



**Wydział
Elektryczny**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

*Konferencja „Szacowanie i prognozowanie
w sieciach elektroenergetycznych”*

*Wpływ źródeł generacji rozproszonej, odbiorów i magazynów
energii na straty energii oraz poziomy napięć w terenowych sieciach
elektroenergetycznych niskich napięć*

Mirosław Parol, Michał Połecki, Łukasz Rokicki

Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki

**Politechnika
Warszawska**

Warszawa, 22–23 kwietnia 2026 r.



Punkt wyjścia i motywacja

- Terenowe sieci nN przestają być układami pasywnymi: rośnie udział OZE, magazynów energii, pomp ciepła i ładowarek EV.
- Operator musi jednocześnie ograniczać straty energii oraz dotrzymywać warunków napięciowych na końcach magistral i przyłączy.
- Punktem odniesienia w referacie są opublikowane badania wielowariantowe, ich rozszerzeniem jest ocena wariantów z ładowarkami EV AC.

Badania bazowe opublikowano w „Przeglądzie Elektrotechnicznym” (nr 10/2025).

PRZEGLĄD
ELEKTROTECHNICZNY

OPEN ACCESS

Mirosław PAROL¹, Michał POŁECKI², Łukasz ROKICKI³
ORCID: ¹0000-0003-1947-7477, ²0000-0002-8605-6501, ³0000-0003-3539-708X
DOI: 10.15199/48.2025.10.6

Wpływ sposobu budowy sieci niskiego napięcia na straty energii i warunki napięciowe

Impact of way of construction of low voltage grid on energy losses and voltage conditions

¹ prof. dr hab. inż. Mirosław Parol, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: miroslaw.parol@pw.edu.pl

² mgr inż. Michał Polecki, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: michal.polecki@pw.edu.pl

³ dr inż. Łukasz Rokicki, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: lukasz.rokicki@pw.edu.pl

Adres do korespondencji: miroslaw.parol@pw.edu.pl

Streszczenie: W niniejszym artykule zostanie przedstawiona analiza wpływu źródeł generacji rozproszonej, magazynów energii oraz sposobu budowy - możliwych wariantów modernizacji sieci niskich napięć - na straty energii i warunki napięciowe występujące w terenowych sieciach elektroenergetycznych nN. Najpierw zostanie scharakteryzowana testowa sieć terenowa nN, w której to sieci zostaną przeprowadzone później wielowariantowe obliczenia dotyczące rozptyłów mocy oraz poziomów napięć dla różnych przedziałów czasowych doby oraz pór roku. Zostaną krótko scharakteryzowane występujące w sieci odbiory mocy oraz zastosowane źródła generacji rozproszonej i magazyny energii elektrycznej. Przedmiotem szczegółowej analizy będą wartości sumarycznych strat energii oraz warunki napięciowe w sieci testowej dla zastosowanych różnych typów przewodów zasilających, występujących w linii magistralnej i na przyłączych.

Słowa kluczowe: sieć niskiego napięcia, budowa sieci, rozproszone źródła energii, straty energii, warunki napięciowe

Abstract: Analysis of impact of the distributed energy sources, electrical energy storages and way of construction – possible variants of low voltage grid modernization on energy losses and voltage conditions in rural LV electric power grids will be presented in the paper. First, a test LV rural grid will be characterized. Multi-variant calculations concerning power flows and voltage levels for different time intervals of day and night and seasons of year will be carried out later in the grid. Power loads located in the grid and used distributed energy sources and electrical energy storages will be characterized shortly. Values of total energy losses and voltage conditions in the test grid for different types of supply conductors (feeders) in bus (main) line and in consumer service lines will be subject of the detailed analysis.

Zakres badań

Część I – wyniki bazowe

- 36 wariantów opublikowanych w artykule.
- Magistrale 70 / 95 mm² oraz przyłącza 16 / 25 / 35 mm².
- Trzy stany pracy: bez źródeł OZE i magazynów energii, OZE bez magazynów energii, OZE + magazyny energii.
- Metryki: dobowe straty energii, napięcie minimalne, średnie i maksymalne, odchylenie standardowe napięcia.

Pytanie badawcze: jak połączenie źródeł OZE, magazynów energii i ładowarek EV wpływa na stan pracy sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia?

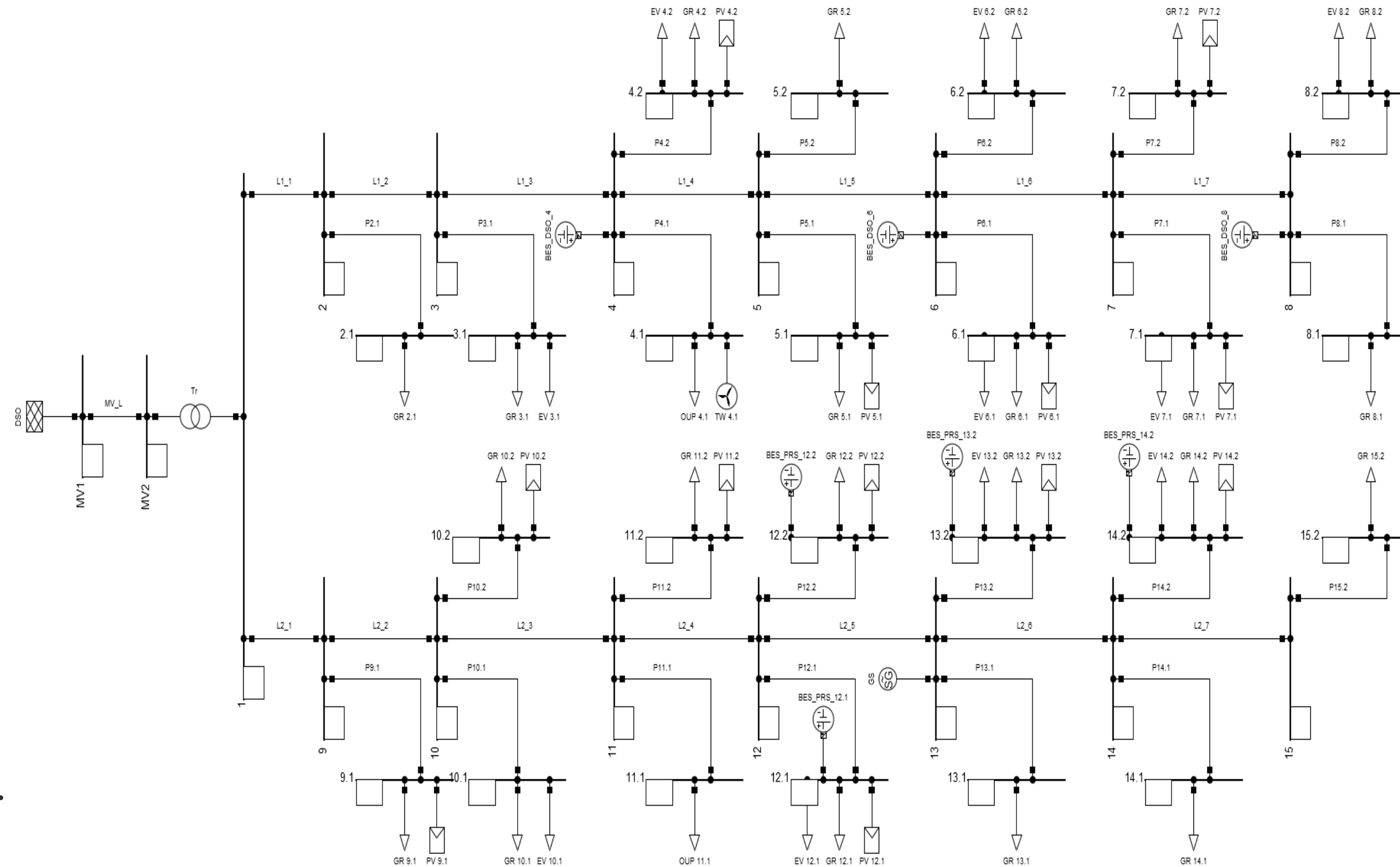
Część II – rozszerzenie o EV

- Dodatkowe badania dla wariantu referencyjnego M70_P25.
- Dodanie 10 ładowarek EV AC o mocach do 22 kW.
- Scenariusze: lato, dzień roboczy oraz zima, dzień roboczy



Model testowej sieci terenowej nN

- Zasilanie z sieci SN przez linię AFL-6 $3 \times 35 \text{ mm}^2$ i transformator 100 kVA.
- Układ magistralny: dwie linie AsXS 70 mm^2 ; 24 przyłącza i 24 odbiory.
- Przyłącza AsXS / YAKY o przekrojach 25 mm^2 .
- Źródła OZE: PV 5–15 kW, mikroturbina wiatrowa 10 kW, mikroturbina na biogaz 9,6 kW.
- Magazyny: 3 nasłupowe OSD 50 kW / 105 kWh oraz 4 magazyny prosumenckie.

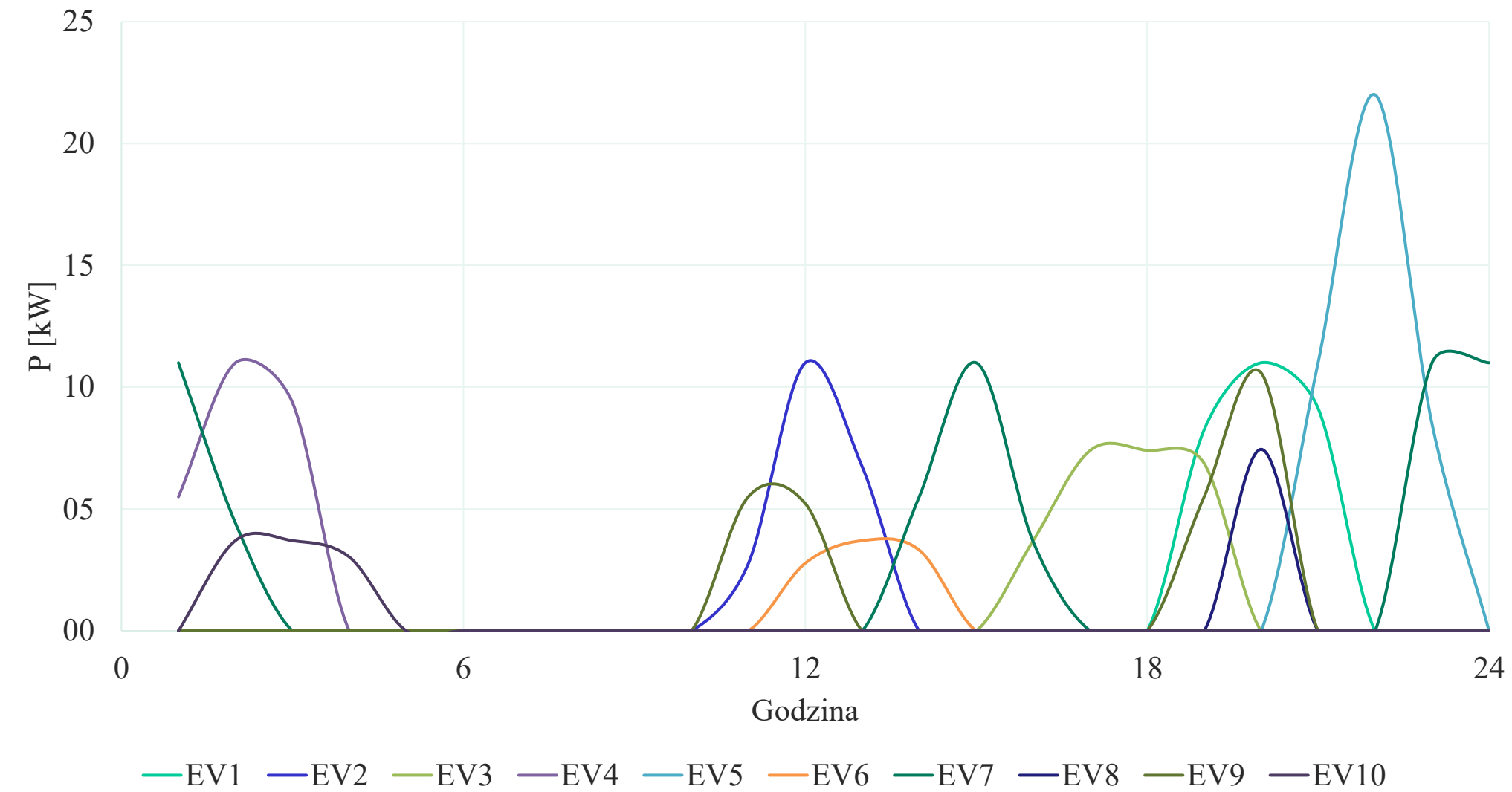


Model testowej sieci dystrybucyjnej nN opracowany w programie PowerFactory.

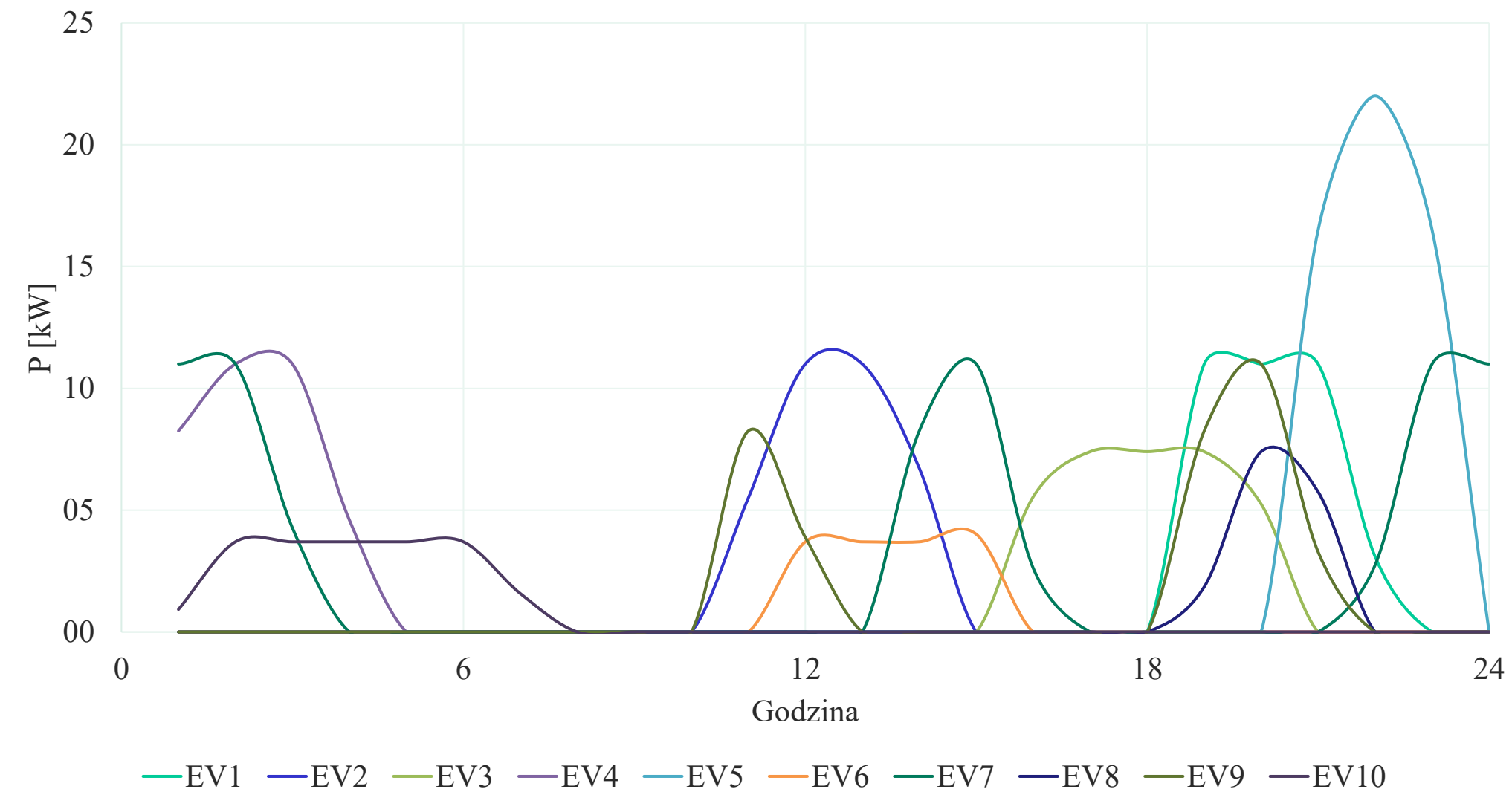
Profile dobowych ładowań EV

- 10 syntetycznych profili ładowania EV.
- Moc pojedynczego punktu ładowania AC do 22 kW, ograniczona przez ładowarkę pokładową pojazdu.
- Energia dobową, pobraną przez ładowarki latem wynosi 253,6 kWh, zimą 351,8 kWh.
- Dominują ładowania wieczorne.

Profile ładowania EV - lato, dzień roboczy



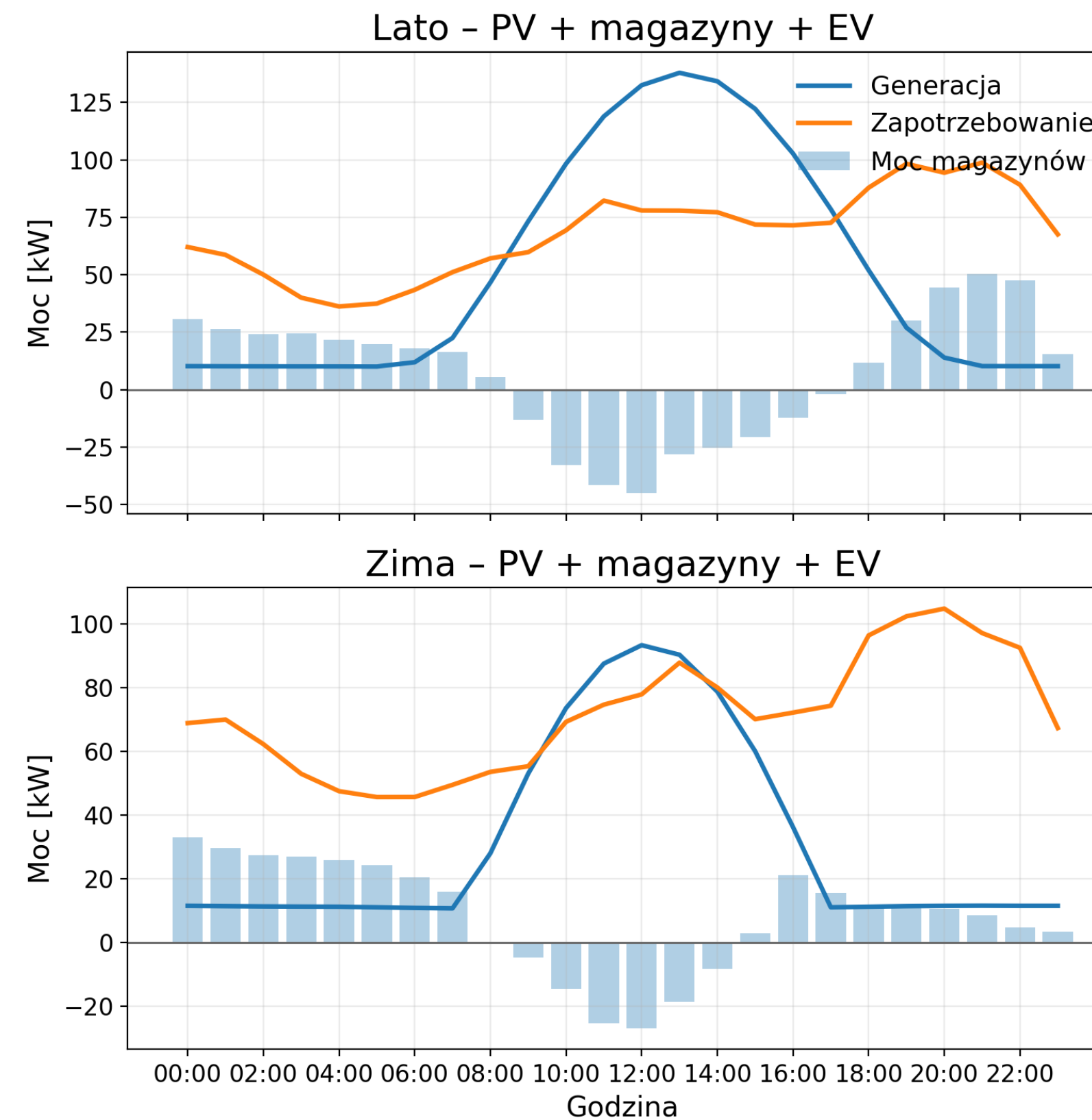
Profile ładowania EV - zima, dzień roboczy



Warianty po rozszerzeniu o EV

- Dodatkowe badania wykonano dla wariantu M70_P25.
- Rozpatrzono trzy przypadki: bez źródeł OZE i magazynów energii, źródła OZE bez magazynów energii, źródła OZE + magazyny energii.
- Magazyny prosumenckie bilansują moc w punkcie przyłączenia, magazyny nasłupowe ograniczają przepływ mocy w magistrali.
- Latem magazyny skutecznie przenoszą nadwyżkę OZE z południa na szczyt wieczorny, zimą okno współpracy z OZE jest krótsze.

Przebieg dobowego bilansu mocy - wariant referencyjny M70_P25

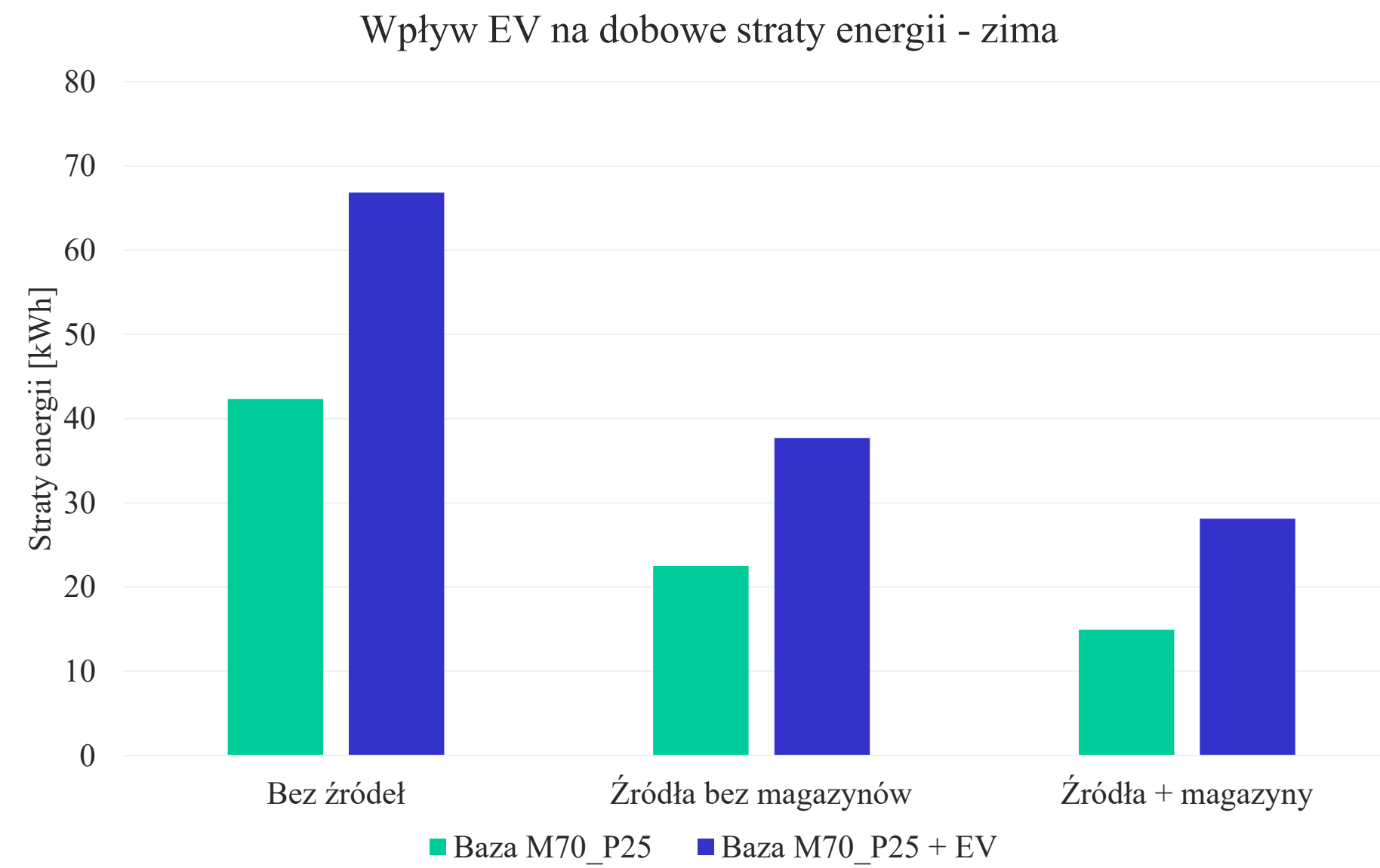
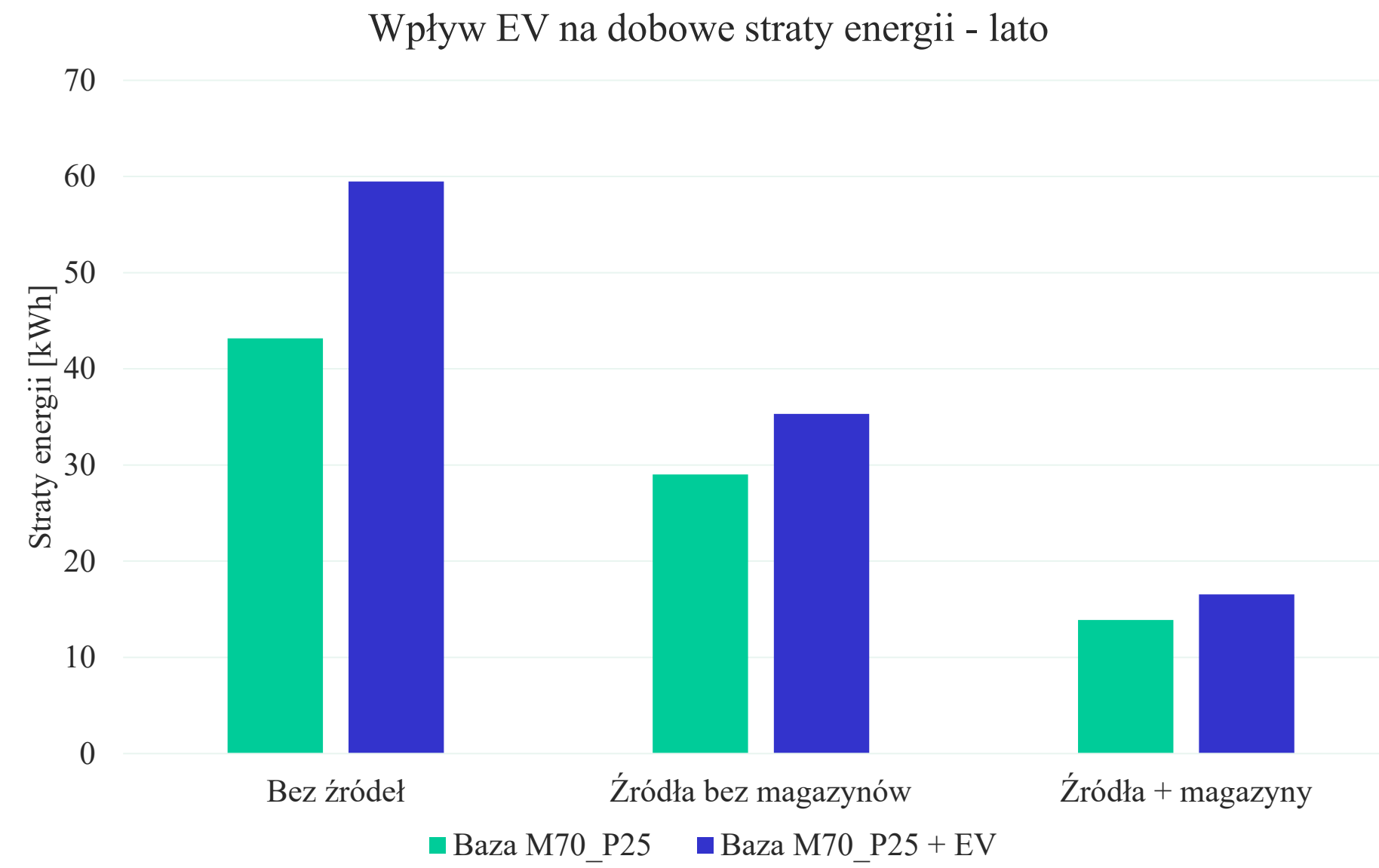


Wybrane porównanie: baza M70_P25 vs M70_P25 + EV

Scenariusz	Straty energii [kWh/d]	U _{min} W8 [p.u.]	U _{max} W15.2 [p.u.]
Bez źródeł OZE	L: 43.2→59.5 (+38%) Z: 42.3→66.8 (+58%)	L: 0.932→0.902 Z: 0.933→0.903	L: 0.986→0.986 Z: 0.976→0.972
Źródła OZE bez magazynów energii	L: 29.0→35.3 (+22%) Z: 22.5→37.7 (+67%)	L: 0.937→0.909 Z: 0.940→0.911	L: 1.028→1.026 Z: 1.012→1.008
Źródła OZE + magazyny energii	L: 13.9→16.6 (+19%) Z: 14.9→28.1 (+88%)	L: 0.972→0.950 Z: 0.942→0.913	L: 1.020→1.017 Z: 0.997→0.994
Wniosek	EV zwiększa straty energii we wszystkich stanach pracy.	Minimalne wartości napięcia są wyraźnie niższe.	Maksymalne wartości napięcia lekko obniżają się.

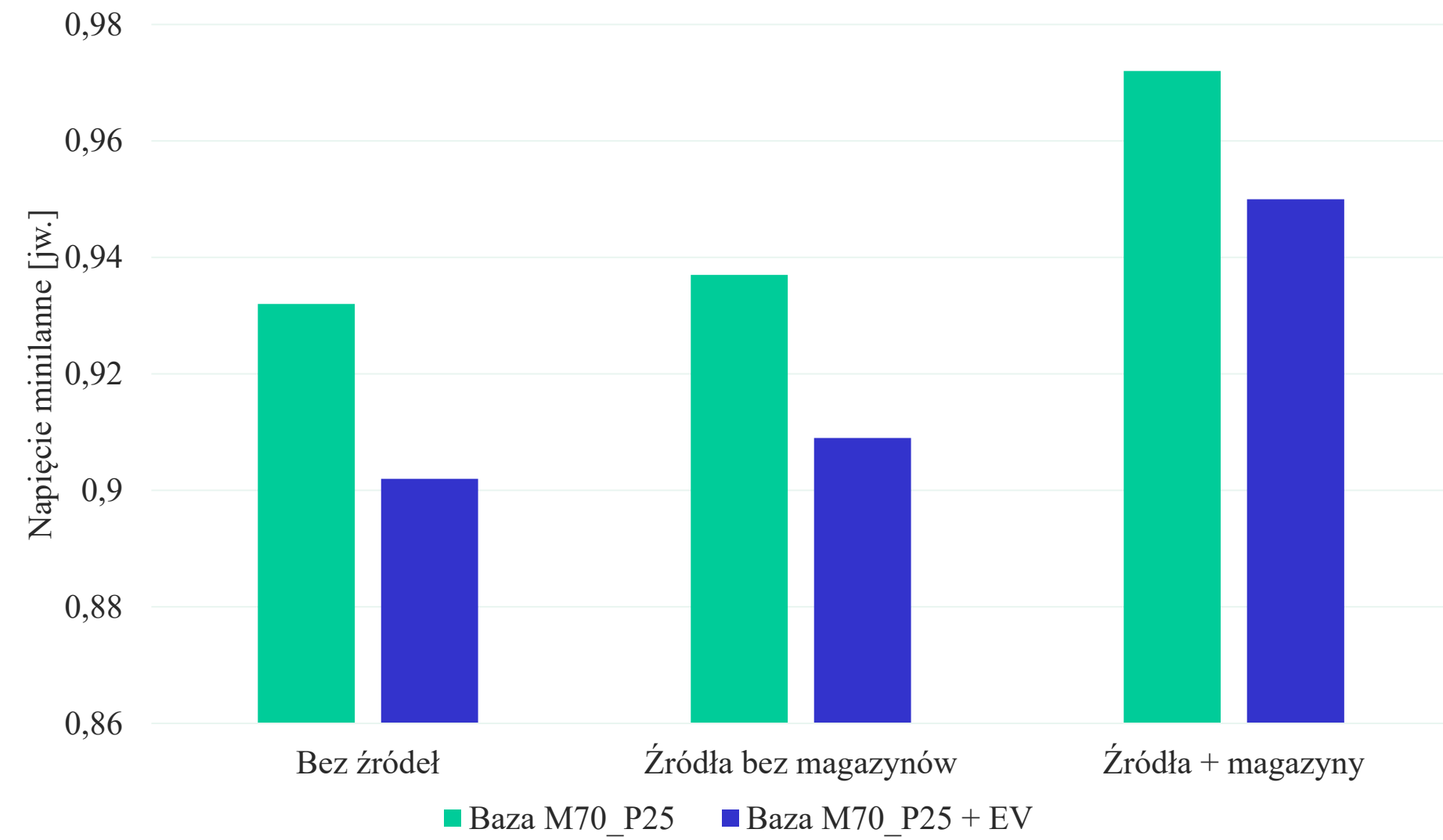
Kluczowy efekt: EV zwiększa spadki napięć, ale pomaga częściowo skonsumować nadwyżkę generacji OZE.

Wpływ EV na straty energii

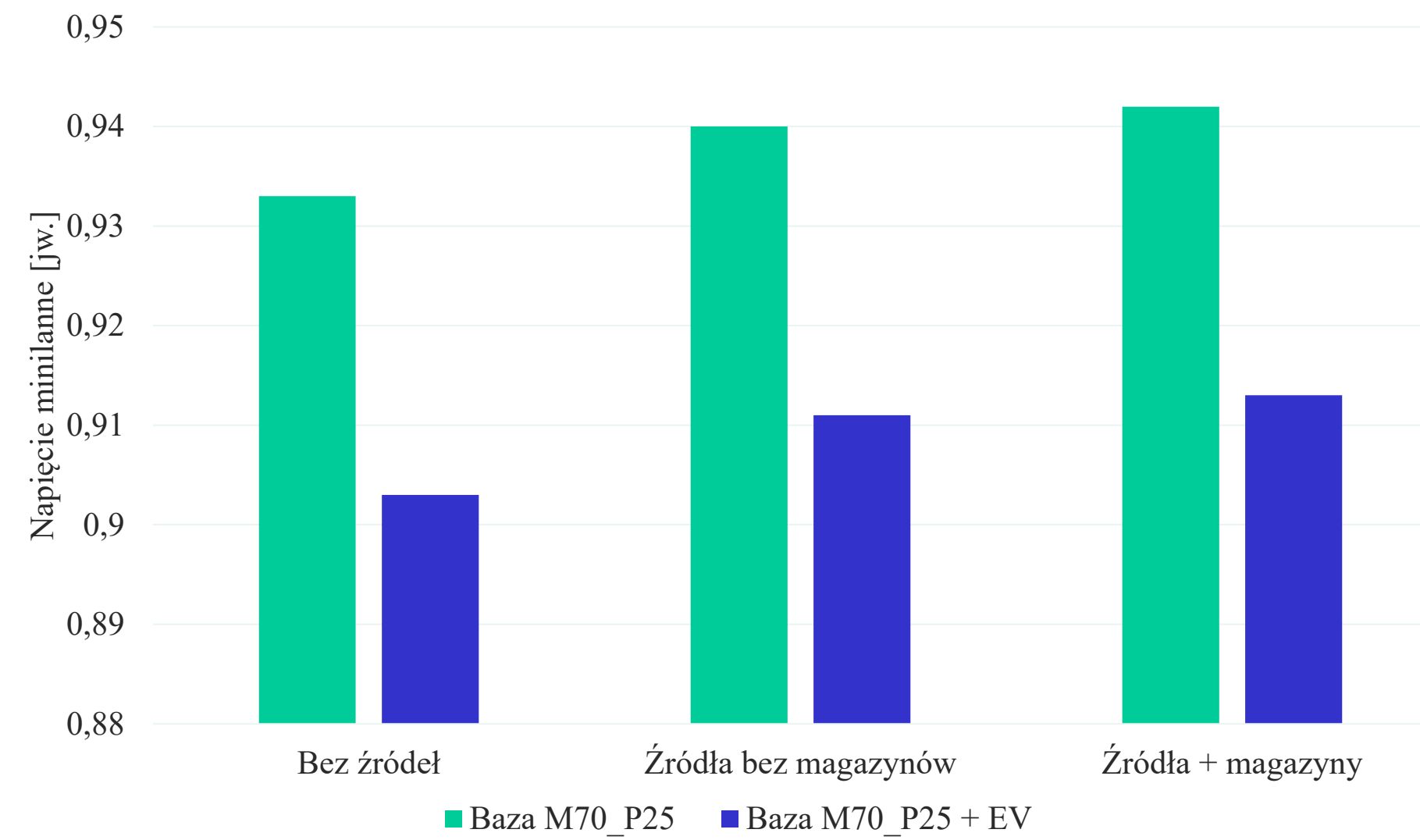


Wpływ EV na warunki napięciowe

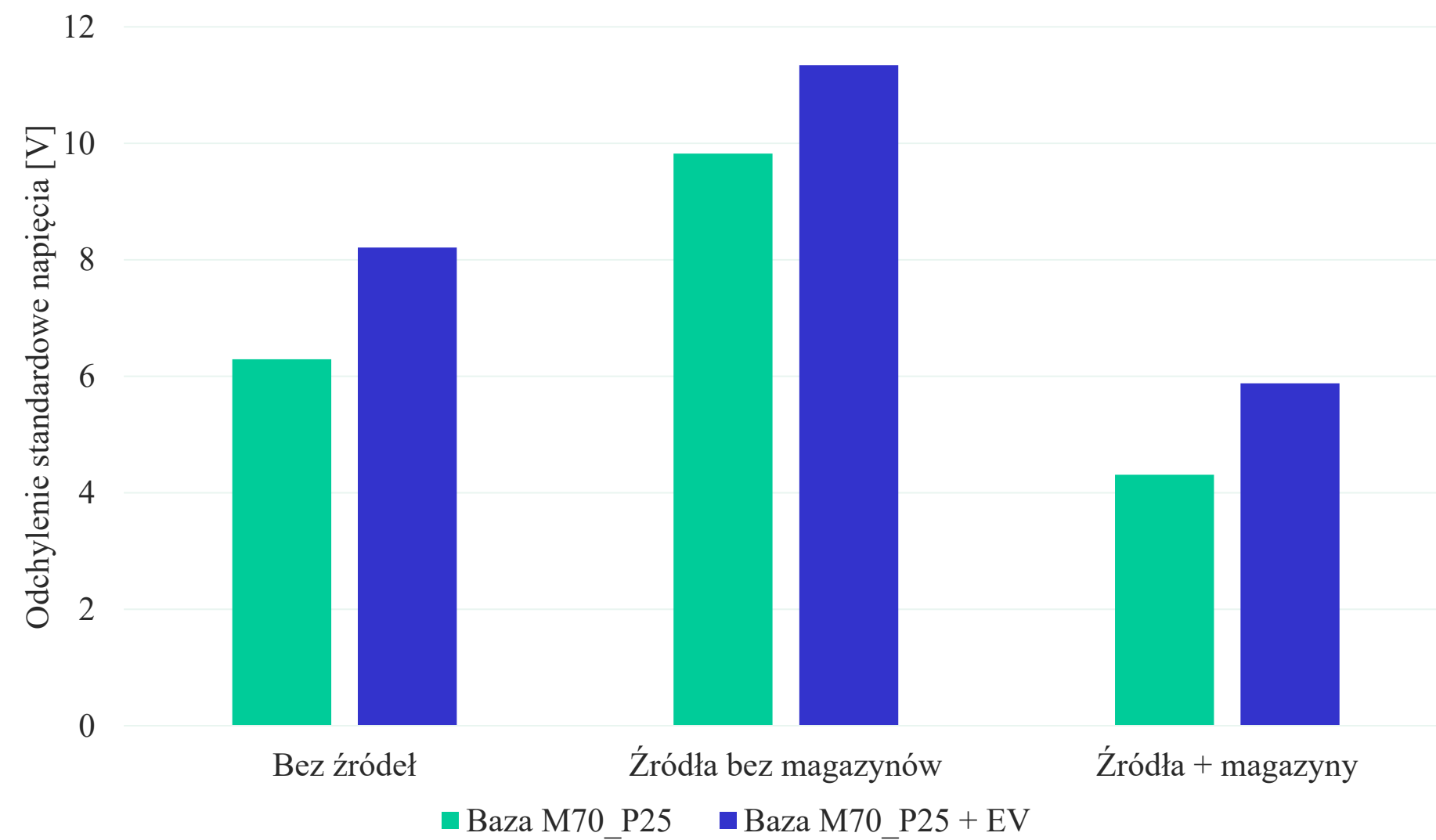
Wpływ EV na minimalną wartość napięcia - węzeł 8, lato



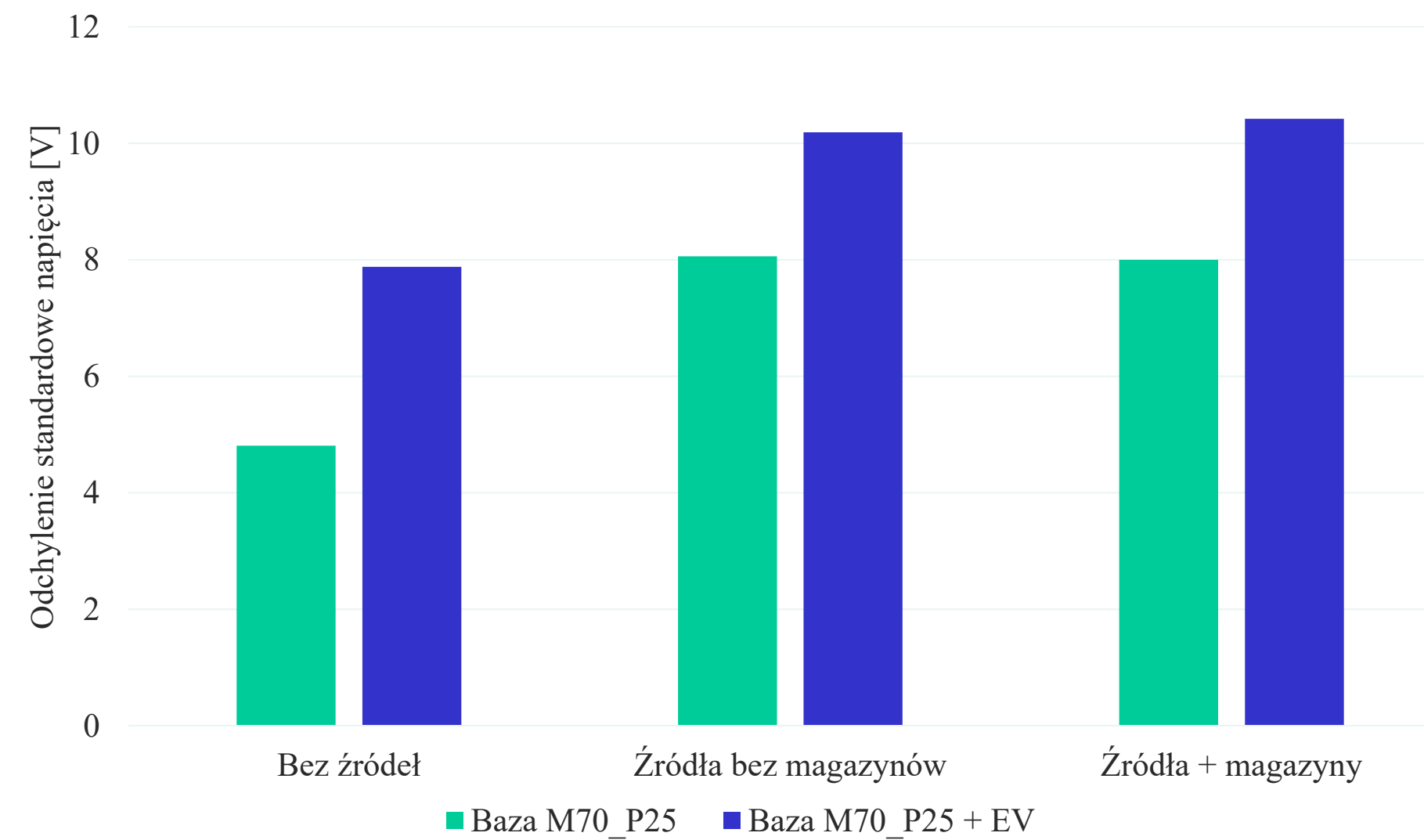
Wpływ EV na minimalną wartość napięcia - węzeł 8, zima



Wpływ EV na zmienność napięć - węzeł 8, lato



Wpływ EV na zmienność napięć - węzeł 8, zima



Podsumowanie i dalsze kierunki badań

Najważniejsze wnioski

- Największą poprawę pracy terenowej sieci nN daje modernizacja magistrali, wpływ modernizacji samych przyłączy jest mniejszy.
- OZE obniżają straty energii, ale bez sterowania podnoszą napięcia. Magazyny energii ograniczają to zjawisko i stabilizują profil napięcia.
- Dodanie ładowarek EV pomaga zagospodarować część generacji OZE, lecz zwiększa straty energii i ryzyko zbyt niskich napięć — szczególnie zimą.

W praktyce potrzebne jest wspólne projektowanie przekrojów linii, lokalizacji magazynów energii i strategii sterowania odbiorami.

Kierunki rozwoju

- Scenariusze 15-min oraz większa penetracja EV i pomp ciepła.
- Sterowanie ładowaniem V1G/V2G i taryfy dynamiczne.
- Dobór czasowo instalowanych magazynów OSD dla okresów krytycznych.
- Analizy probabilistyczne oraz walidacja na danych pomiarowych OSD.
- Wykorzystanie metod SI w analizach.





**Wydział
Elektryczny**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Dziękuję za uwagę

**Politechnika
Warszawska**

