

Wpływ procesu ładowania akumulatora pojazdu elektrycznego na pracę domowej instalacji elektrycznej

Wobec rosnącej popularności samochodów elektrycznych coraz ważniejsza staje się kwestia oddziaływania procesu ładowania na parametry jakościowe energii elektrycznej. Badania pozwoliły rozstrzygnąć, czy dodatkowy, nieliniowy odbiornik, jakim jest zamontowana w pojeździe ładowarka jedno- lub trójfazowa, wpływa na zmiany napięcia w instalacji. W artykule zaprezentowano wyniki analiz. Zamieszczono także wskazówki dla projektantów i użytkowników, którzy planują przygotowanie punktu ładowania aut w domu.

dr inż. Dariusz Kurz

Politechnika Poznańska
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej
Zakład Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej

dr inż. Arkadiusz Dobrzycki

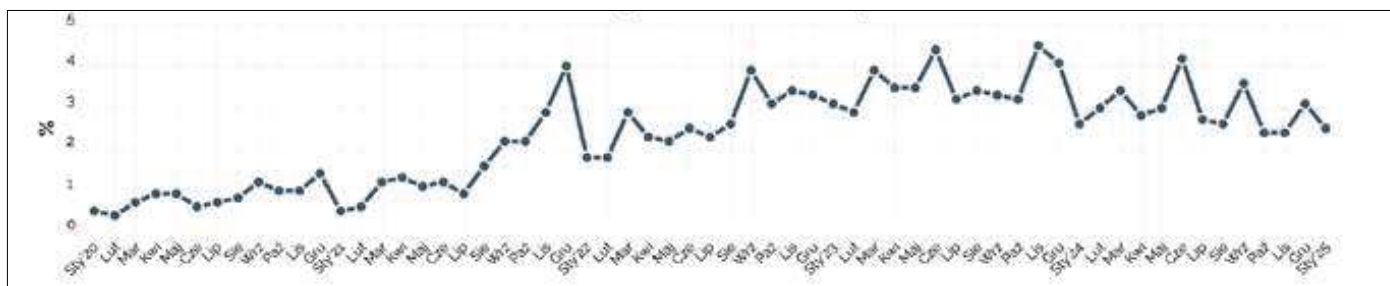
Politechnika Poznańska
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej
Zakład Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej

Początek 2025 r. przyniósł spadek liczby rejestracji nowych samochodów osobowych w Europie. W styczniu i lutym w UE było ich mniej o 3% w porównaniu z analogicznym okresem 2024 r. (w Polsce nieznacznie, bo o 0,31%, więcej). Jednocześnie auta elektryczne (BEV) i hybrydowe (HEV) notują ciągłe wzrosty sprzedaży – odpowied-

nio o 28,4 i 18,7% rok do roku. W efekcie te pierwsze zdobyły już 15,2%, a drugie – aż 35,2% unijnego rynku. Co ciekawe, segment hybryd plug-in (PHEV) zmniejszył się o 5%, osiągając 7,4-procentowy udział w rynku [1].

W naszym kraju w styczniu 2025 r. zarejestrowano 1121, czyli zaledwie o 5 więcej nowych samochodów elektrycznych niż

w styczniu 2024 r. (0,4% więcej niż w analogicznym okresie ub.r.). W kolejnych dwóch miesiącach było to już jednak odpowiednio: 1675 i 2311 nowych aut BEV (wzrost o 22,4 i 21,9% rok do roku). Tym samym w marcu ich udział w rynku nowych samochodów osiągnął 4,4% [2–4]. Rys. 1 pokazuje, jak zmieniał się on w Polsce w ciągu ostatnich 5 lat.



Rys. 1. Udział BEV w rejestracjach nowych aut osobowych w Polsce w latach 2020–2025 [2]

Jak wynika z raportu „Polish EV Outlook 2023” [5], w 2022 r. aż 21% wszystkich BEV zarejestrowano w Warszawie. Kolejne ok. 26% dotyczyło miast liczących od 300 000 do 1 000 000 mieszkańców, czyli Krakowa, Łodzi, Wrocławia, Poznania, Gdańska, Szczecina, Bydgoszczy i Lublina. 12% aut elektrycznych przypadało na mniejsze miasta (150 000–300 000 ludności) i tylko 5% na te zamieszkiwane przez 50 000–150 000 osób.

Na koniec czerwca 2024 r. w Polsce funkcjonowało **7255 ogólnodostępnych punktów ładowania pojazdów elektrycznych** (wzrost o 41% rok do roku), w tym 5145 AC i 2101 DC (odpowiednio o 32 i 66% więcej niż w ub.r.). Najwięcej ich znajduje się w dużych miastach. To logiczna konsekwencja przedstawionych wcześniej danych o miejscach zakupu aut BEV. Przewodzą więc w tym zestawieniu: Warszawa (636 szt.), Gdańsk (297 szt.), Szczecin (256 szt.), Kraków (226 szt.) i Poznań (214 szt.). Z kolei wzdłuż sieci dróg TEN-T zlokalizowano 764 ładowarki, co oznacza wzrost o 26% w ciągu roku [6]. W planach są następne punkty ładowania. W 2025 r. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad ogłosiła przetargi na dzierżawę i budowę ładowarek na obszarach MOP wzdłuż sieci dróg szybkiego ruchu. Zgodnie z wymogami AFIR powinny się tam znaleźć 4 punkty ładowania (w tym min. 2 po 150 kW) o łącznej mocy 600 kW dla pojazdów osobowych i punkty o min. łącznej mocy 3600 kW (w tym 2 o min. mocy 350 kW) dla pojazdów ciężarowych [7].

DOMOWE INSTALACJE ELEKTRYCZNE

Podstawą do przeprowadzenia analizy wieku budynku mieszkalnego typowego

dla naszego kraju mogą być dane zebrane w 2021 r. (tab. 1) podczas Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkani [8]. W komentarzu do tego wpisu zwrócono uwagę, że starsze są budynki w mieście. Wynika to z faktu, że dominują tam obiekty wielorodzinne, podczas gdy na wsi więcej jest budynków jednorodzinnych. Ponadto gros tych ostatnich powstaje na terenach wiejskich i w miastach do 50 000 mieszkańców. Jest to o tyle istotne, że modelowy użytkownik pojazdu elektrycznego to obecnie osoba posiadająca dostęp do własnego źródła ładowania auta elektrycznego w postaci co najmniej gniazda, do którego podłącza EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), popularnie zwane ładowarką.

Tab. 1. Udział budynków mieszkalnych według okresu ich wybudowania, z rozróżnieniem na obszary miejskie i wiejskie [8]

Rok budowy	Miasta	Wieś
Przed 1918	7,5%	5,0%
1918–1944	8,0%	6,0%
1945–1970	25,0%	20,0%
1971–1988	30,0%	25,0%
1989–2002	15,0%	20,0%
2003–2012	10,0%	15,0%
2013–2021	4,5%	9,0%

Ustalenie średniego wieku instalacji elektrycznej jest utrudnione. Przy braku dostępnych danych można się opierać jedynie na tab. 1 – oczywiście czyniąc założenie, że część przyłączy zmodernizowano. Odbywa się to zazwyczaj podczas generalnego remontu domu, związanego np. ze zmianą jego właściciela czy użytkownika. Takie szacunki są zgodne z doświadczeniami autorów i należy przypuszczać, że w ponad połowie domów instalacje mają co najmniej 25 lat. A to właśnie taki okres przyjmuje się

jako wyznacznik ich trwałości (dotyczy to zwłaszcza przewodów) – po tym czasie należy rozważyć wymianę.

Kolejna trudność w oszacowaniu stanu domowych instalacji elektrycznych wynika z braku ich okresowych badań. Użytkownicy bowiem często nie wiedzą, że są one konieczne, i nie mają świadomości potencjalnego ryzyka związanego z korzystaniem z wysłużonych instalacji. W praktyce dopiero awaria powoduje interwencję elektryka i przywrócenie przyłączy do stanu, w którym nie stanowią one zagrożenia.

Ważnym zagadnieniem jest także **możliwe przeciążenie instalacji lub jednego z obwodów w chwili pojawienia się dodatkowego odbiornika o znacznej mocy – pojazdu elektrycznego**. Typowe moce przyłączeniowe domów jednorodzinnych, zalecane choćby przez SEP w normie N SEP-E-002:2003 – Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych – Podstawy planowania [9] oraz późniejszych opracowaniach, np. „Zasadach obliczania mocy zapotrzebowanej dla mieszkań i budynków mieszkalnych” [10], wynoszą od 12 kW dla domów, w których energia elektryczna nie jest wykorzystywana do podgrzewania wody, do 30 kW w przeciwnym przypadku. Przy tych poziomach nowy odbiornik, np. trójfazowe EVSE o mocy 11 kW, może spowodować konieczność zwiększenia mocy przyłączeniowej lub kontroli czasu używania największych odbiorników, aby nie przekraczać wartości mocy przyłączeniowej domu.

Przeciwnicy samochodów elektrycznych przywołują argument, że częściej ulegają one pożarom. Tymczasem bez względu na rynek [11–13] ich średnia

Tab. 2. Czasy ładowania wybranych modeli BEV

Model pojazdu	Pojemność baterii	2,3 kW (1 faza)	3,6 kW (1 faza)	11 kW (3 fazy)	22 kW (3 fazy)
Tesla 3 LR	75 kWh	ok. 32 h	ok. 21 h	ok. 7 h	ok. 4,0 h
Nissan Leaf (40 kWh)	40 kWh	ok. 17 h	ok. 12 h	ok. 4 h	ok. 2,0 h
Hyundai Kona Electric	64 kWh	ok. 28 h	ok. 18 h	ok. 6 h	ok. 3,0 h
BMW i3 (33 kWh)	33 kWh	ok. 14 h	ok. 9 h	ok. 3 h	ok. 1,5 h
Renault Zoe (52 kWh)	52 kWh	ok. 22 h	ok. 14 h	ok. 5 h	ok. 2,5 h
Audi e-tron (95 kWh)	95 kWh	ok. 41 h	ok. 26 h	ok. 9 h	ok. 4,5 h
Kia e-Niro (64 kWh)	64 kWh	ok. 28 h	ok. 18 h	ok. 6 h	ok. 3,0 h
Volkswagen ID.4 (77 kWh)	77 kWh	ok. 33 h	ok. 21 h	ok. 7 h	ok. 3,5 h
Peugeot e-208 (50 kWh)	50 kWh	ok. 22 h	ok. 14 h	ok. 5 h	ok. 2,5 h
Mercedes EQC (80 kWh)	80 kWh	ok. 35 h	ok. 22 h	ok. 7 h	ok. 3,5 h

liczba w przeliczeniu na 100 000 poruszających się po drogach aut wynosi w ostatnich latach:

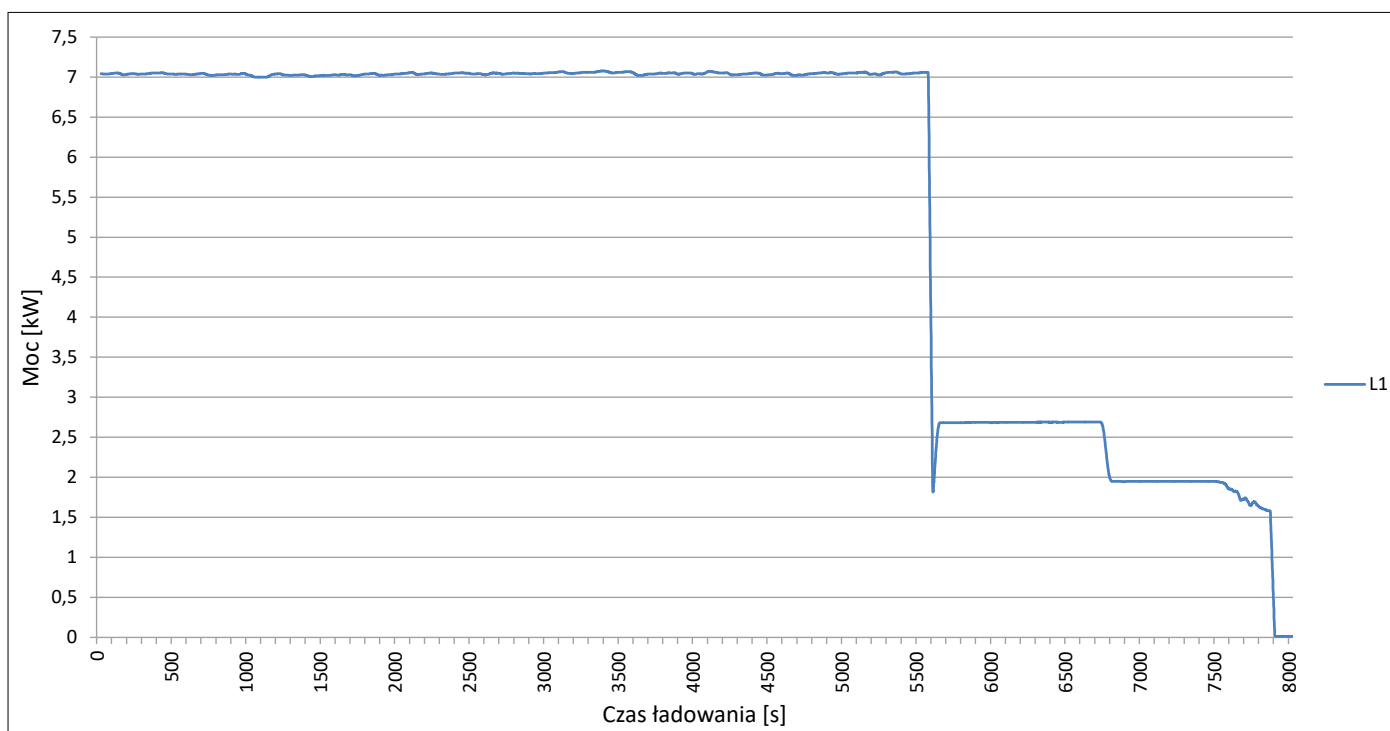
- 25 w przypadku pojazdów elektrycznych,
- 1530 dla samochodów spalinowych,
- 3475 w przypadku aut hybrydowych.

Analizy statystyczne obejmujące okres od stycznia 2010 r. do czerwca 2024 r. wskazują, że spośród wszystkich 511 potwierdzonych pożarów pojazdów elektrycznych 80 wystąpiło w trakcie, a 10 przed upływem 10 min od zakończenia ładowania. Mimo potencjalnie niewielkiego odsetka pożarów podczas ładowania, ze względu na specyfikę tego procesu, który np. odbywa się

w nocy w domu, podejmowane są działania mające wymusić na użytkownikach bezpieczne zachowania. Są to zwykle **zalecenia lub wymagania dla punktów ładowania – również domowych**. Na przykład w USA montaż domowego punktu ładowania, tzw. wallboxa, muszą poprzedzać wstępna ocena stanu instalacji oraz weryfikacja jej dopuszczalnego obciążenia, dokonane przez elektryka. Punkt ładowania jest traktowany jako obciążenie ciągłe [14].

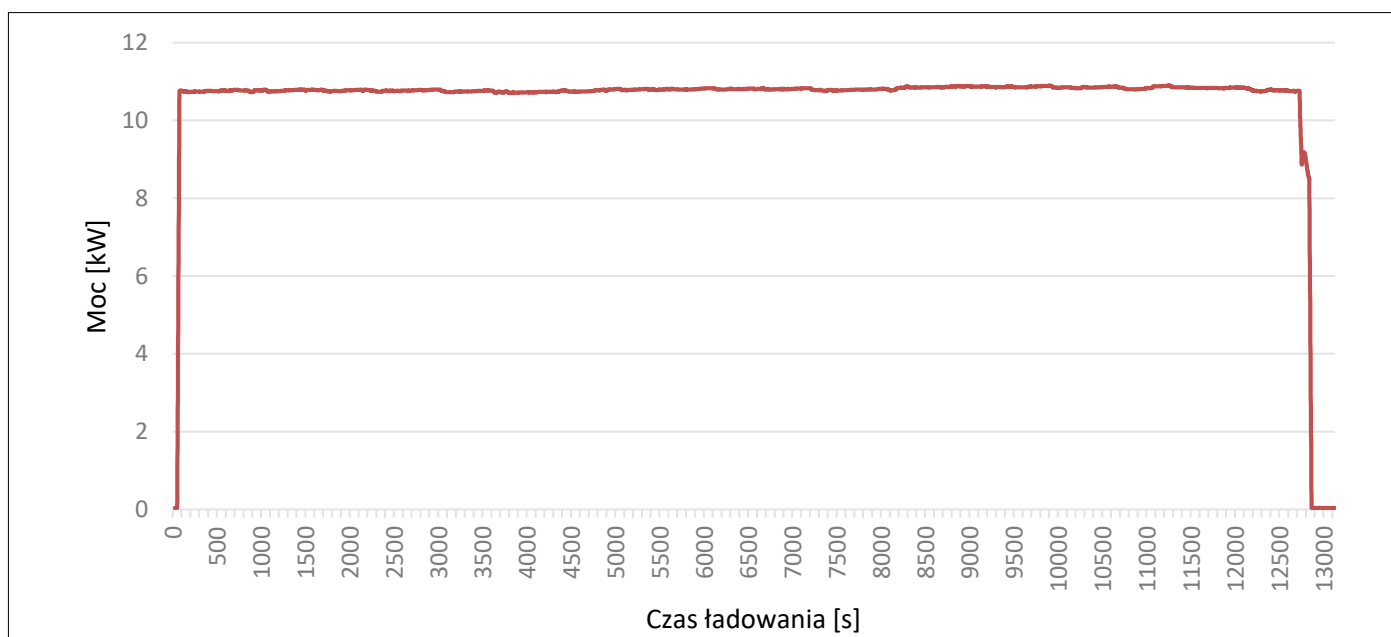
Najgłośniejszym chyba przykładem takich działań było wprowadzenie w Norwegii zakazu ładowania aut elektrycznych z domowych gniazd – mylnie

przedstawiane powszechnie jako całkowity zakaz ładowania pojazdu w domu. Decyzję tę podjęto z dwóch powodów. Pierwszym była troska o bezpieczeństwo użytkowników. Wcześniej obserwowano bowiem przeciążanie instalacji powodujące nadmierny wzrost temperatury przewodów i zwiększone ryzyko pożaru. Drugi powód to specyfika norweskiej sieci elektroenergetycznej. Dominującym układem sieci jest tam układ IT, w którym nie ma przewodu neutralnego, a urządzenia są zasilane napięciem międzyfazowym. Taka konfiguracja powoduje, że w instalacjach tych nie stosuje się



Rys. 2. Pobór mocy podczas jednofazowego ładowania PHEV z mocą 7,4 kW

Rys. autorów



Rys. 3. Pobór mocy podczas trójfazowego ładowania BEV z mocą 11 kW

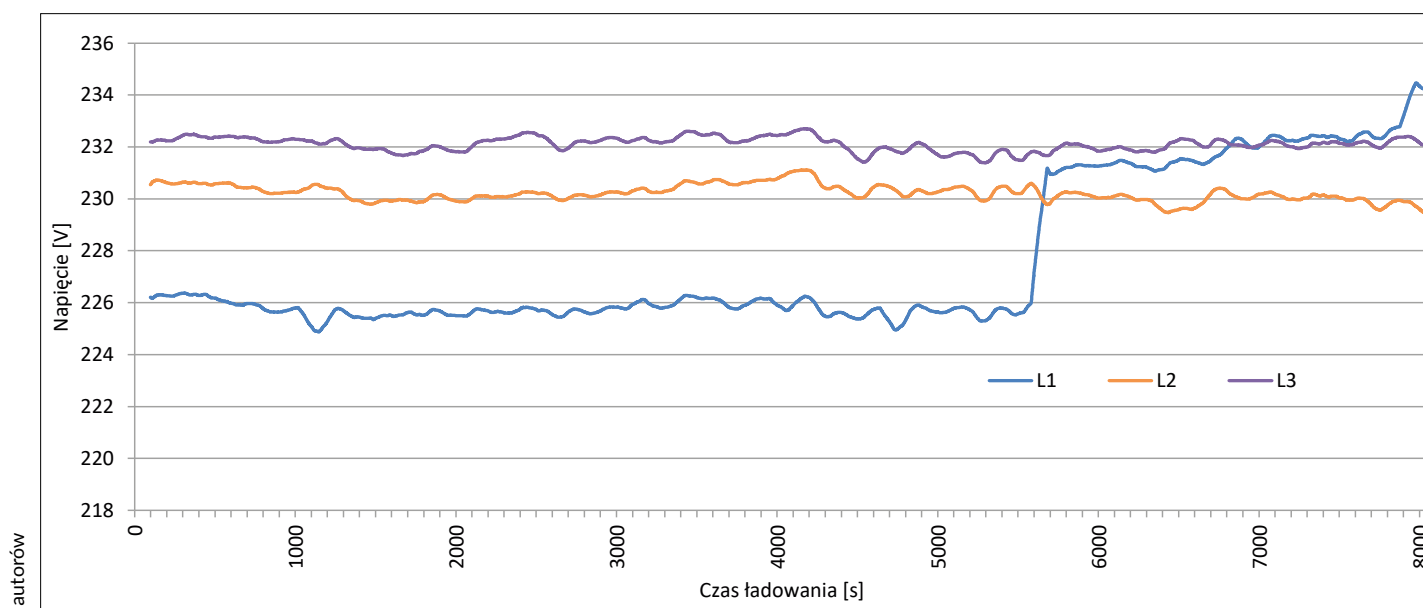
wyłączników różnicowoprądowych. W rzeczywistości zakaz dotyczył wykorzystania domowych gniazd elektrycznych do regularnego ładowania pojazdów elektrycznych. Jest to dozwolone wyłącznie pod ciągłym nadzorem w sytuacjach awaryjnych. Poza tymi wyjątkami wymaga się oddzielnego, przeznaczonego tylko do tego celu obwodu. Natomiast w przypadku nowych lub modernizowanych instalacji ładowanie może odbywać się jedynie za pośrednictwem wallboxa [15–16].

W Polsce wymogi dla stacji ładowania są zawarte w normie PN-HD 60364-7-722:2019-01 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zasilanie pojazdów elektrycznych [17]. Spośród dopuszczalnych środków ochrony przeciwporażeniowej najczęściej stosuje się **samoczynne wyłączenie zasilania poprzez wyłączniki różnicowoprądowe** (konieczny jest co najmniej typ A, a w przypadku możliwości wystąpie-

nia znacznych składowych stałych – typ A uzupełniony o urządzenie do detekcji składowej stałej RCD-DD lub typ B).

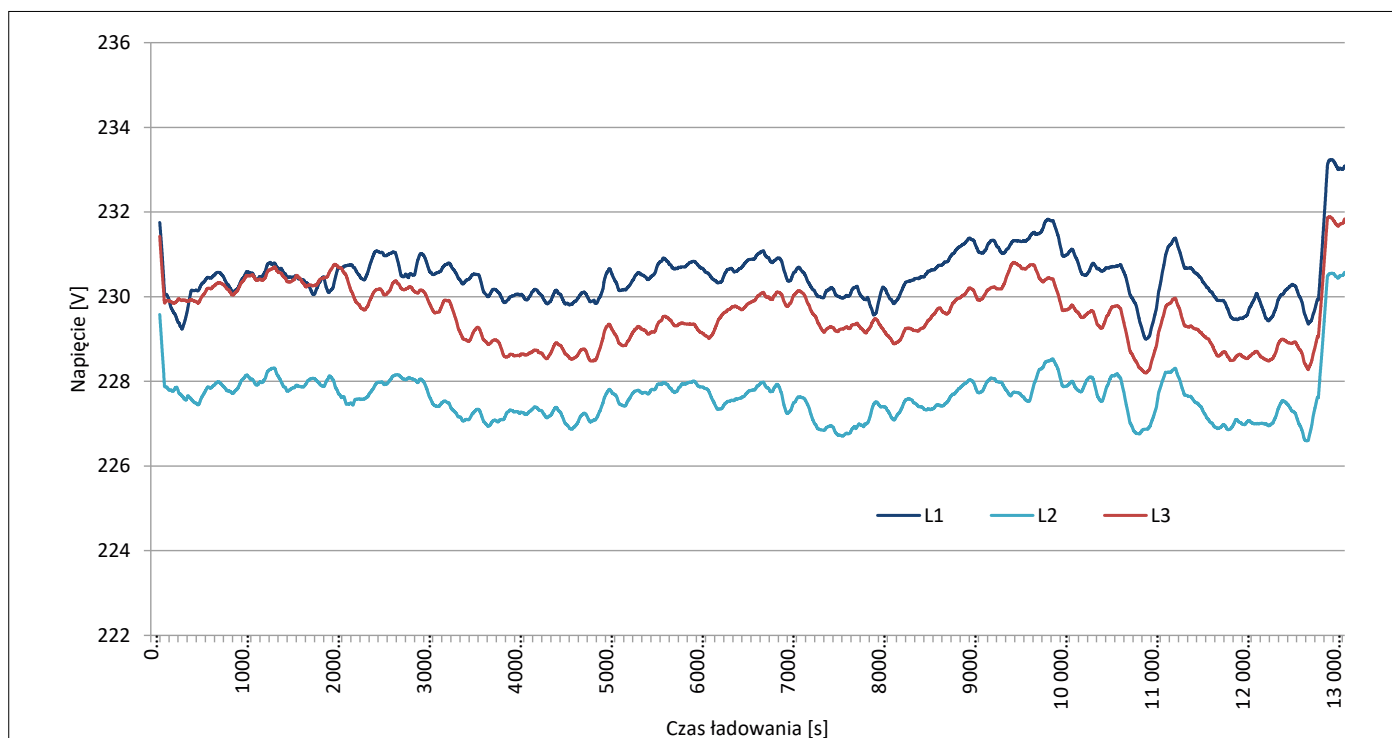
ŁADOWANIE POJAZDU W DOMU

Producenci samochodów wraz z pojazdem dostarczają zazwyczaj EVSE jednofazowe o stosunkowo niewielkiej wydajności prądowej – maksymalnie od 10 do 16 A. Przekłada się to na moc ładowania nie większą niż 3,6 kW oraz czas ładowania wynoszący nawet kilkanaście godzin, zależnie



Rys. autorów

Rys. 4. Napięcia fazowe podczas jednofazowego ładowania PHEV z mocą 7,4 kW



Rys. 5. Napięcia fazowe podczas trójfazowego ładowania BEV z mocą 11 kW

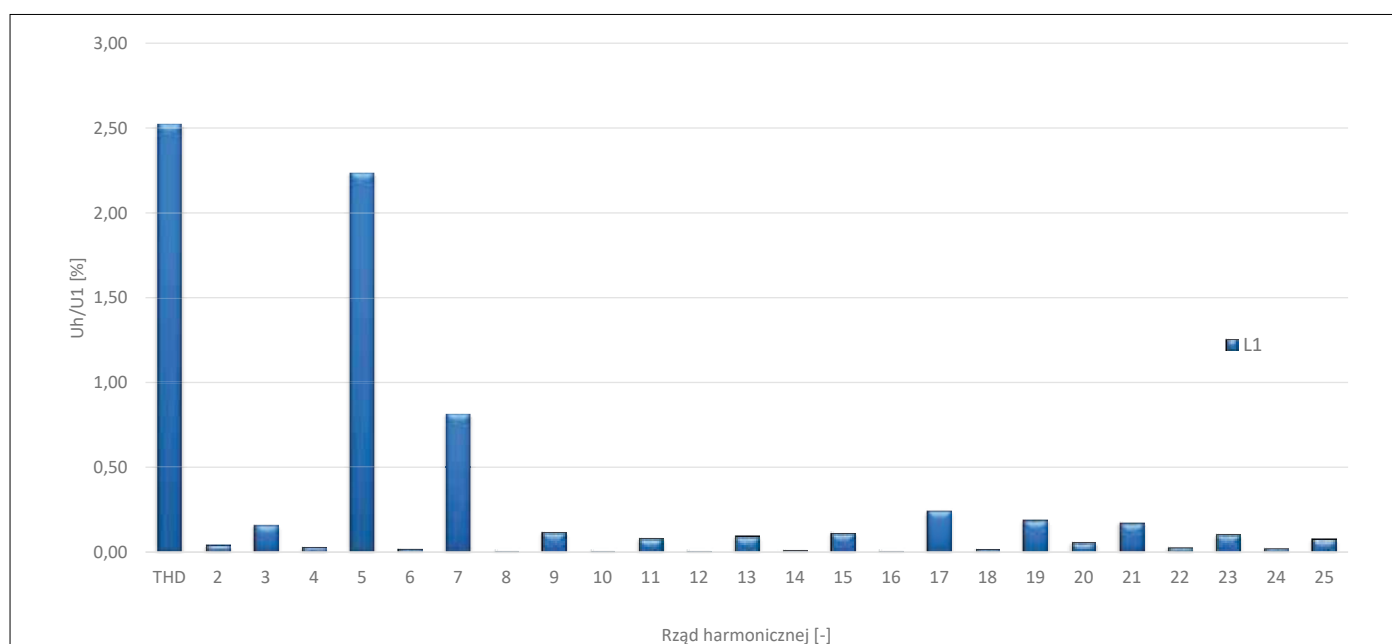
od pojemności baterii. W tab. 2 przedstawiono orientacyjne, deklarowane czasy ładowania baterii samochodów w zakresie 0–100%, z wykorzystaniem EVSE o różnych mocach ładowania.

„Modelowy” użytkownik pojazdu elektrycznego ładuje go dziś w domu. Należy więc pamiętać o potencjalnych zagrożeniach związanych z pojawieniem się tego

długotrwałego obciążenia w sieci. W tym kontekście mówi się o bezpieczeństwie użytkownika, czyli o ewentualnym przeciążeniu instalacji, gniazda lub styków. Jednak weryfikacja przekrojów przewodów albo zabezpieczeń obwodu nie odpowiada na pytanie, czy ten proces oddziałuje, a jeśli tak, to w jaki sposób, na pracę innych urządzeń. Aby to zweryfikować,

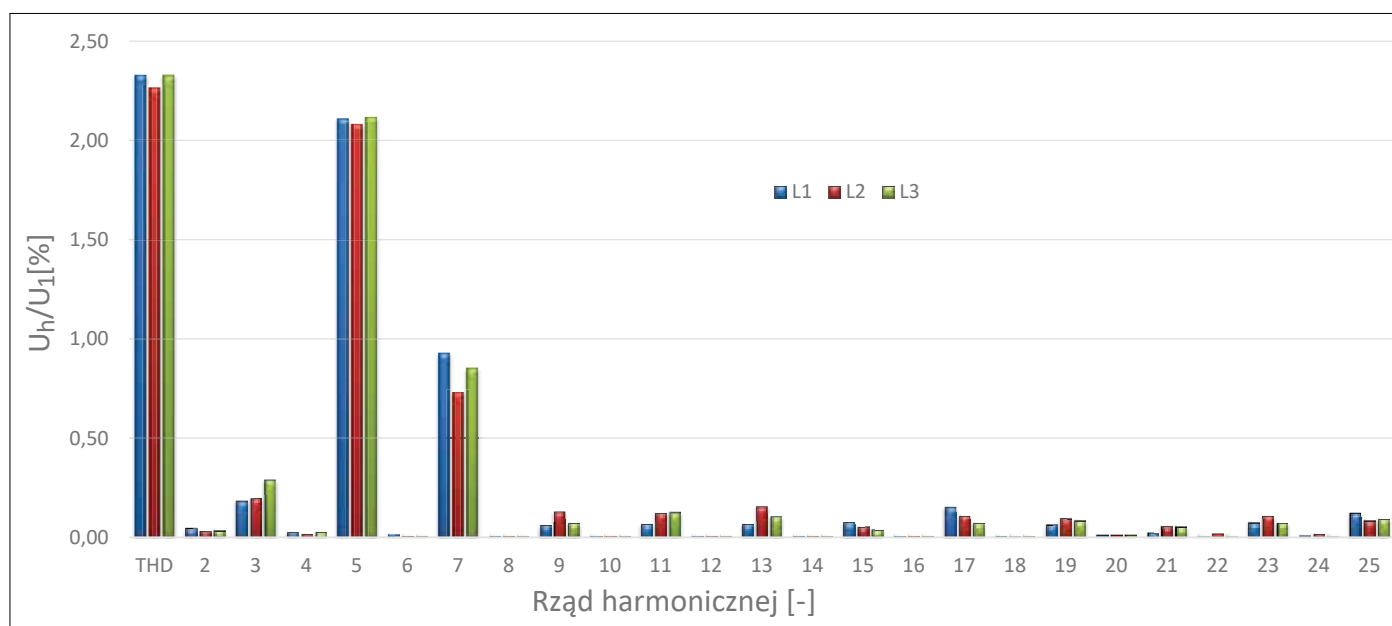
przeanalizowano procesy ładowania różnych aut elektrycznych. Badano pobór mocy w czasie oraz parametry jakościowe energii elektrycznej w trakcie ładowania. Odbывало się to w warunkach laboratoryjnych, dzięki czemu instalacja testowa nie była obciążona innymi odbiornikami.

Na rys. 2–7 pokazano wykresy wybranych parametrów dla dwóch przypadków:



Rys. 6. Harmoniczne napięcia podczas jednofazowego ładowania PHEV z mocą 7,4 kW

Rys. autorów



Rys. 7. Harmoniczne napięcia podczas trójfazowego ładowania BEV z mocą 11 kW

ładowania hybrydy plug-in z mocą 7,4 kW (jednofazowo) oraz pojazdu elektrycznego z mocą 11 kW (trójfazowo). Rysunki przedstawiają:

- 2 i 3 – pobory mocy,
- 4 i 5 – zmiany napięć fazowych w trakcie ładowania,
- 6 i 7 – analizę odkształceń (rozkład harmonicznnych) napięcia.

Różnice w przebiegach wiążą się głównie z asymetrią obciążenia przy ładowaniu pojazdu jednofazowo. Na przebiegach mocy ładowania PHEV widoczny jest moment, w którym ona znacząco spada. Odpowiadają za to warunki termiczne – podczas testu zaobserwowano, że właśnie w tamtej chwili nastąpiła inicjacja systemu chłodzenia układu ładującego i baterii. Efekt ten nie jest widoczny dla BEV – pojazd został przygotowany do ładowania znacznie większymi mocami (w niektórych krajach te same samochody, wykorzystując zasilanie, zamiast z mocą 11 kW mogą być ładowane z mocą 22 kW), a w trakcie testu pobór prądu był niższy niż dla PHEV (32 A) i wynosił 16 A. Ponadto ładowanie jednofazowe powoduje spadek napięcia o 3%, podczas gdy dla ładowania trójfazowego wynosi on 1,3%. To skutek wyższego poboru prądu przez PHEV. Warto również zauważyć, że ładowanie

jednofazowe powoduje asymetrię napięć zasilających, a więc możliwość wystąpienia asymetrycznego – polegającego na niższym napięciu jednej fazy – zasilania odbiorników trójfazowych.

Kolejne obserwacje, czyli analiza wartości harmonicznnych, pokazują obecność szczególnie 5. i 7. harmonicznnej oraz wyższych nieparzystych. Świadczy to o tym, że proces ładowania wpływa na parametry jakościowe energii elektrycznej w instalacji – możliwe są spadki i asymetrie napięcia oraz obecność wyższych harmonicznnych.

Odniesmy otrzymane wyniki liczbowe dla ładowania PHEV (wyższe wartości współczynników) do wymagań wskazanych w Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [19]. Oto one:

- 1) asymetria napięć, liczona jako stosunek składowej przeciwnej do zgodnej, wynosi 0,8% (wartość dopuszczalna dla sieci nn 0,0–2,0%);
- 2) zawartość harmonicznnych:
 - THD: 2,5% (dopuszczalne: 8%),
 - 5. harmoniczna: 2,2% (dopuszczalne: 6%),
 - 7. harmoniczna: 0,8% (dopuszczalne: 5%),
 - 17. harmoniczna: 0,2% (dopuszczalne: 0,5%).

Możemy zaobserwować, że analizowane parametry nie przekraczają dopuszczalnych wartości. Zatem kluczowe staje się bezpieczeństwo użytkowania oraz obecność wrażliwych na asymetrię lub odkształcenia odbiorników. Pamiętać należy także o tym, że w instalacjach domowych dominują odbiorniki jednofazowe, często nieliniowe. W sytuacji gdy są one zasilane z tej samej fazy co ładowarka, może to wpływać negatywnie na wymienione współczynniki.

PODSUMOWANIE

Bezpieczeństwo ładowania pojazdu elektrycznego z wykorzystaniem domowej instalacji elektrycznej wymaga analizy jej stanu. Na przykład w przypadku hal garażowych, które są zlokalizowane w budynkach wielorodzinnych, jest ona wymuszona przez Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych [20]. Zgodnie ze wspomnianym rozporządzeniem [19] ekspertyza ta ma określić:

- 1) moc przyłączeniową budynku, która może zostać wykorzystana na potrzeby funkcjonowania punktu ładowania;
- 2) punkty w instalacji elektrycznej, w których przyłączenie punktu ładowania jest dopuszczalne, oraz parametry tego punktu, w tym maksymalną moc punktu



ładowania, który może być przyłączony do instalacji elektrycznej;

3) rozwiązania budowlane oraz techniczno-instalacyjne, jakie powinny być przyjęte przy instalacji punktu ładowania, w tym wymagania dotyczące wyrobów zastosowanych do instalacji tego punktu;

4) warunki niezbędne do bezpiecznej eksploatacji punktu ładowania;

5) wymagania, jakie powinny być spełnione w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w związku z zainstalowaniem punktu ładowania”.

W przypadku domów jednorodzinnych przepisy prawa nie wymagają takiej ekspertyzy, a pojazd zazwyczaj traktuje się po prostu jako kolejny odbiornik. W praktyce więc dopóki nie są widoczne negatywne skutki jego obecności, dopóty praca samochodu nie jest przedmiotem obserwacji użytkowników.

Przedstawione wyniki badań i analiza literatury skłaniają ku temu, by zwrócić uwagę na **aspekty, które mogą wpływać na komfort i bezpieczeństwo podczas ładowania pojazdów elektrycznych**. Przedstawiamy je w postaci zaleceń zarówno dla użytkowników, jak i osób zajmujących się projektowaniem oraz eksploatacją tego typu stanowisk:

1. Zakładając regularne ładowanie pojazdu w domu, należy przygotować odrębny obwód przeznaczony do pracy ciąglej z maksymalną przewidywaną mocą EVSE.

2. Ze względu na spadki napięcia oraz nagrzewanie przewodów logiczne jest zaplanowanie punktu przyłączania EVSE możliwie blisko rozdzielni głównej.

3. Należy unikać ładowania pojazdu jednofazowo z dużą mocą ze względu na mogącą się pojawić znaczącą asymetrię napięć poszczególnych faz.

4. Problemy z rozpoczęciem ładowania pojazdu mogą wynikać ze zbyt dużej impedancji przewodu ochronnego lub uziomu; przed rozpoczęciem ładowania sprawdza się, czy układ (instalacja) jest uziemiony. Brak ciągłości przewodu PE (PEN) albo jego duża impedancja spowodują wygenerowanie błędu i brak możliwości ładowania.

5. Ładowanie baterii „do pełna” stanie się przyczyną szybkich zmian poboru mocy na końcowym etapie. Jest to związane z pracą BMS i wyrównywaniem naładowania poszczególnych pakietów. Należy rozważyć ładowanie do 80–90% SOC, co znacząco skraca jego czas i nie powoduje zmian w odbiorze mocy, a zatem i wahań napięć fazowych.

6. Przygotowując punkt do ładowania pojazdu, ze względu na możliwe wyższe harmoniczne, należy wyposażyć instalację co najmniej w wyłącznik RCD typu B, bez względu na to, czy będzie to EVSE do zamontowania na ścianie czy urządzenie przenośne.

7. Dostarczaną przez producenta „ładowarkę” należy sprawdzić pod kątem zastosowanych w niej zabezpieczeń przeciwporażeniowych. Warto rozważyć stosowanie ładowarki firm trzecich, które z reguły mają odpowiednie zabezpieczenia. ■

Literatura

1. <https://www.samar.pl/wiadomosci/rejestracje-nowych-aut-osobowych-w-ue-2025-2025> (dostęp: 18.04.2025).
2. https://www.samar.pl/rynek-w-liczbach/rejestracje-samochodow-elektrycznych-2025-2025?news_id=123420 (dostęp: 18.04.2025).
3. https://www.samar.pl/rynek-w-liczbach/rejestracje-samochodow-elektrycznych-2025-2025?news_id=123872 (dostęp: 18.04.2025).
4. https://www.samar.pl/rynek-w-liczbach/rejestracje-samochodow-elektrycznych-2025-2025?news_id=124116 (dostęp: 18.04.2025).
5. <https://psnm.org/2023/raport/do-2030-r-sprzedaz-samochodow-calkowicie-elektrycznych-w-polsce-wzrosnie-ponad-dziesieciokrotnie/> (dostęp: 18.04.2025).
6. <https://psnm.org/2024/informacja/pevo-index-w-czerwcu-w-polsce-zarejestrowano-ponad-2-tys-nowych-samochodow-elektrycznych/> (dostęp: 18.04.2025).
7. <https://www.gov.pl/web/gddkia/nowe-ladowarki-przy-drogach-szybkiego-ruchu-poznalismy-chetnych-do-ich-budowy> (dostęp: 18.04.2025).
8. GUS, Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2021 – GUS (dostęp: 27.04.2025).
9. Norma SEP N SEP-E-002:2003 – Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych – Podstawy planowania.
10. https://sep.com.pl/opracowania/opracowania_zasady_wyzn_mocy_zapotrzeb_dla_mieszk.pdf (dostęp: 27.04.2025).
11. <https://psnm.org/2025/informacja/raport-bezpieczenstwa-pozarowego-ev-samochody-elektryczne-w-polsce-pala-sie-rzadziej-niz-spalinowe/> (dostęp: 27.04.2025).
12. <https://climatecrisis247.com/ev/ev-fires-hit-customer-view-of-safety/> (dostęp: 27.04.2025).
13. <https://www.blazestack.com/blog/how-many-ev-fires-in-2023-2024> (dostęp: 27.04.2025).
14. <https://afdc.energy.gov/fuels/electricity-charging-home> (dostęp: 28.04.2025).
15. <https://www.elbilgrossisten.no/en/pages/nek400-2022> (dostęp: 28.04.2025).
16. NEK 400:2022/COR3:2024 Corrigendum 3 – Elektriske lavspenningsinstallasjoner.
17. PN-HD 60364-7-722:2019-01 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 7-722: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji – Zasilanie pojazdów elektrycznych.
18. S. Czapp, *Residual current devices in electric vehicles charging installations*, „Przegląd Elektrotechniczny” nr 2/2024, str. 62–65, <https://doi.org/10.15199/48.2024.02.11>.
19. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz.U. z 2023 r. poz. 819).
20. Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. z 2018 r. poz. 317 ze zm.).