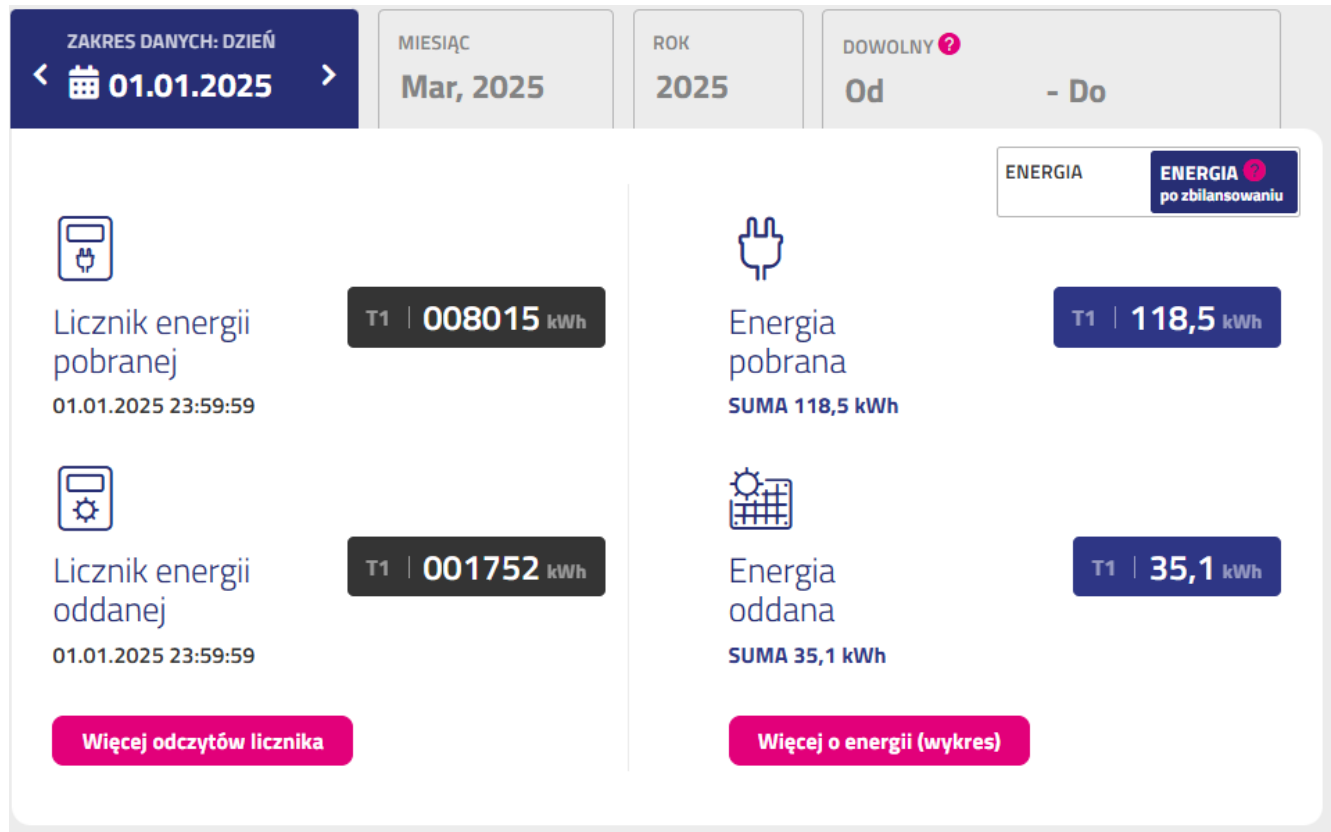
**Cel: ograniczenie mocy
do poziomu umownej.**

**Przebiegi zużycia energii
w latach 2023 oraz 2024
(marzec)**



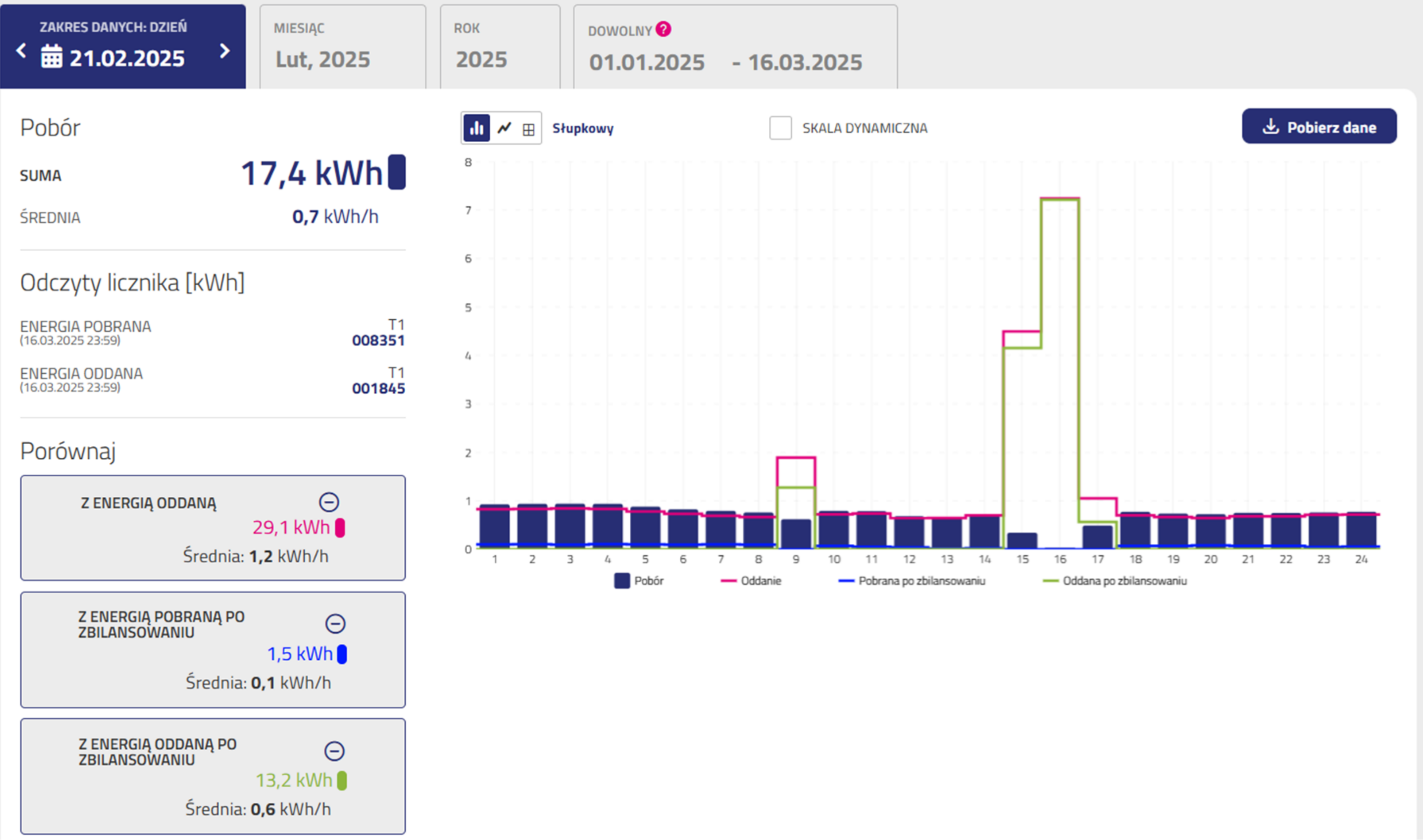
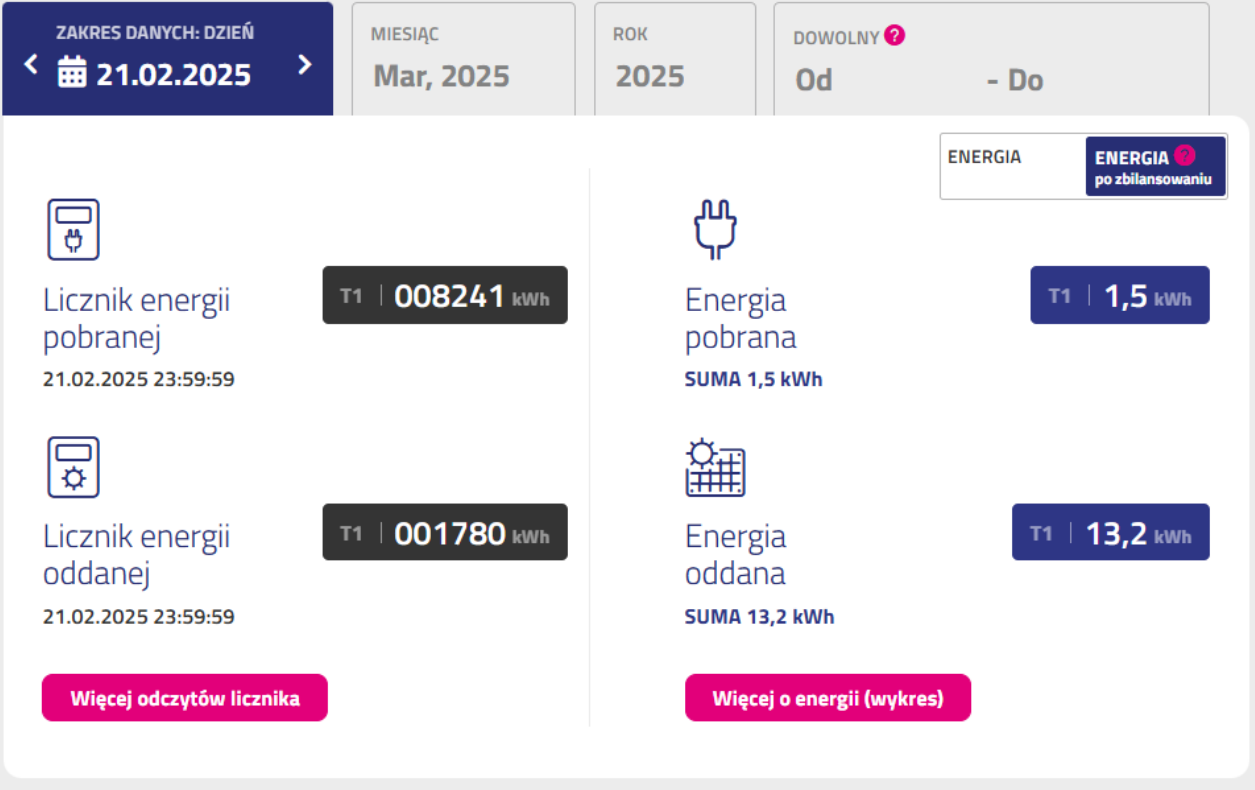
Dlaczego magazyny energii?

Load shifting



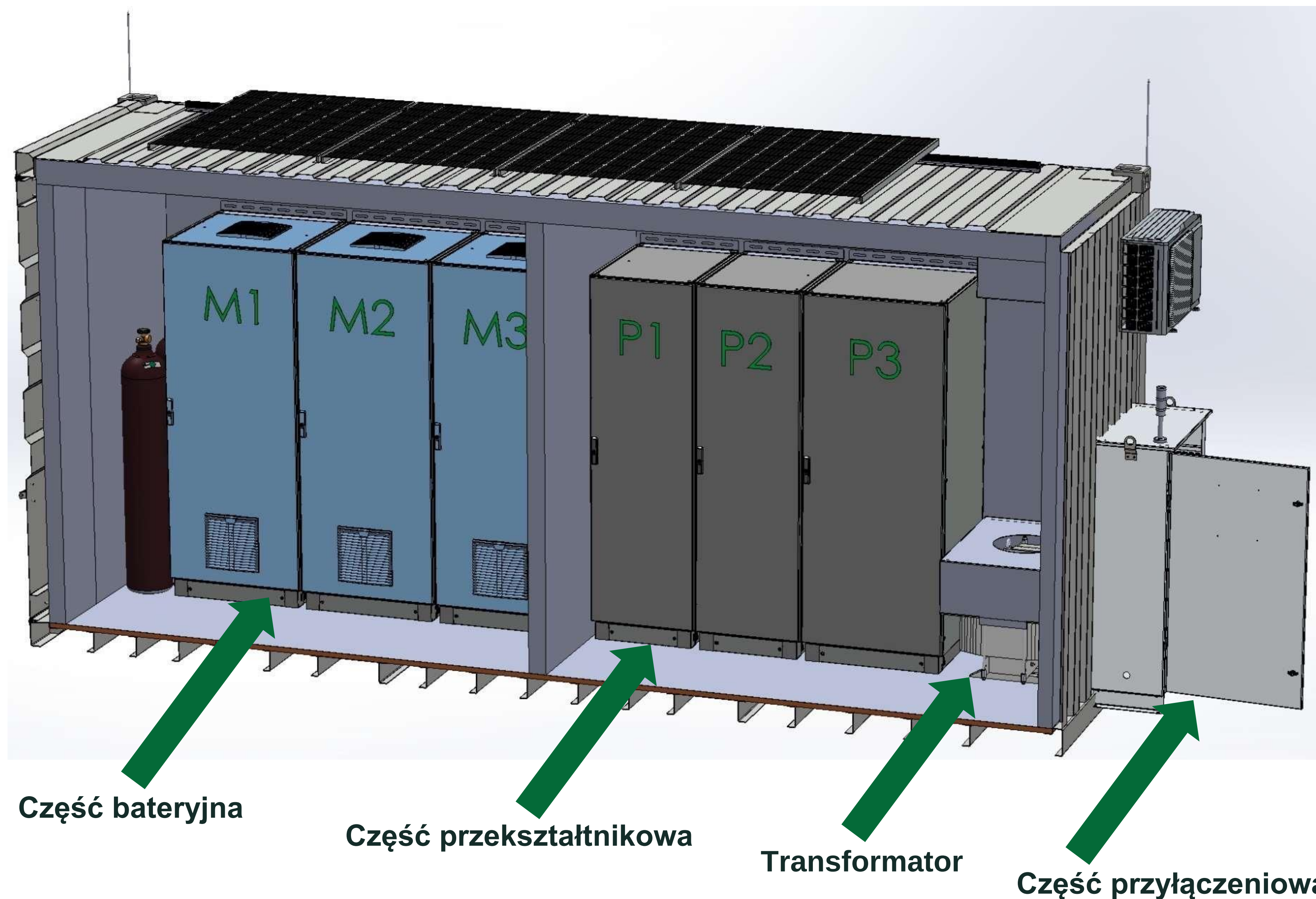
Profil zużycia odbiorcy bez magazynu energii. Źródło: Materiał własny

Dlaczego magazyny energii? Load shifting



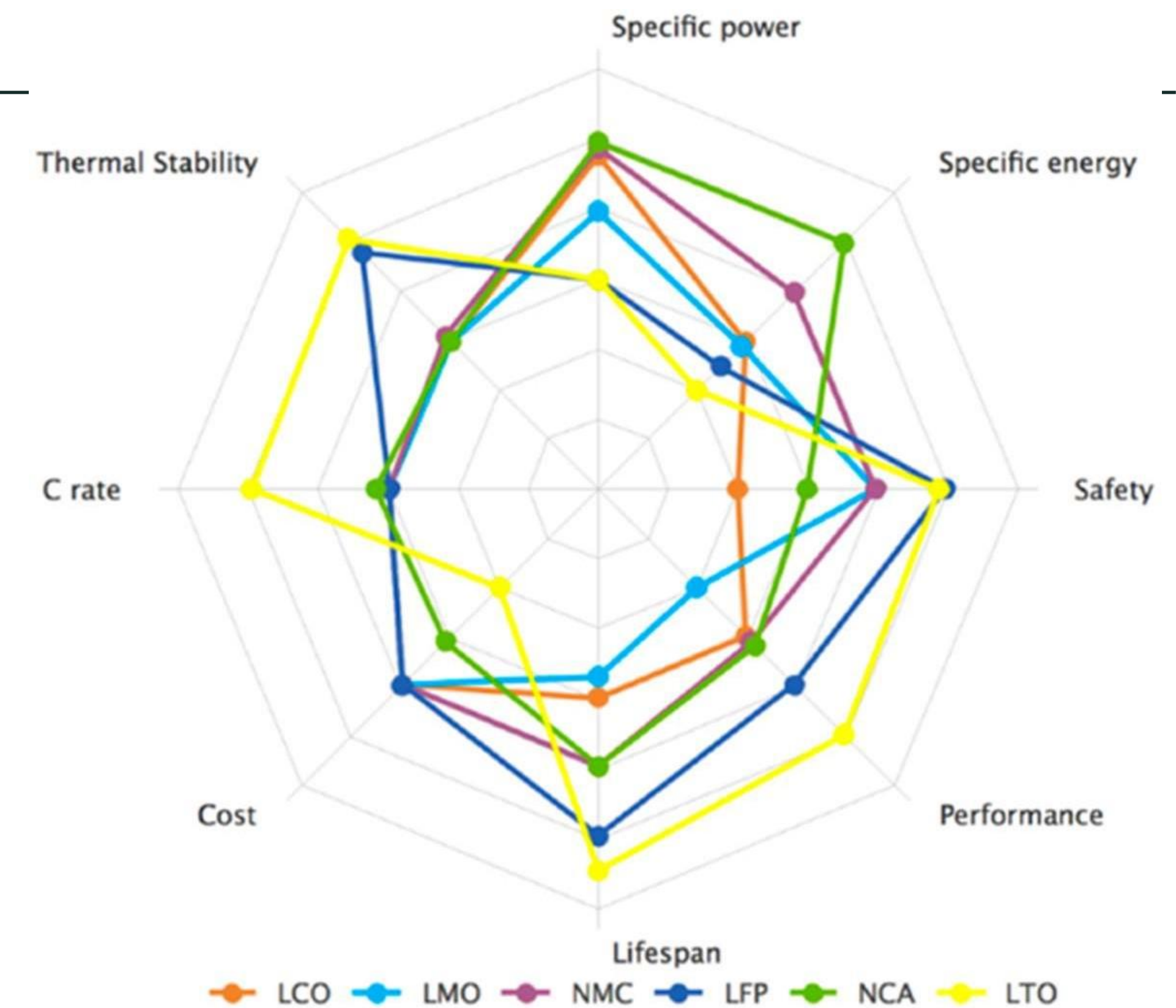
Czym są bateryjne magazyny energii?

- Kontener ocieplany i zabezpieczony antykorozyjnie
- Zasobniki energii o ogniwach NMC lub LFP
- Przetwornice dwukierunkowe AC/DC
- Systemy HVAC
- Instalacja odgromowa
- SKD – system kontroli dostępu
- SUG – system przeciwpożarowy
- System EMS
- Rozdzielnia nN
- Żywotność do 6000 cykli
- Stacja transformatorowa SN

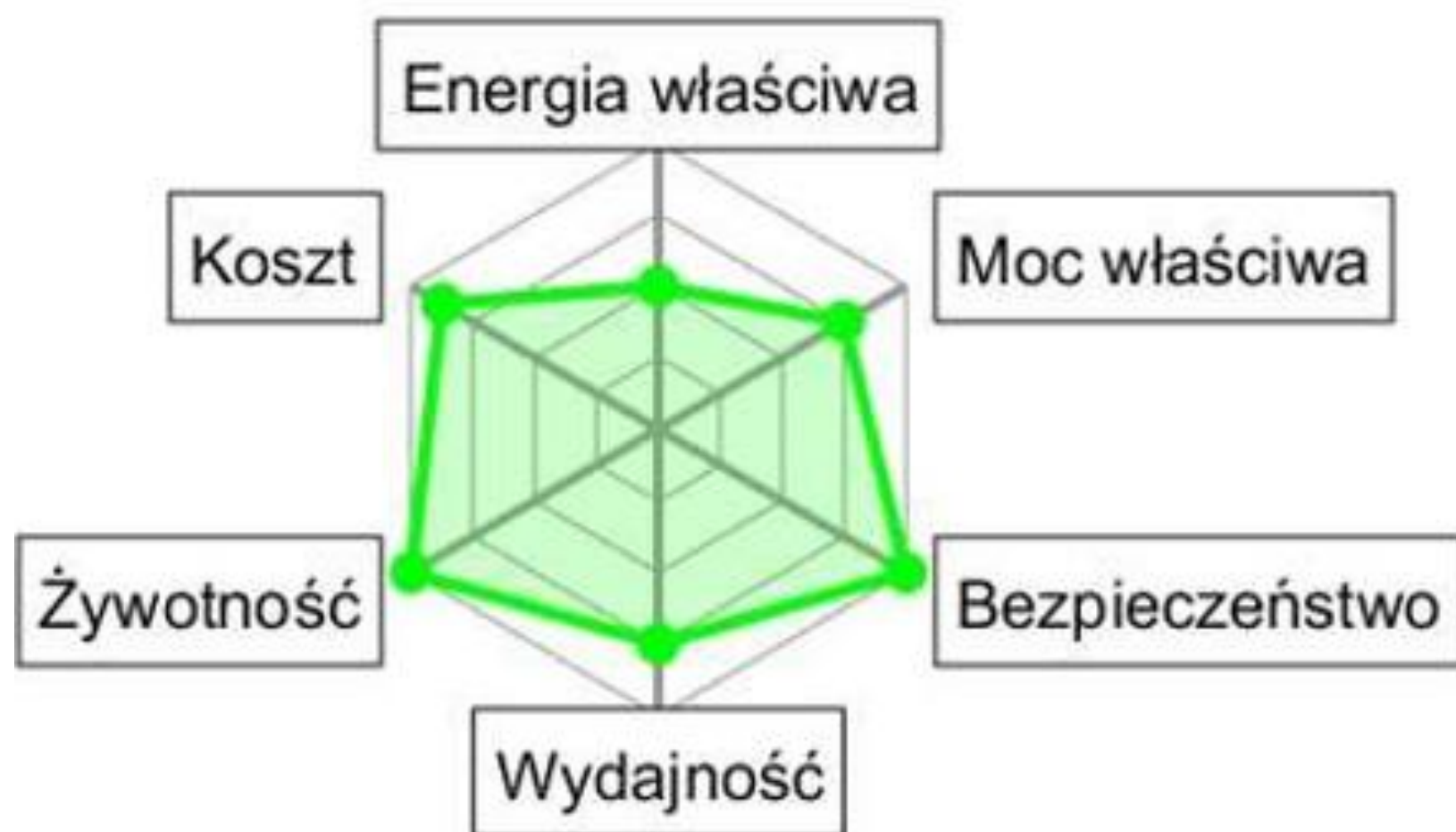


Wykresy pające do porównania typów ogniwo elektrochemicznych

- Specific energy [Wh/kg] – energia nominalna (60 – 500)
- Specific Power [kW/kg] – moc nominalna (100 – 3000)
- Cost [€] – cena EUR/ USD (30 – 200)
- Lifespan [n] – liczba pełnych ładowani do momentu utraty 20-30% pojemności (200 – 25k)
- Performance [C/C] – stosunek prądu ładowania do rozładowywania (0,2 – 30)
- Safety – bezpieczeństwo eksploatacji (palność)
- SoC [%] – State of Charge (Stan naładowania)
- DoD [%] – Depth of Discharge (Stan rozładowania) (100 – SoC)
- SoH [%] – State of Health (Stan degradacji ogniwa)
- EoL – End of Life – koniec życia ogniwa (typowo po SoH 80% lub 70%)



Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) — LFP (ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe)



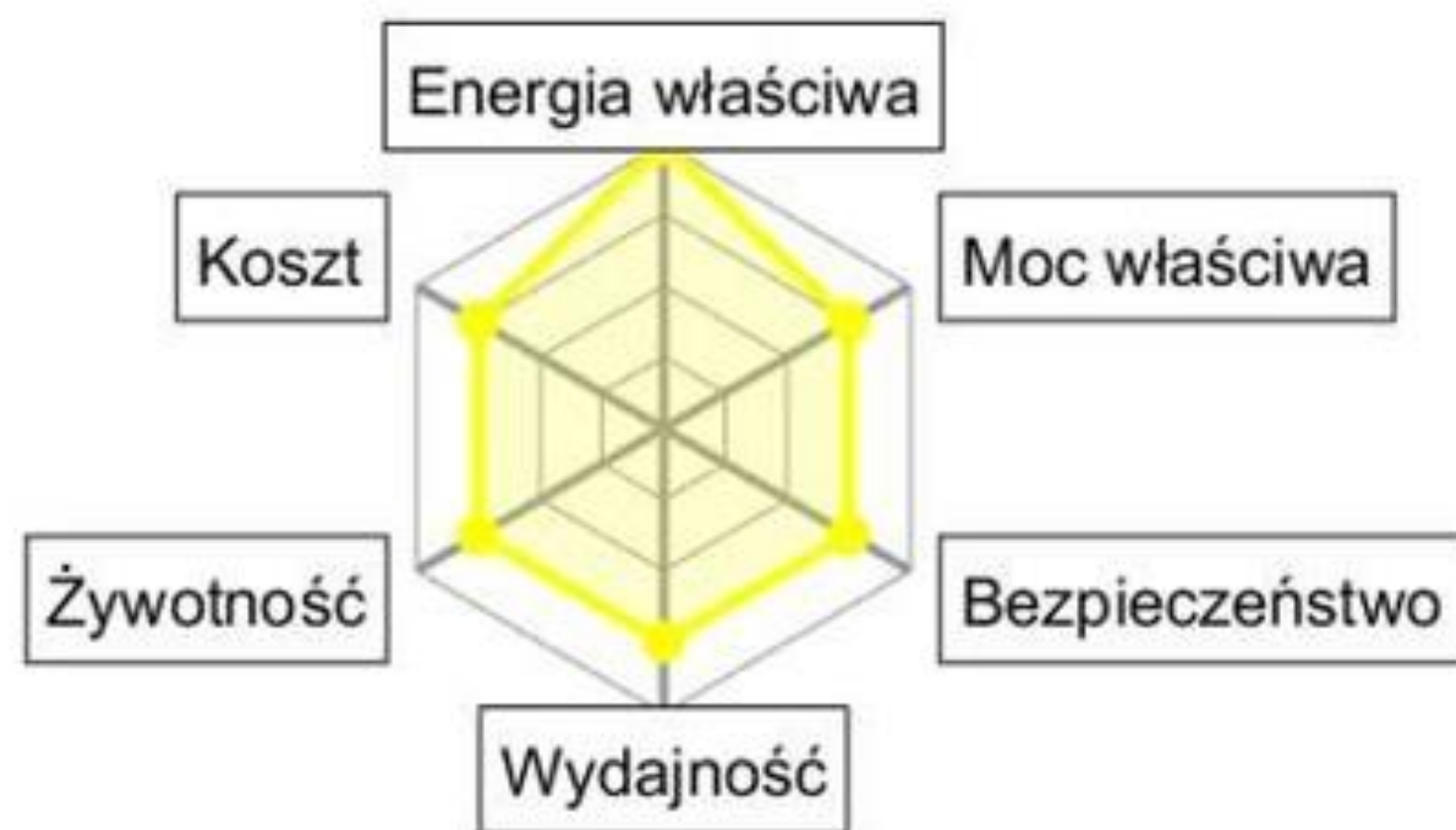
<https://batteryuniversity.com>

Parametr	Wartość/Cecha
Napięcie	2,5 -3,65 V/cela (3,2 V) nom
Gęstość energii	160-180 Wh/kg
Ładownia (C-rate)	0,5 C
Rozładownia (C-rate)	0,5 (1,0) C
Liczba cykli	4000/6000 10000/12000*
Temperatura zapłonu	270°C (stosunkowo bezpieczna)
Zastosowanie	Stacjonarne magazyny energii
Producent	CATL, BYD, EVE

$$100\text{Ah} * 0,5\text{C} = 50\text{A}$$

$$50\text{Ah} * 0,1\text{C} = 5\text{A}$$

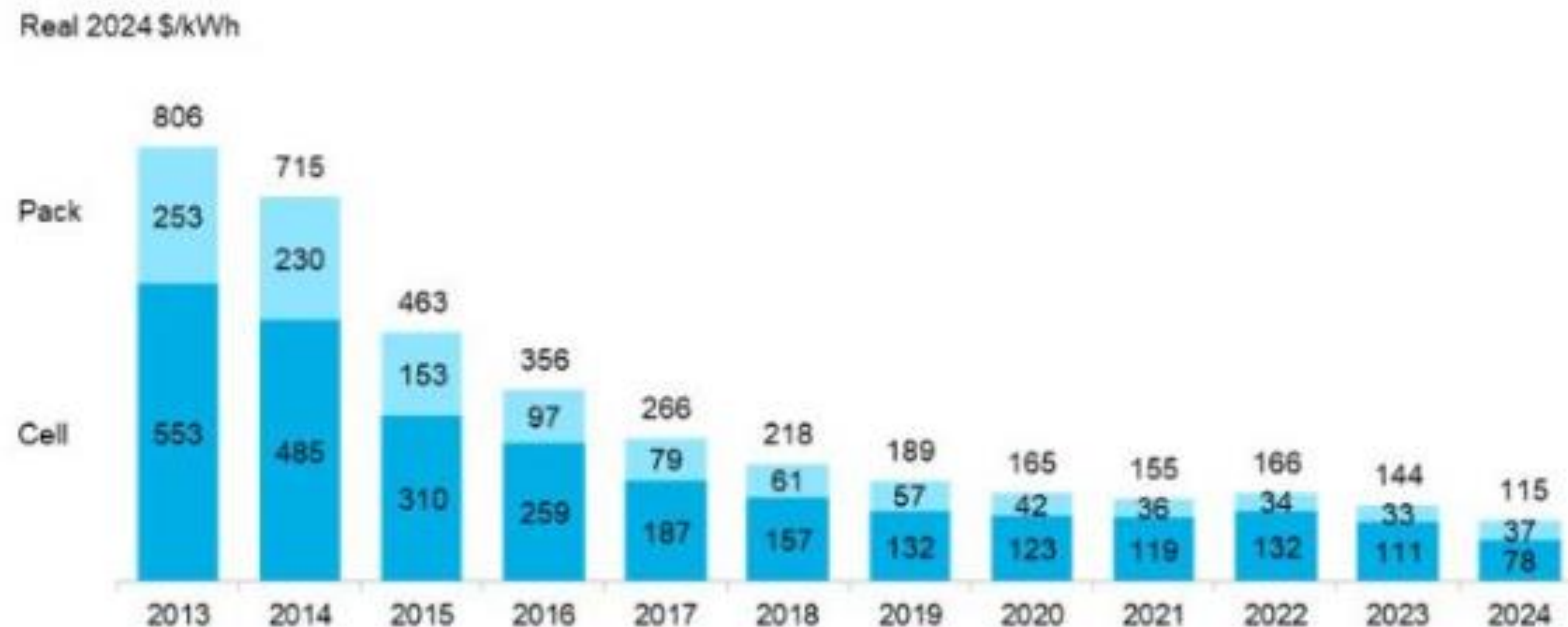
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO₂) — NMC



Parametr	Wartość/Cecha
Napięcie	2,8 -4,3 V/cela (3,7 V) nom
Gęstość energii	220 - 260Wh/kg
Ładowania (C-rate)	1,0 C ← 2X
Rozładowania (C-rate)	1,0 (2,0) C
Liczba cykli	2500 – 3500 (500-800)*
Temperatura zapłonu	210°C (mało bezpieczna)
Zastosowanie	Pojazdy EV, Smartfony, Elektronarzędzia
Producent	LG, SAMSUNG, S-Volt

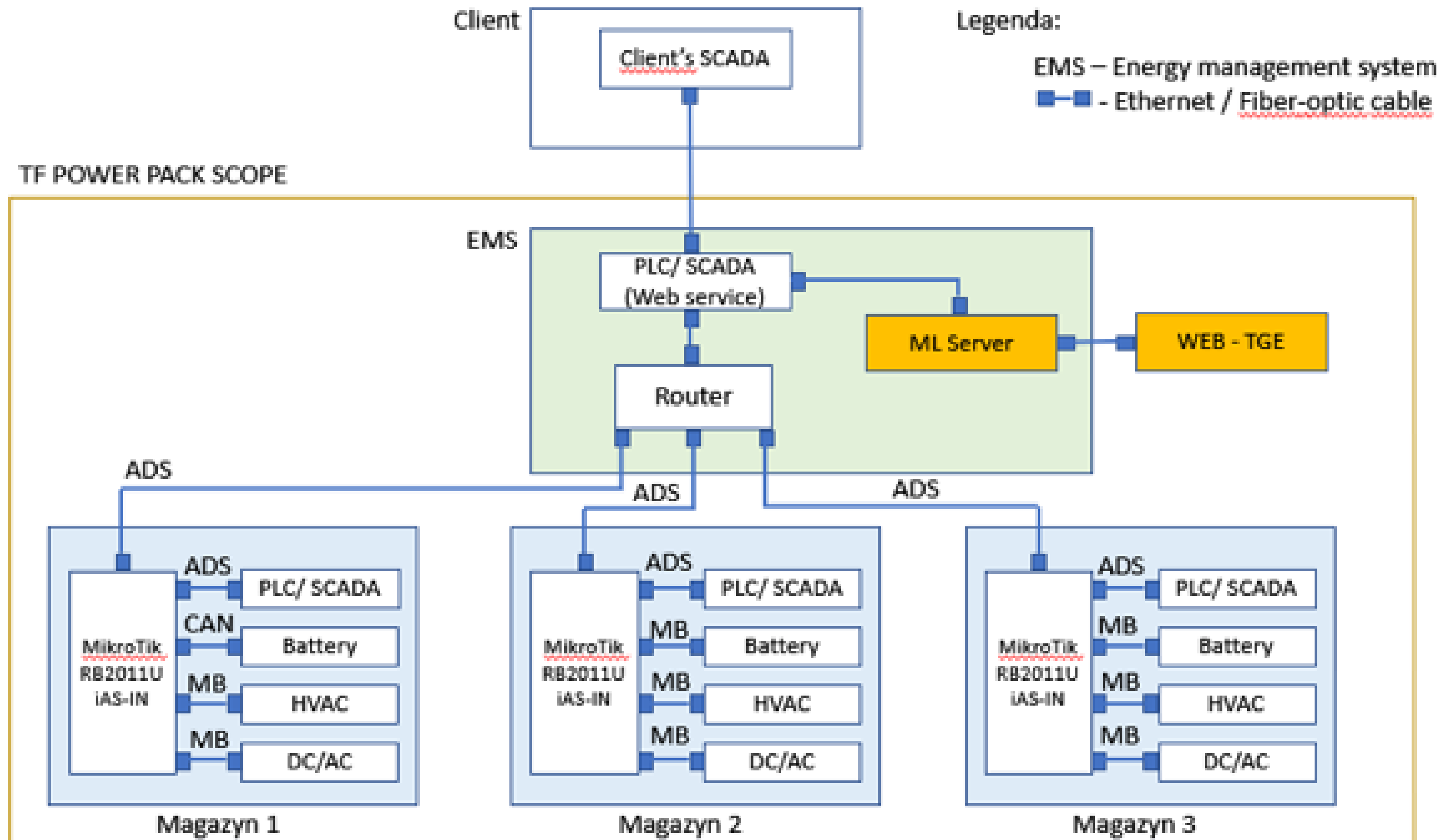
Dynamika spadku cen baterii litowo-jonowych

Dynamika spadku cen jednoznacznie wskazuje przyszłości w magazynowaniu energii w bateriach.



Średnie ceny zestawów baterii litowo-jonowych w latach 2013-2024 z uwzględnieniem cen ogniw bateryjnych. Dane w dolarach/kWh. Źródło: Bloomberg New Energy Finance.

Zarządzanie magazynami energii



Architektura IT magazynów energii. Źródło: Materiał własny

Zarządzanie magazynami energii



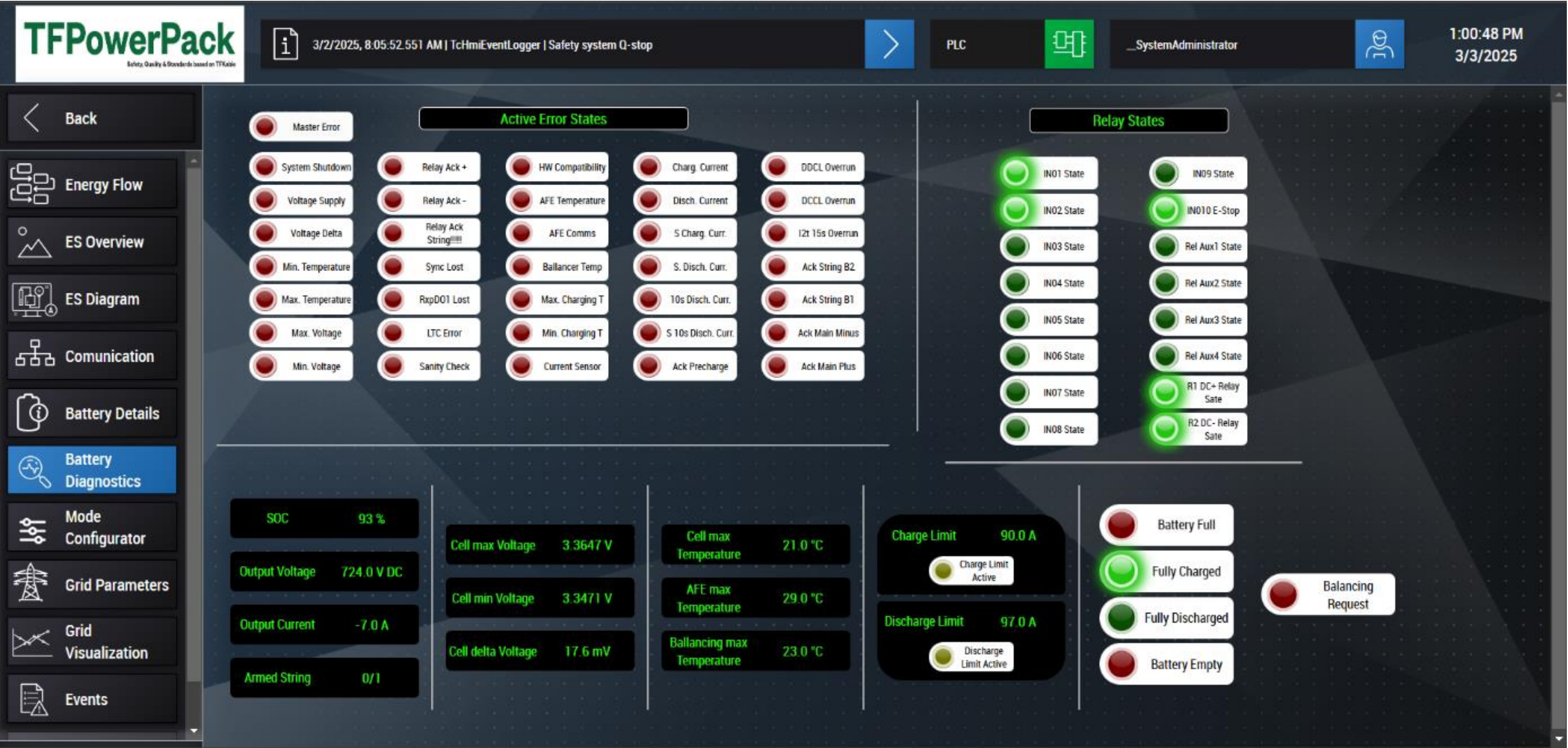
Podstawowa wizualizacja pracy magazynu energii. Źródło: Materiał własny

Zarządzanie magazynami energii



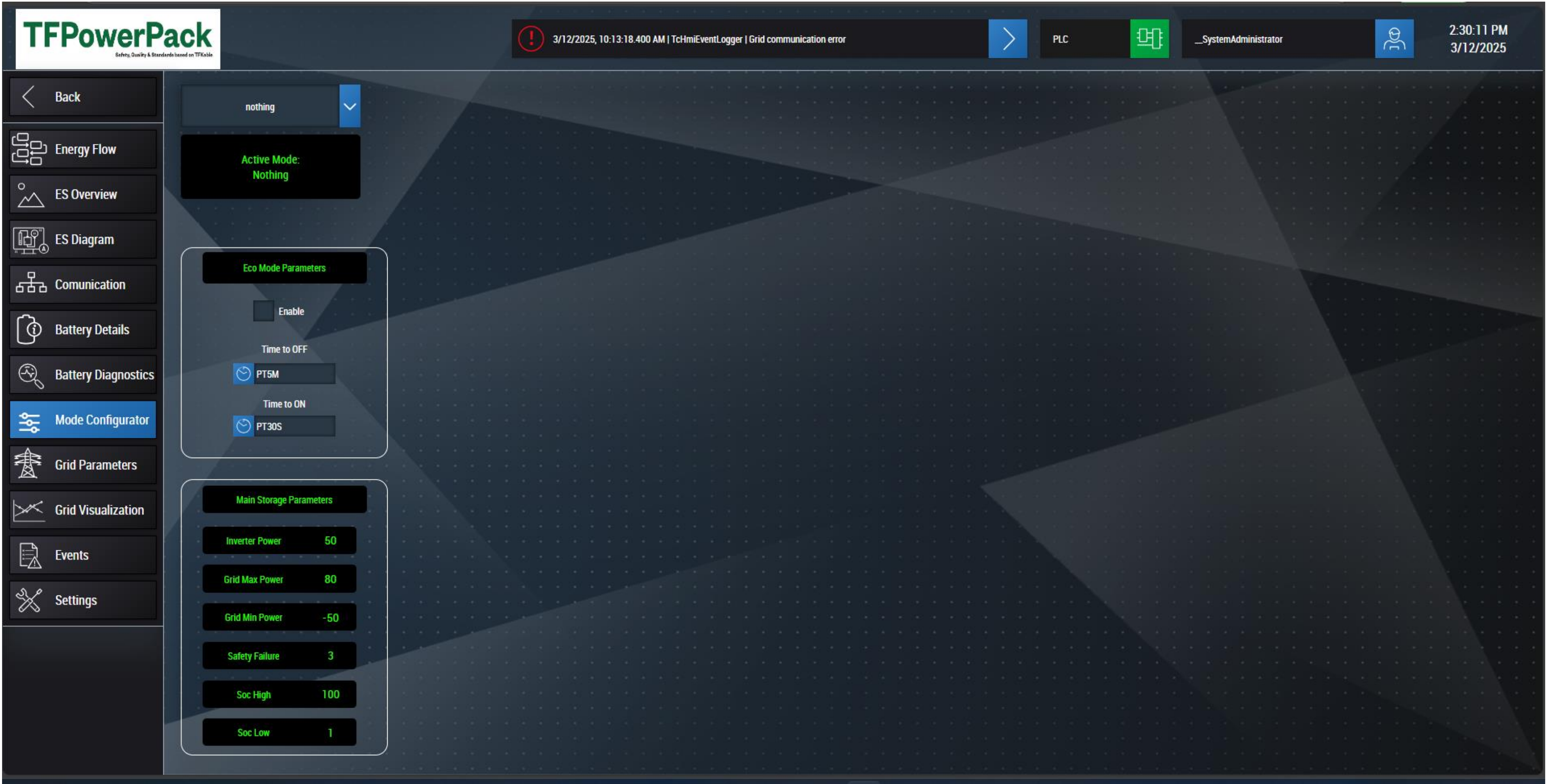
Podstawowa wizualizacja pracy magazynu energii. Źródło: Materiał własny

Zarządzanie magazynami energii



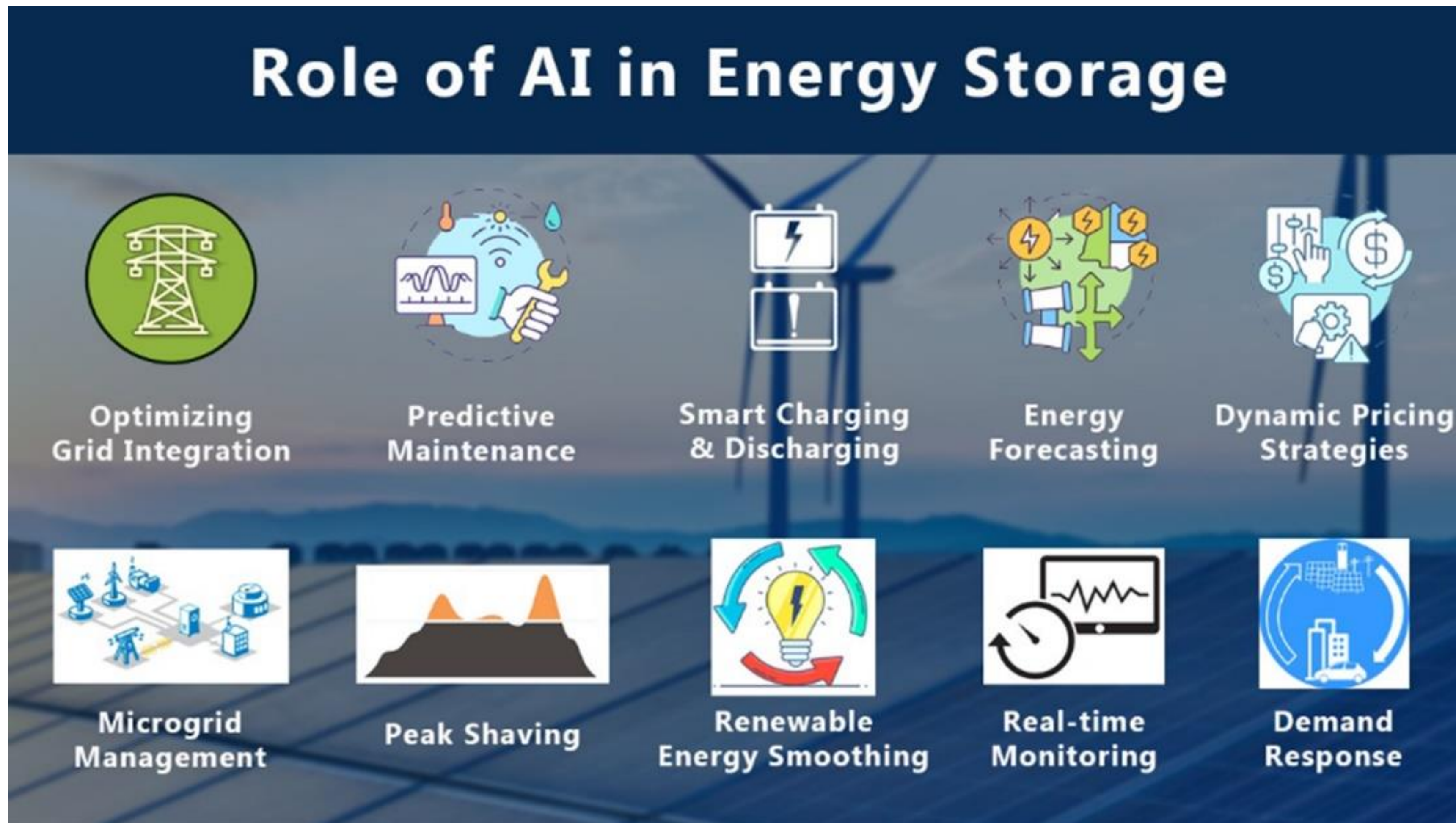
Diagnostyka baterii. Źródło: Materiał własny

Zarządzanie magazynami energii



Wybór trybu pracy. Źródło: Materiał własny

Modyfikacja systemu zarządzania energią

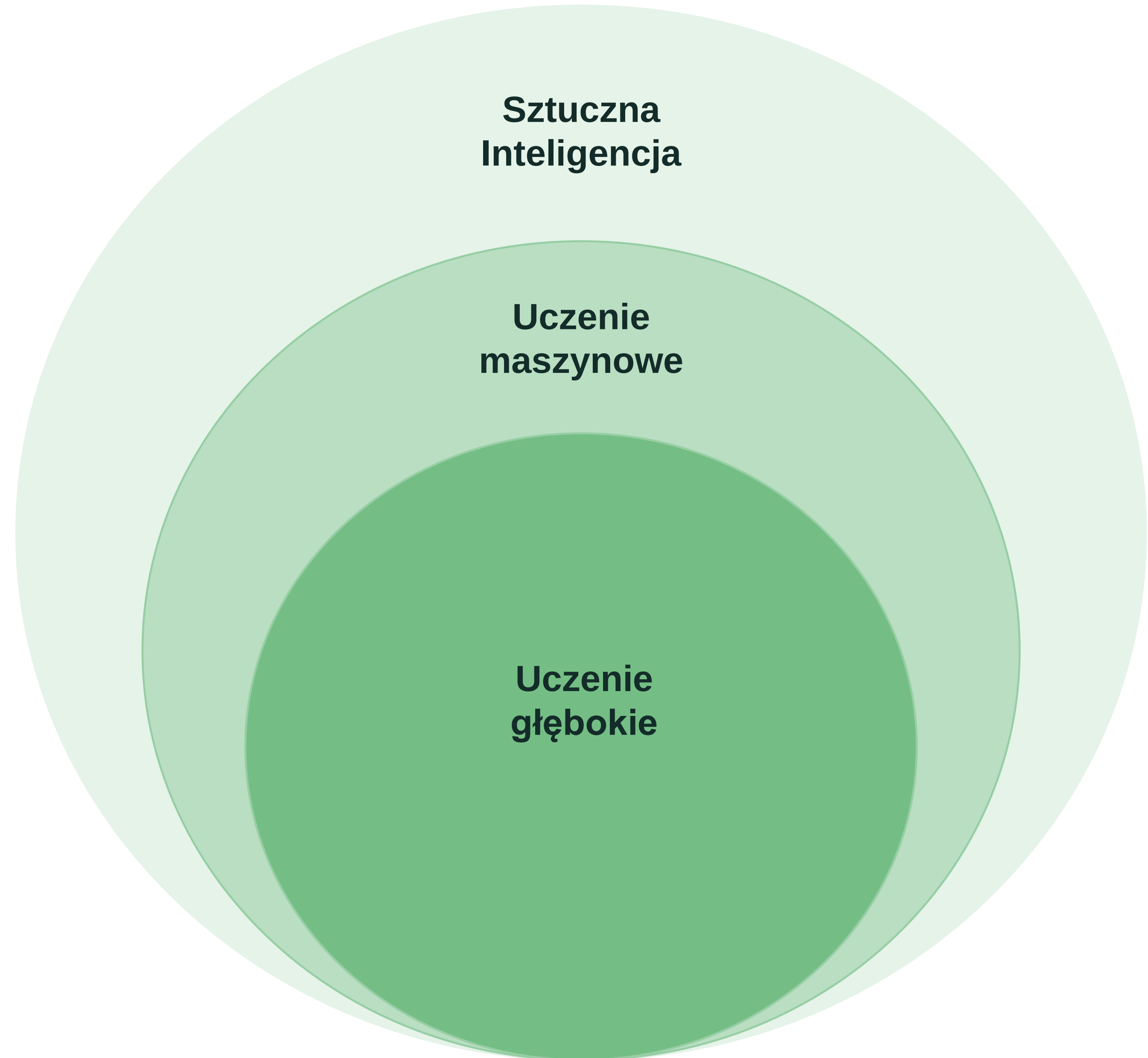


Rola AI w magazynowaniu energii. Źródło: Neeraj Kumar Singal "Unveiling the Transformative Role of AI in Energy Storage".

Sztuczna inteligencja: technika umożliwiająca maszynom naśladowanie ludzkich zachowań.

Uczenie maszynowe: podzbiór sztucznej inteligencji, który wykorzystuje metody statystyczne, aby umożliwić maszynom doskonalenie się wraz z doświadczeniem.

Uczenie głębokie: podzbiór uczenia maszynowego, który umożliwia obliczenie wielowarstwowej sieci neuronowej wykorzystując ogromną ilość danych



Rodzaje systemów uczenia maszynowego:

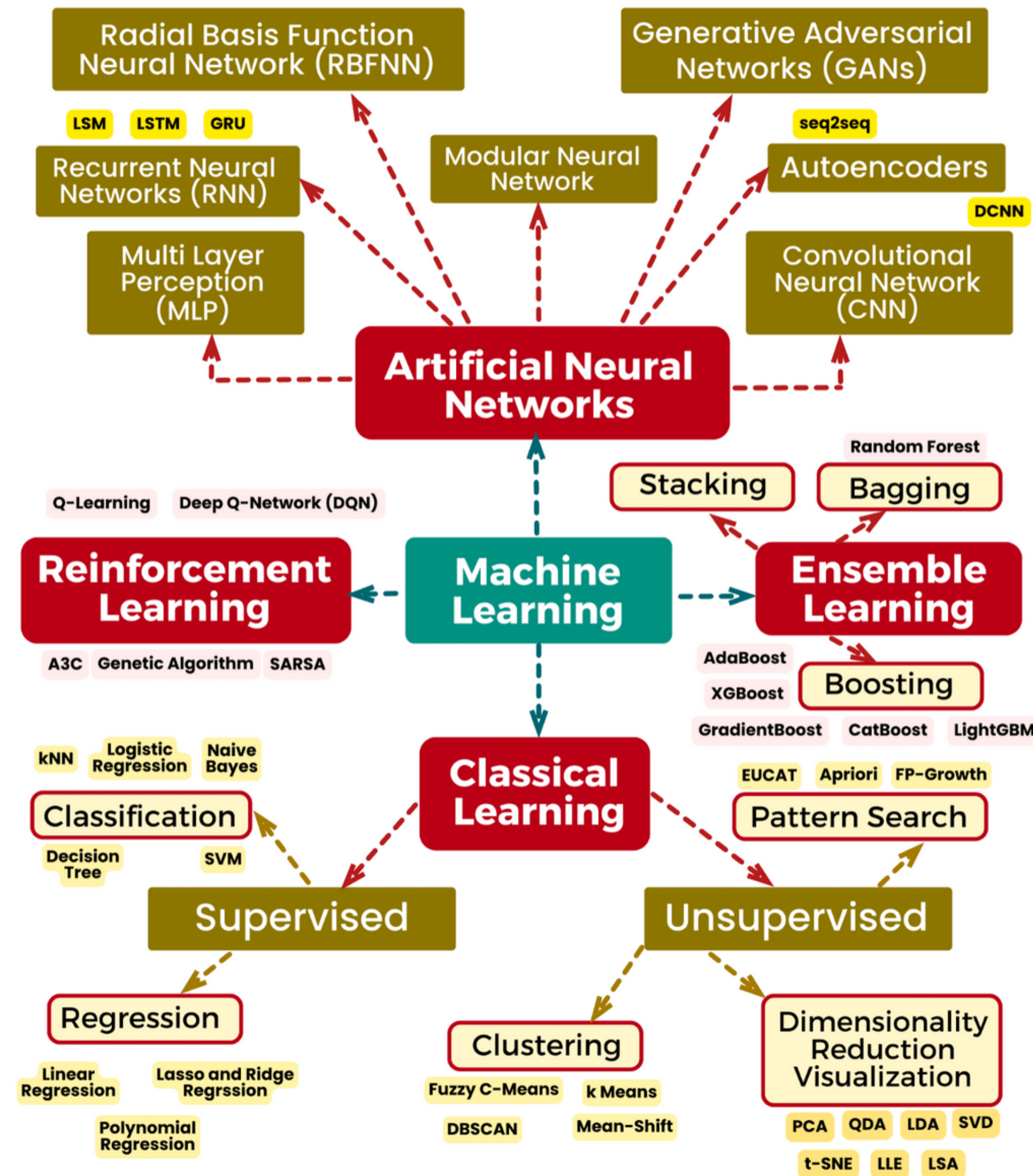
[Uczenie maszynowe to] dziedzina nauki dająca komputerom możliwość uczenia się bez konieczności ich jawnego programowania.

— Arthur Samuel, 1959

Mówimy, że program komputerowy uczy się na podstawie doświadczenia E w odniesieniu do jakiegoś zadania T i pewnej miary wydajności P , jeśli jego wydajność (mierzona przez P) wobec zadania T wzrasta wraz z nabywaniem doświadczenia E .

— Tom Mitchell, 1997

Machine Learning Algorithms



Przykłady użycia uczenia maszynowego

Algorytmy wykrywania anomalii

Algorytmy wykrywania anomalii identyfikują punkty danych, które wykraczają poza zdefiniowane parametry „normalnych” danych. Za pomocą algorytmów wykrywania anomalii można na przykład odpowiadać na pytania takie jak:

- *Gdzie znajdują się wadliwe części w tej partii?*
- *Które zakupy kartami kredytowymi mogą być nieuczciwe?*

Przewidywanie wartości

Algorytmy regresji Przewidują wartość nowego punktu danych na podstawie danych historycznych. Ułatwiają one odpowiadanie na pytania takie jak:

- *Ile będzie średnio kosztować dom z dwiema sypialniami w moim mieście w następnym roku?*
- *Jaka będzie pojutrze cena energii elektrycznej?*

Klasyfikacja

Algorytmy klasyfikacji używają obliczeń predykcyjnych do przypisywania danych do wstępnie ustawionych kategorii. Algorytmy klasyfikacji są trenowane na danych wejściowych i służą do odpowiedzi na takie pytania jak:

- *Czy ta wiadomość e-mail jest spamem?*
- *Jaka jest tonacja (pozytywna, negatywna lub neutralna) danego tekstu?*

Odkrywanie podobieństw

Algorytmy klastrowania dzielą dane na wiele grup, ustalając poziom podobieństwa między punktami danych. Algorytmy klastrowania sprawdzają się dobrze w przypadku pytań takich jak:

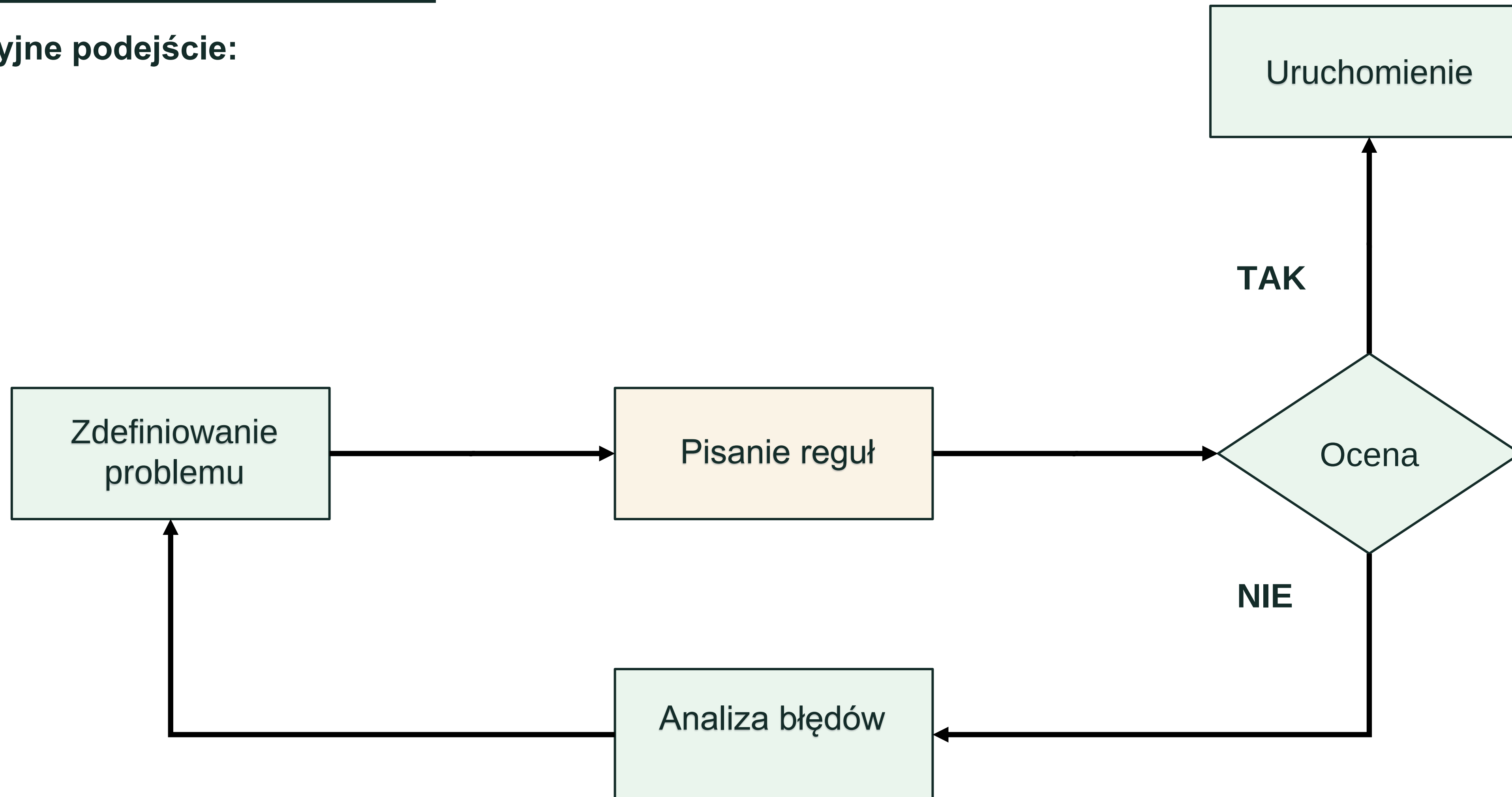
- *Którzy widzowie lubią te same rodzaje filmów?*
 - *Które modele drukarek ulegają awarii w ten sam sposób?*
-

Dlaczego uczenie maszynowe?

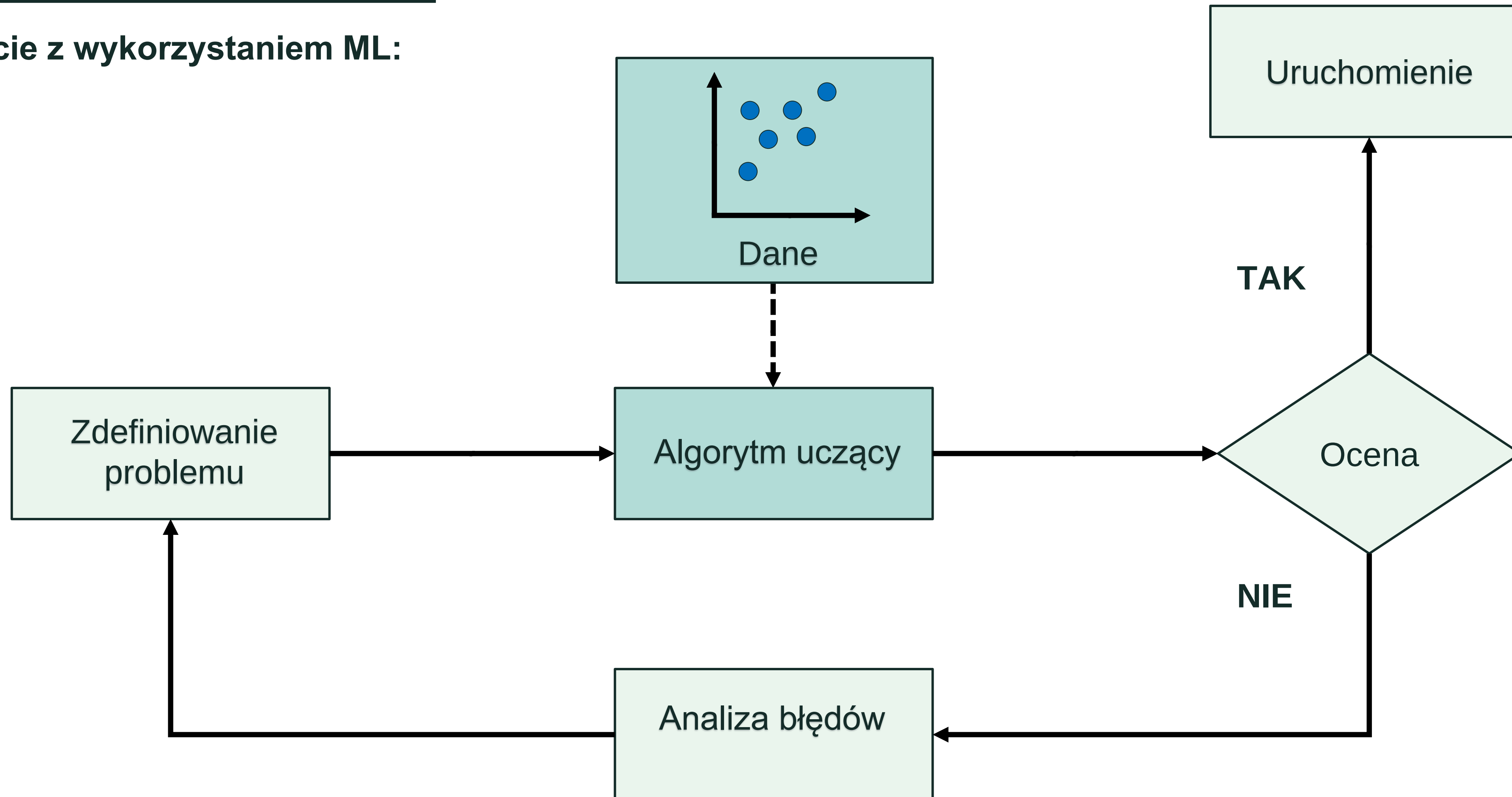
Rozwiązanie ML jest lepsze od klasycznego wtedy gdy nie można zdefiniować reguł, które będą dobrze działać.

-
- ***Brak konieczności ciągłej rozbudowy kodu by wykryć wszystkie nowe reguły. Problem nie jest trywialny i napisany program będzie rozrastał się o większą liczbę skomplikowanych reguł.***
 - ***Analiza ogromnej ilości danych, które są źródłem wiedzy dla algorytmów uczących ML.***
 - ***Odnalezienie związku pomiędzy zmiennymi.***
 - ***Zwiększenie efektywności oraz wydajności magazynów energii.***
-

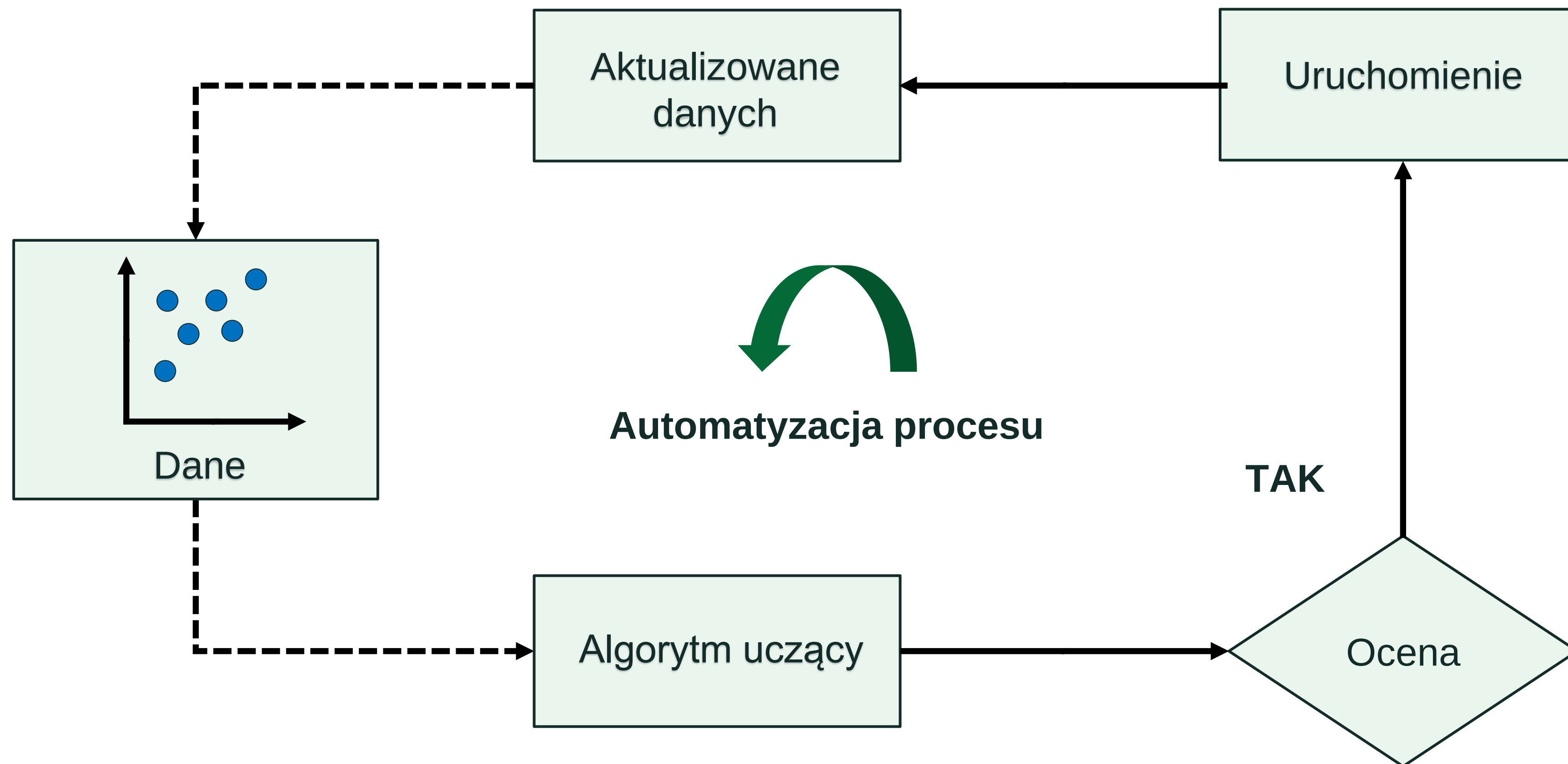
Tradycyjne podejście:

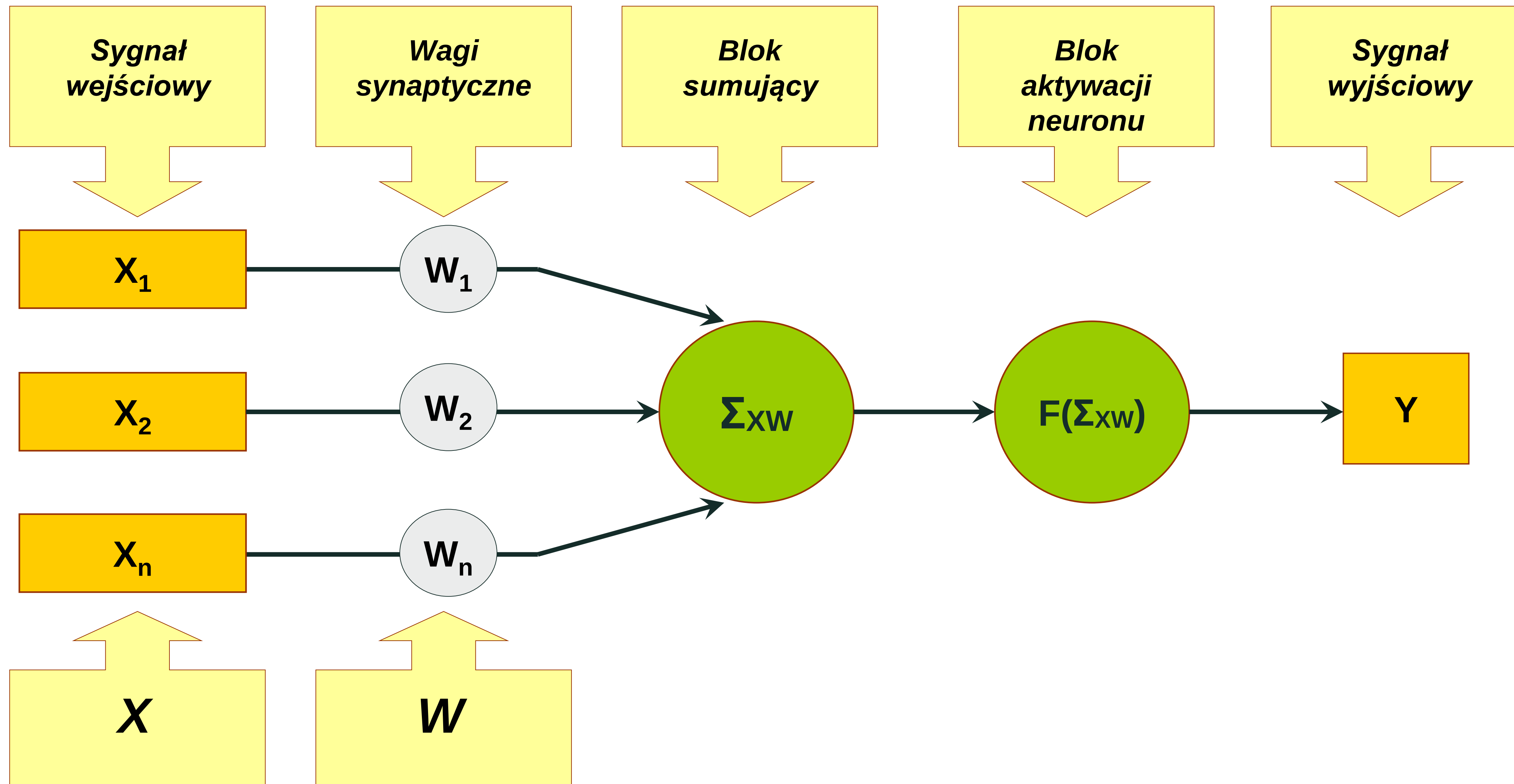


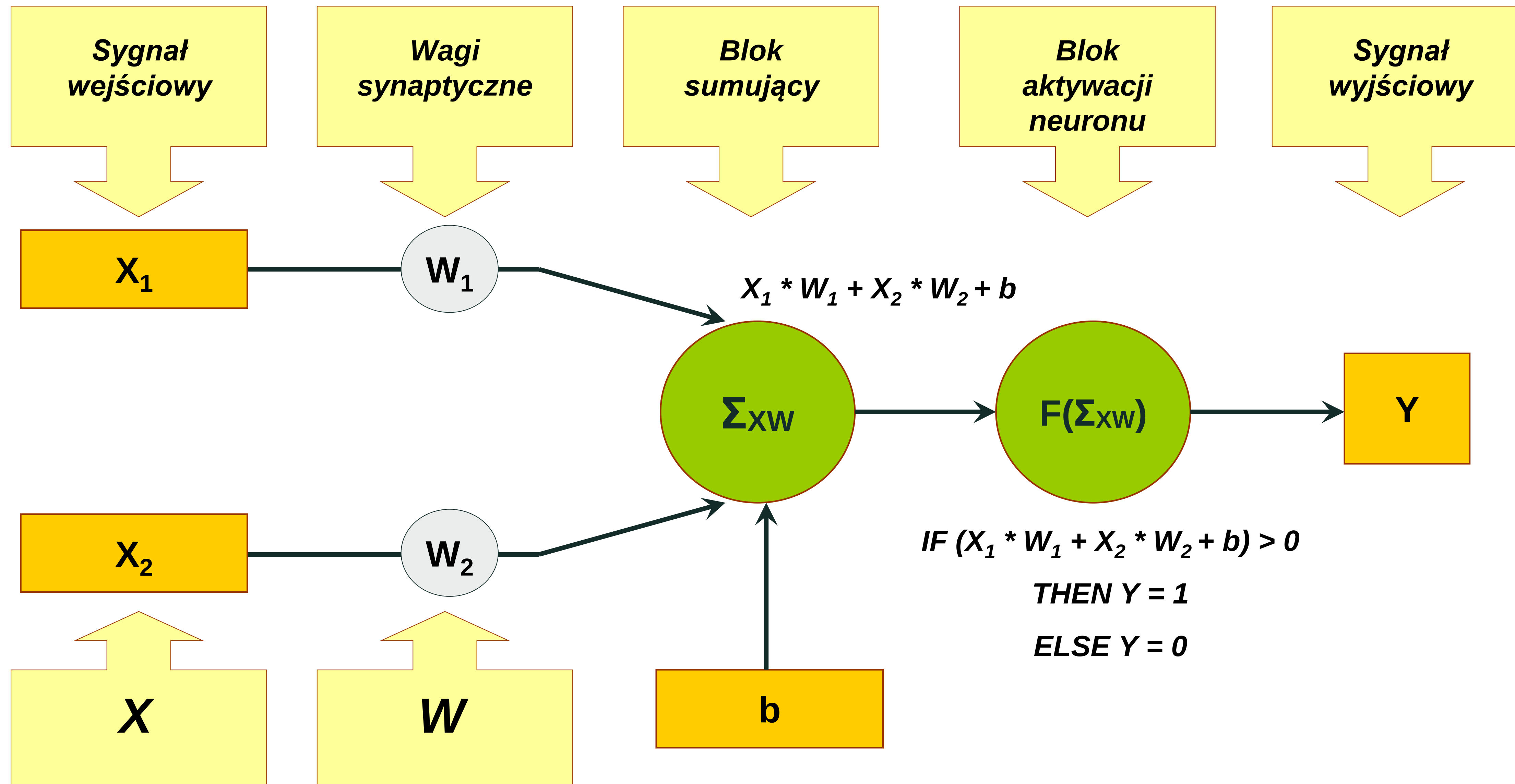
Podejście z wykorzystaniem ML:

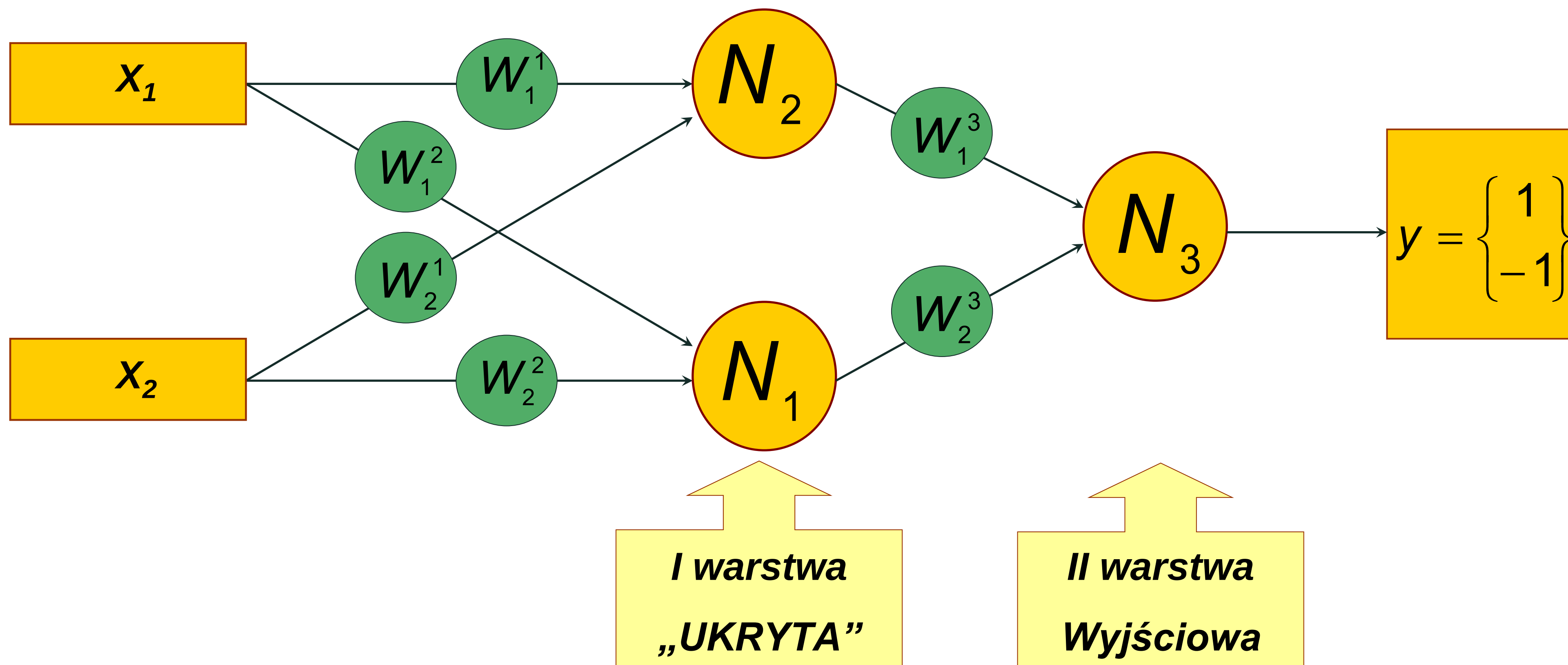


Podejście z wykorzystaniem automatycznego dostosowania zmian:









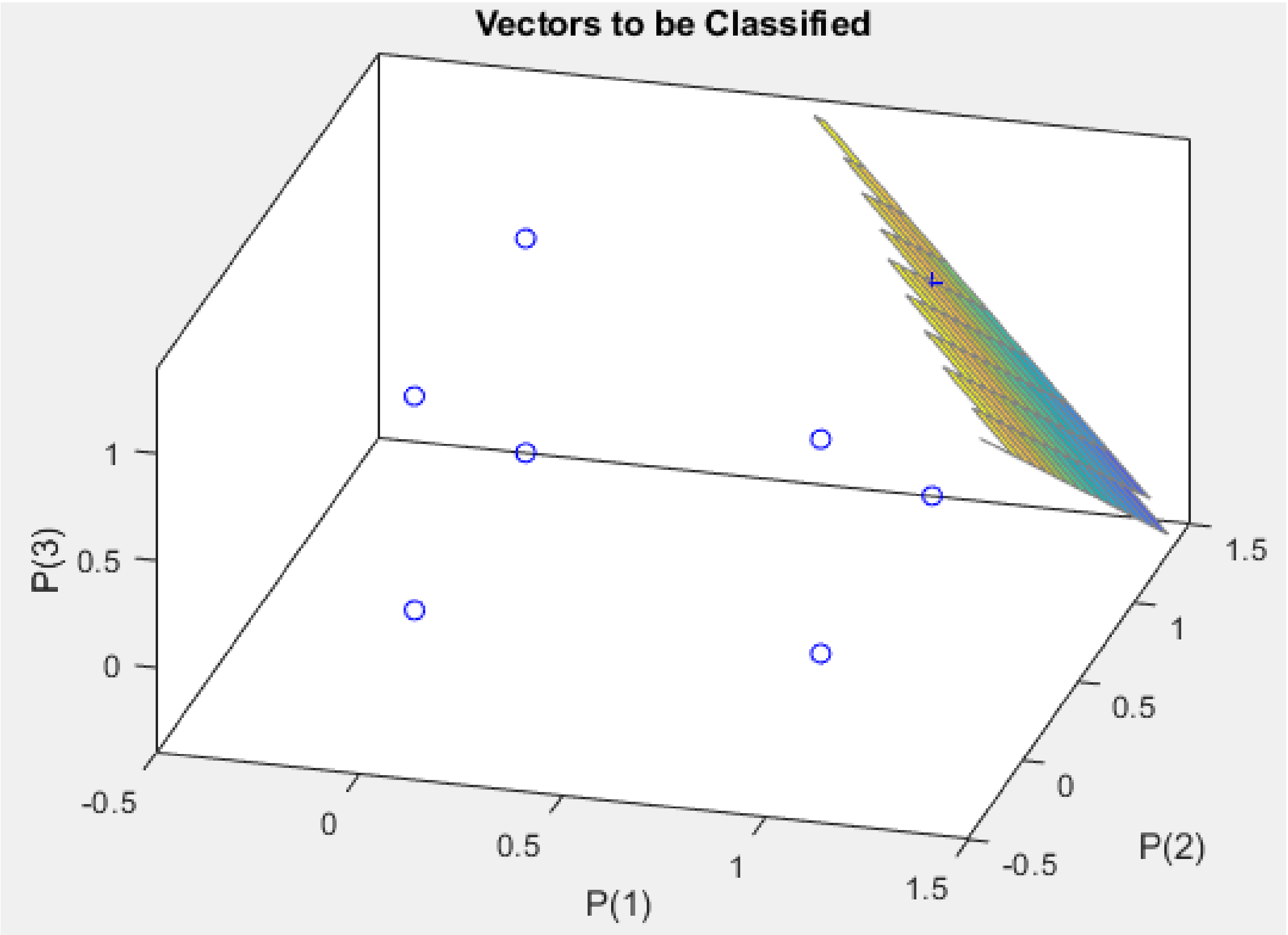
Perceptron działający jak trójwejściowa bramka

%Dane uczące

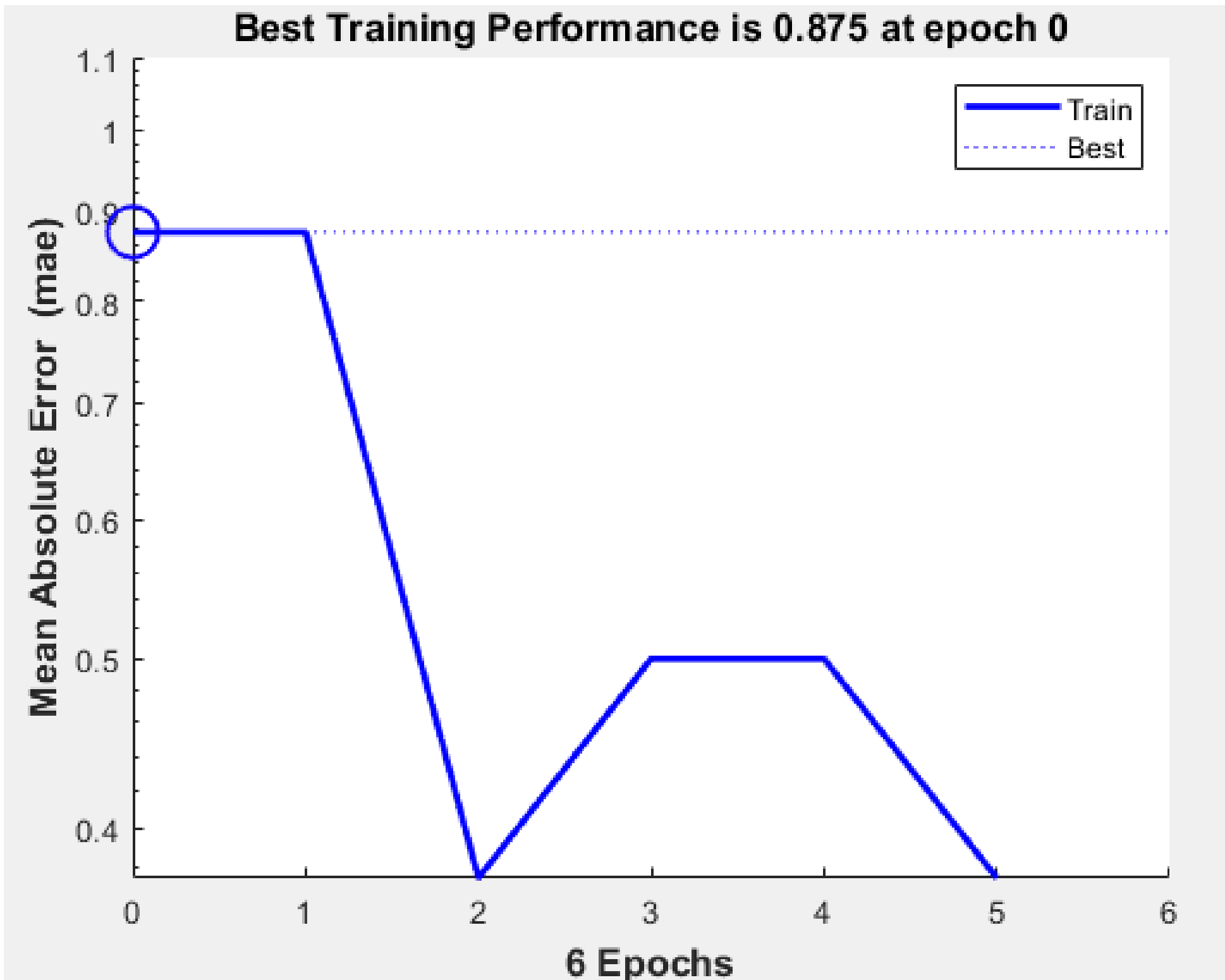
```
Wejscia=[
0 0 0 1 1 1 1;
0 0 1 1 0 0 1 1;
0 1 0 1 0 1 0 1];
Wyjscia=
[0 0 0 0 0 0 0 1];
```

%Dane testujące

```
Wejscia=[
0 0 0 0 1 1 1 1;;
0 1 0 1 0 1 0 1
0 0 1 1 0 0 1 1];
Wyjscia=
[0 0 0 0 0 0 0 1];
```



Płaszczyzna oddzielająca wyniki: Źródło: Materiał własny



Wydajność: Źródło: Materiał własny

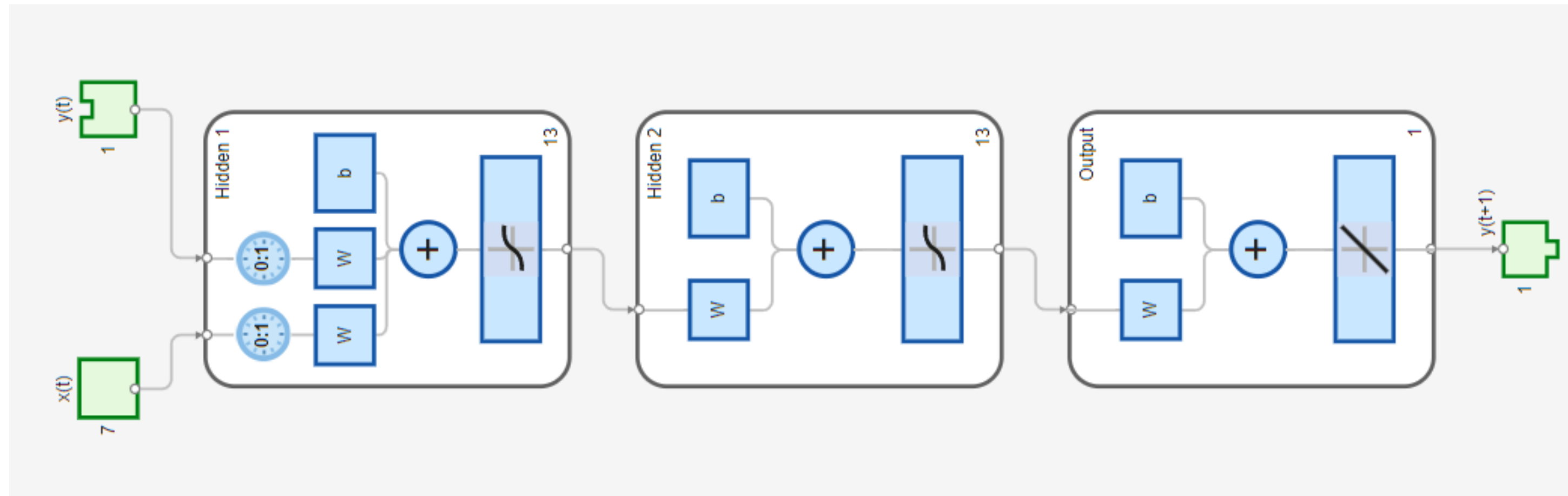
Projekt uczenia maszynowego – estymacja ceny energii elektrycznej

- 1. Przeanalizować całość zadania.*
 - 2. Uzyskanie danych.*
 - 3. Odkrycie i wizualizacja danych w celu rozpoznania wzorców i dodatkowych informacji.*
 - 4. Przygotowanie danych pod względem uczenia maszynowego.*
 - 5. Dobór i wyuczenie modelu.*
 - 6. Dostrojenie modelu.*
 - 7. Uruchomienie, monitorowanie i utrzymywanie systemu.*
-

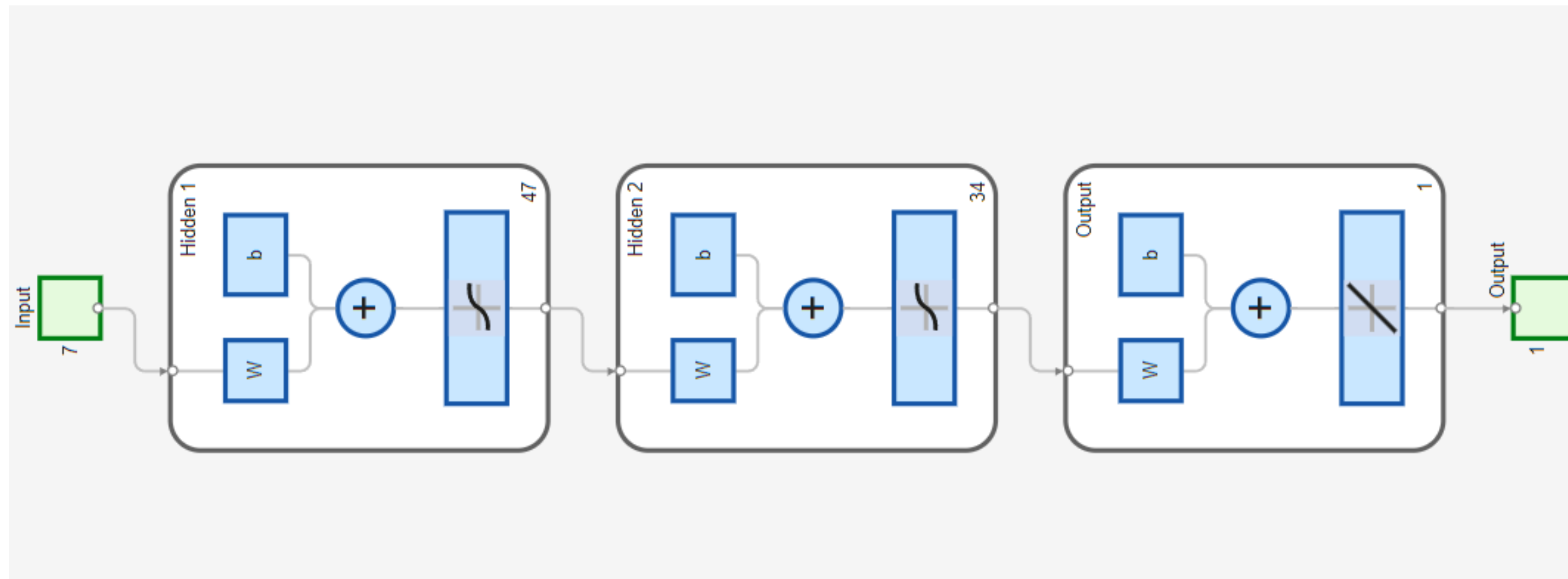
Potok uczenia maszynowego wykorzystany w pracy magazynów energii



Wykorzystanie sieci NARX i MLP

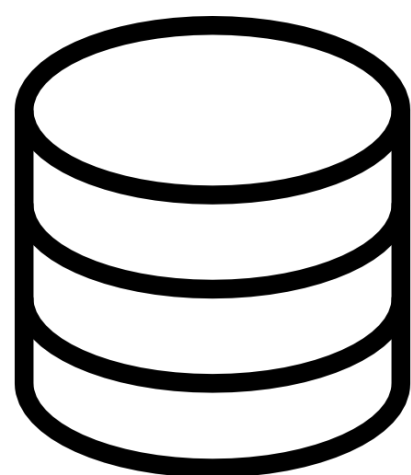
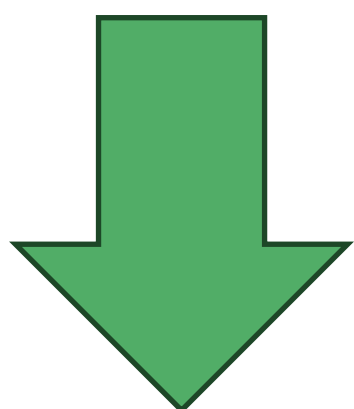


Struktura sieci NARX. Źródło: Materiał własny

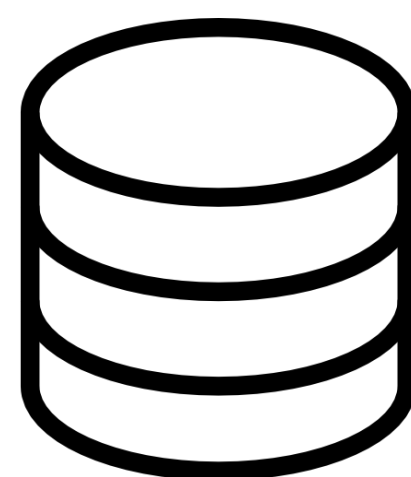
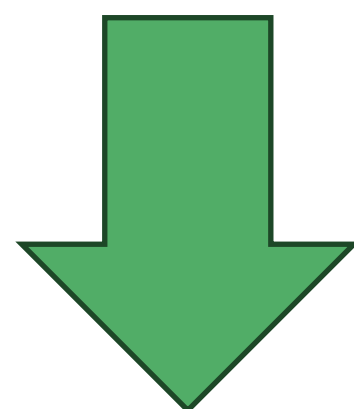


Struktura sieci MLP. Źródło: Materiał własny

Dane oraz ich przygotowanie



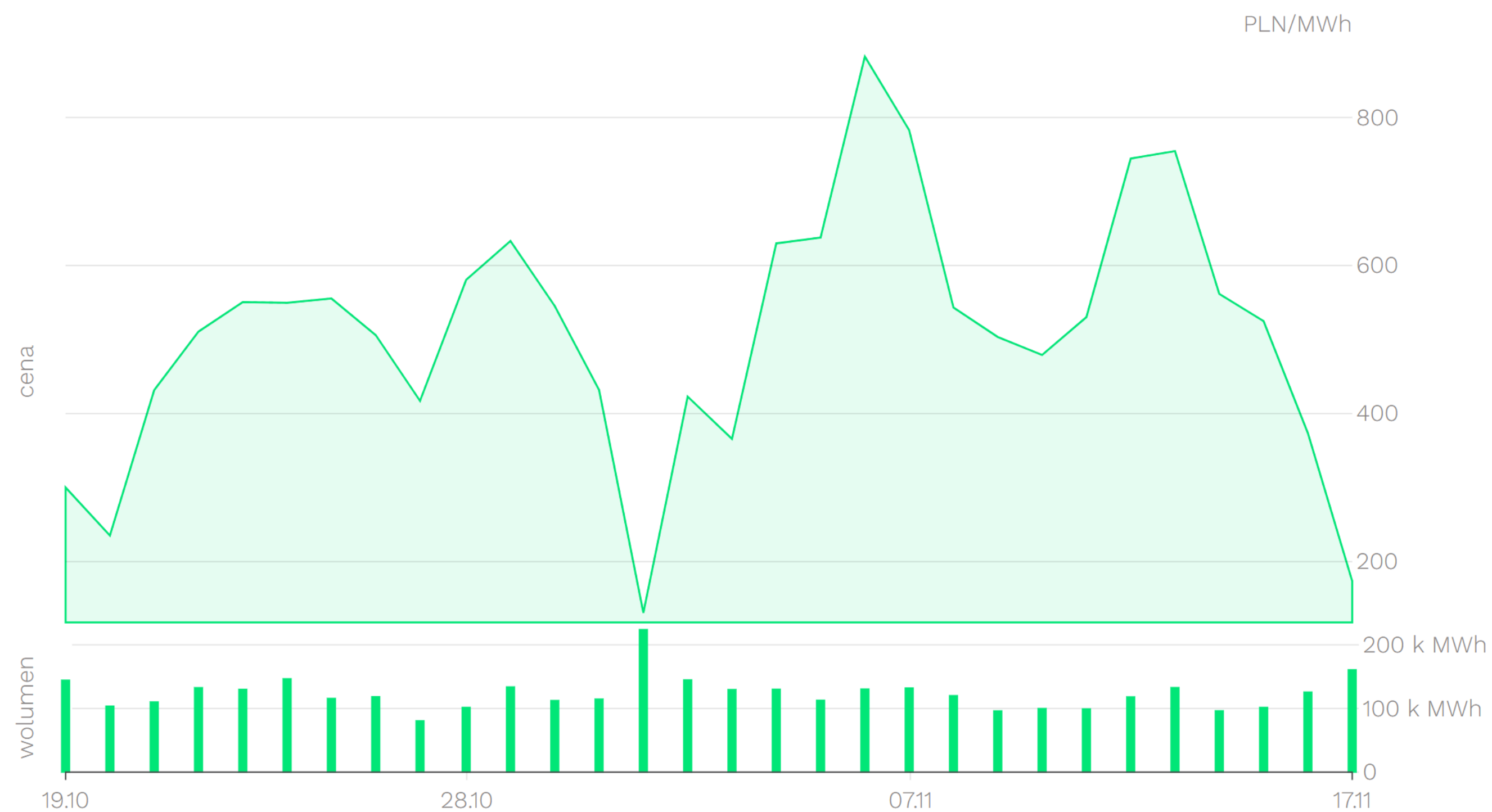
Historyczne dane
pogodowe



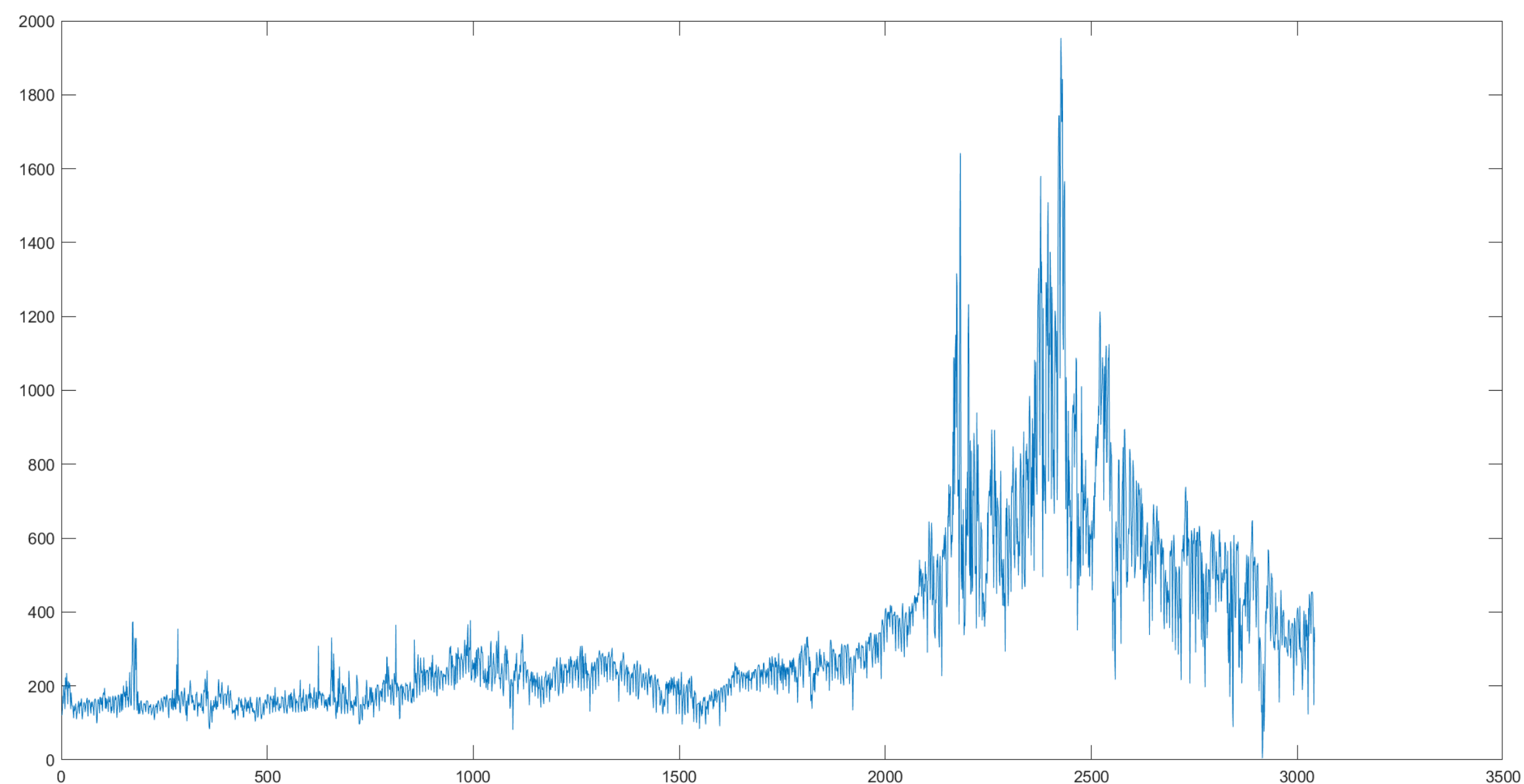
Historyczne
ceny energii

Cena energii elektrycznej z dostawą w kolejnej dobie (RDN)

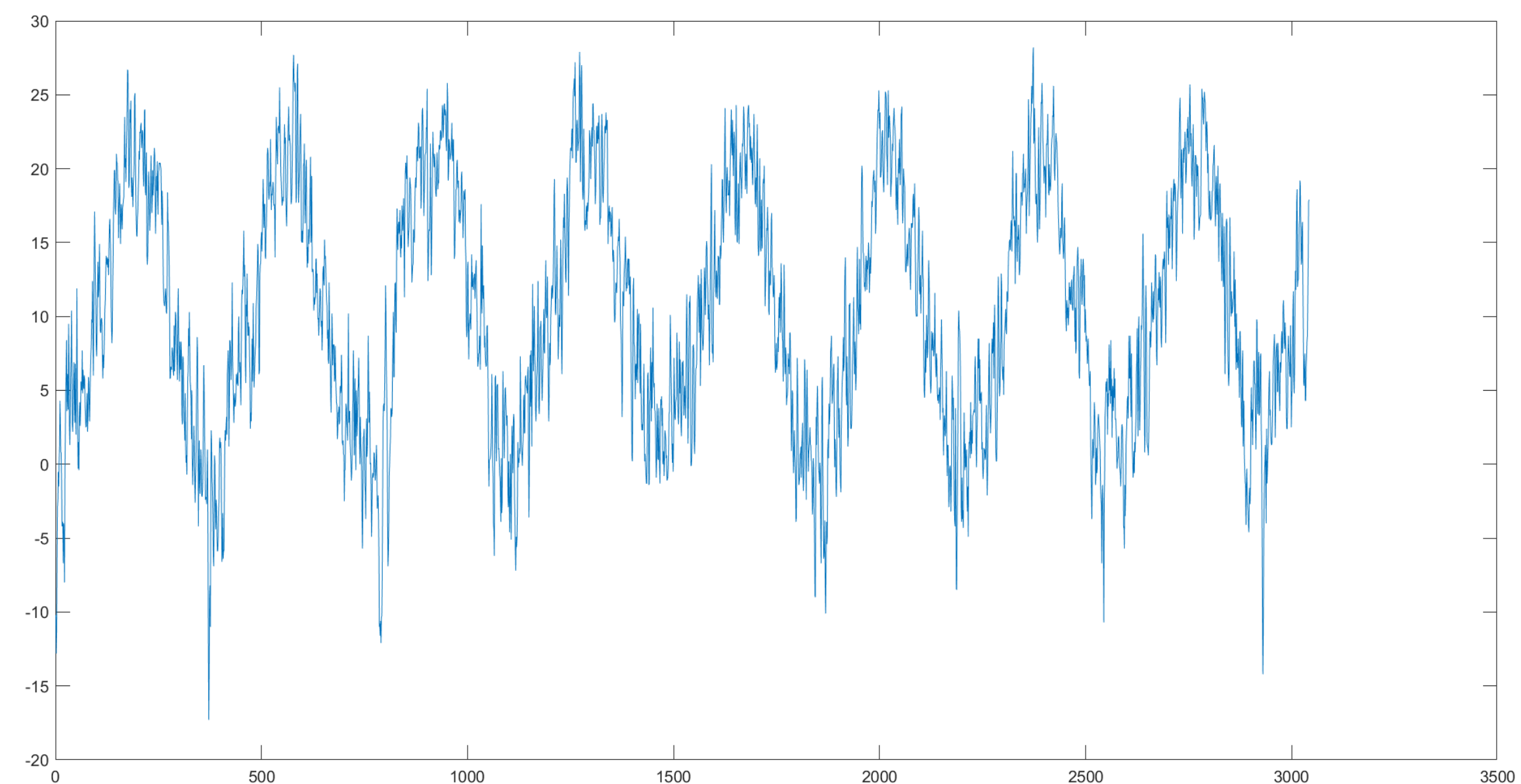
w PLN za megawatogodzinę (PLN/MWh), indeks TGeBase



Analiza danych

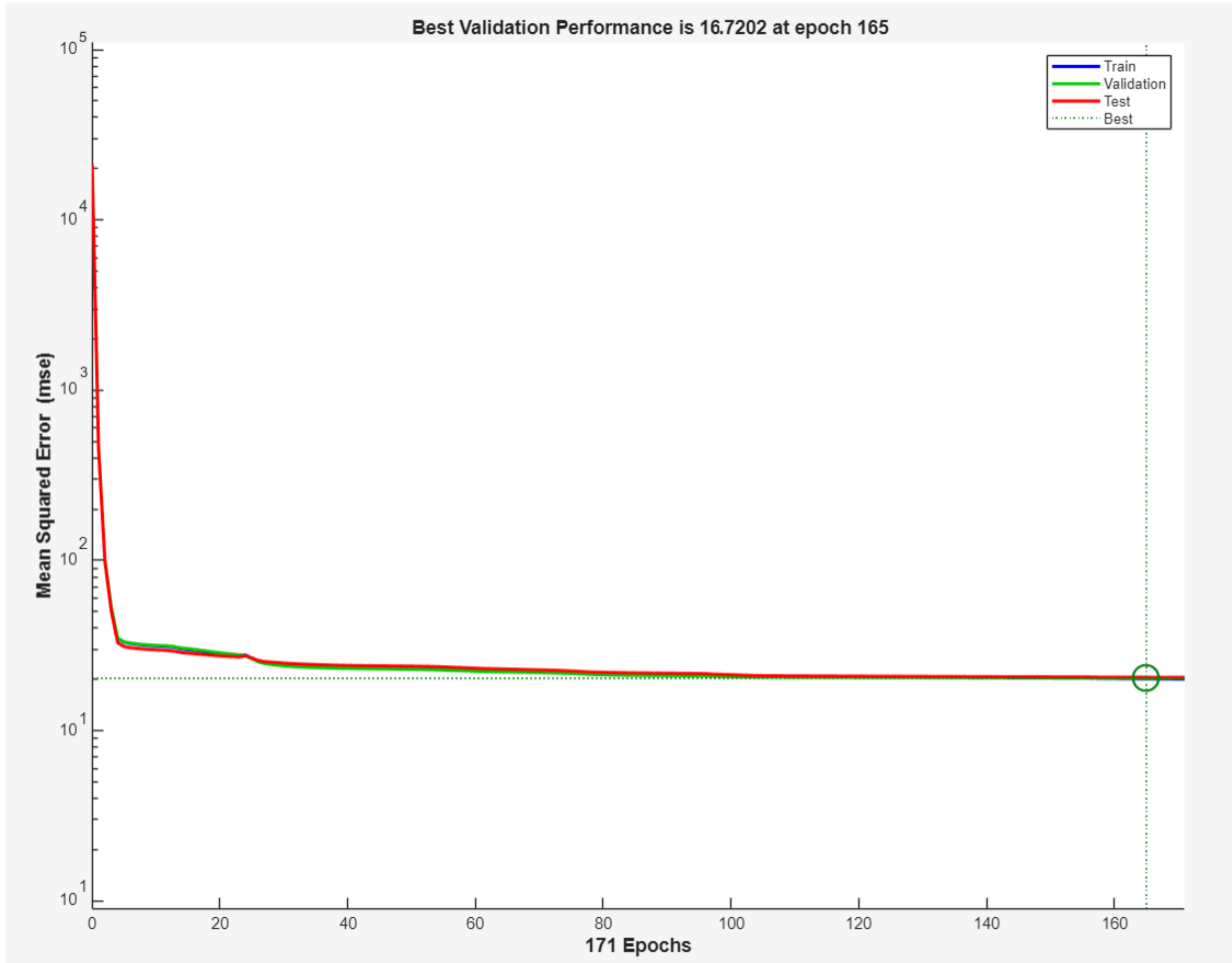


Cena energii TGEbase w okresie od 02.01.2016 – 30.04.2024
Źródło: Energy Instrat



Temperatura w okresie od 02.01.2016 – 30.04.2024
Źródło: IMGW

Sieć MLP

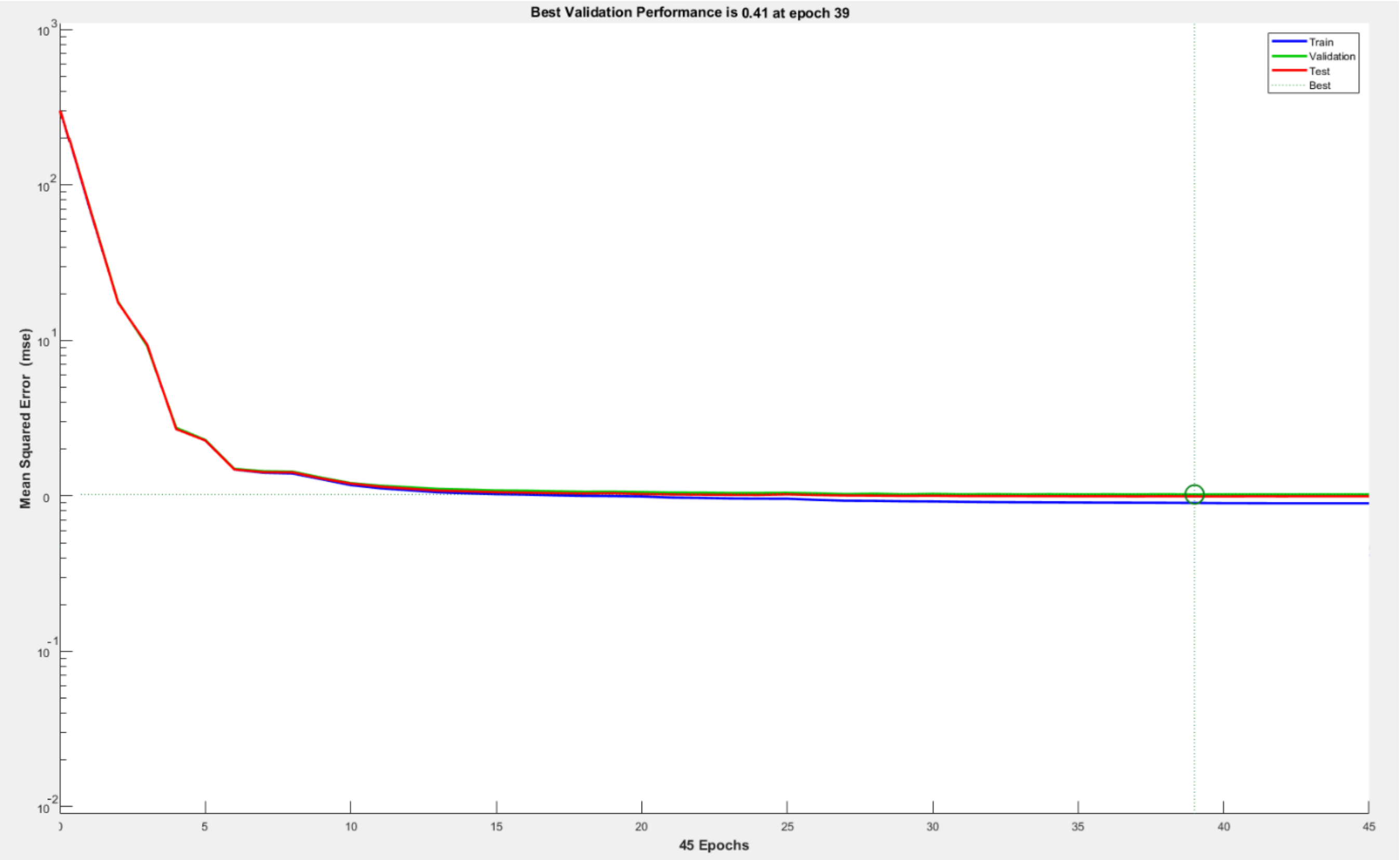


Błąd średniokwadratowy dla sieci MLP. Źródło: Materiał własny

Data	Cena energii	Predykcyjna cena energii	Błąd procentowy
14-11-2024	385,80	311,55	19.25 %
15-11-2024	173,61	228,21	31,45 %
16-11-2024	373,47	477,33	27,81 %
17-11-2024	524,85	416,81	20,59 %
18-11-2024	561,60	443,81	20,97 %

Testowanie sieci neuronowej. Źródło: Materiał własny

Sieć NARX

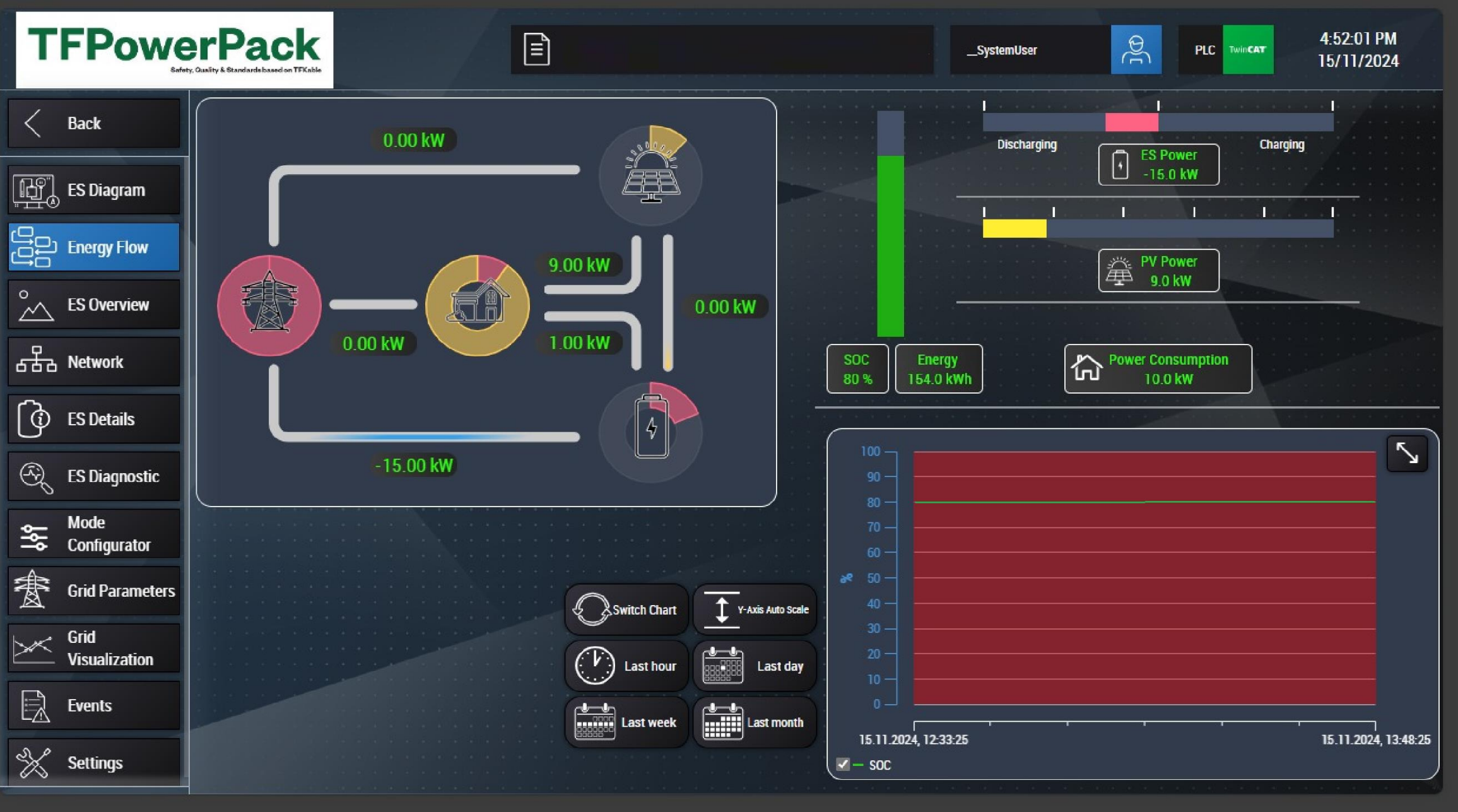


Data	Cena energii	Predykcyjna cena energii	Błąd procentowy
14-11-2024	385,80	334,88	13.20 %
15-11-2024	173,61	209,25	20,53 %
16-11-2024	373,47	354,65	5,04 %
17-11-2024	524,85	540,81	3,04 %
18-11-2024	561,60	497,43	11,43 %

Testowanie sieci neuronowej. Źródło: Materiał własny

Błąd średniokwadratowy dla sieci NARX. Źródło: Materiał własny

Praca magazynu z danymi algorytmu uczenia maszynowego



Działanie magazynu energii w dniu 15.11.2024. Źródło: Materiał własny



Działanie magazynu energii w dniu 18.11.2024. Źródło: Materiał własny

Praca magazynu z danymi algorytmu uczenia maszynowego



Zdjęcia magazynu energii w którym użyto algorytmu ML do predykcji cen energii. Źródło: Materiał własny

Wnioski

- 1. Niedobór danych uczących.***
 - 2. Niereprezentatywne dane uczące.***
 - 3. Zbyt mało parametrów uczących.***
-

TFPowerPack

Safety, Quality & Standards based on TFKable

Dziękuję za uwagę

→ **Michał Jaśkiewicz**
Kierownik Techniczny Wydziału
Produkcji Magazynów Energii
TFKable

