

Marek Trajdos
HELUKABEL Polska, Krze Duże

ROLA KABLI I PRZEWODÓW W OBECNYM STANDARDZIE SYSTEMU ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

THE ROLE OF CABLES AND WIRES IN THE CURRENT STANDARD OF THE ELECTRIC VEHICLE CHARGING SYSTEM

Streszczenie: W pracy omówiono współczesne obszary stosowania pojazdów elektromobilnych, do których należą zarówno środki transportu bliskiego, jak i pojazdy elektryczne użytkowane w ruchu miejskim i międzymiastowym. Wspomniano o wymaganiach i strategii europejskiej dotyczącej elektromobilności zarówno w aspekcie prawa budowlanego (obiekty użyteczności publicznej i prywatne), jak i energetycznego głównie w kontekście bezpieczeństwa oraz redukcji emisji. Omówiono zasadę działania stacji ładowania, ze szczególnym uwzględnieniem kabli, przewodów i układów 2 możliwość chłodzenia wodą połączeń o szczególnej przepustowości. Położono też nacisk na kompatybilność środowiskową instalacji.

Abstract: The paper discusses the contemporary areas of application of electromobility vehicles, which include both means of short-distance transport and electric vehicles used in urban and intercity traffic. The requirements and the European strategy for electromobility were mentioned both in terms of construction law (public and private facilities) and energy law, mainly in the context of safety and emission reduction. The principle of operation of the charging station was discussed, with particular emphasis on cables, wires and socket-plug systems. In particular, attention was paid to the load capacity and reliability of the installation, including the possibility of water cooling connections with special capacity. Emphasis was also placed on the environmental compatibility of the installation.

Słowa kluczowe: *elektromobilność, wymagania europejskie, kable i przewody, niezawodność instalacji*
Keywords: *electromobility, European requirements, cables and wires, installation reliability*

1. Wstęp

U podstaw współczesnej elektromobilności leżą obecnie nie tylko prace badawczo-rozwojowe nad wykorzystaniem zasilania elektrycznego w napędzie pojazdów lecz również bardzo konkretne normy prawne wynikające z ogólnej, międzynarodowej strategii redukcji emisji CO₂ [1]. Zatem rozpoczęto realizację działań w zakresie budowy infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych poruszających się po drogach publicznych (niniejsza praca koncentruje się na pojazdach elektrycznych ładowanych z sieci <EV> oraz hybrydowych z możliwością ładowania z sieci <PHEV>. Ze względu na relatywnie niewielki zasięg obecnie produkowanych pojazdów jest to szczególnie ważne [2]. Obecnie producenci oferują już ok. 130 modeli samochodów elektrycznych, a w roku 2014 było ich jedynie ok. 40. W Polsce w maju 2021 roku było zarejestrowanych ponad 25 tysięcy samochodów elektrycznych (w tym hybrydowych). Budowa infrastruktury pozwoliła na wdrożenie przez liczne podmioty gospodarcze programów produkcyjnych pojazdów napędzanych energią elektryczną. Jednocześnie pod

mioty te w większości mają już za sobą pewne doświadczenia wynikające z produkcji pojazdów o napędzie hybrydowym. Nie są one co prawda zwykle ładowane za pomocą urządzeń stacjonarnych, ale zbierane są w czasie ich eksploatacji doświadczenia z wysokosprawnymi metodami magazynowania energii. W zakresie okablowania duże znaczenie ma przede wszystkim rozwój infrastruktury stacji ładowania w budynkach, na parkingach i w zajezdniach środków komunikacji miejskiej. Głównymi problemami dotyczącymi kabli do ładowania są: zdolność przewodzenia relatywnie dużych prądów zmiennych lub stałych (skrócenie czasu ładowania) przy jednoczesnej łatwości manewrowania nimi, odporność środowiskowa i mechaniczna oraz możliwość jednoczesnej wymiany danych pomiędzy pojazdem a stacją ładowania (wraz z systemem taryfikacji opłat za pobraną energię), a także spełnienie wymagań bezpieczeństwa w zakresie ochrony porażeniowej, pożarowej i EMC (głównie) dla obszaru mieszkalnego, komercyjnego i lekko uprzemysłowionego. Wobec konieczności upowszechnienia

nienia infrastruktury do rangi kluczowego problemu urasta również standaryzacja i osiągnięcie wieloletniej stabilności przyjętych rozwiązań technicznych. Wymienione wyżej problemy dotyczą oczywiście w równym stopniu kabli i wtyków.

2. Wybrane aspekty energetyczne

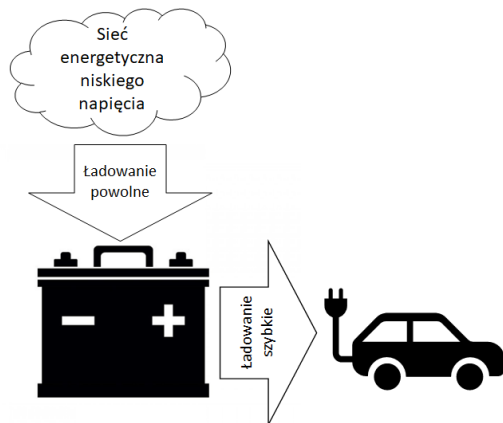
Maksymalny zasięg dla jednego ładowania współczesnych samochodów elektrycznych wynosi od 160 do 550 km, co wyznacza gęstość rozmieszczenia stacji ładowania pojazdów. Przy czym w praktyce mamy do czynienia z jednej strony z ładowarkami domowymi lub na parkingach budynków mieszkalnych wielorodzinnych. W warunkach domowych można z reguły pozwolić sobie na dłuższy czas ładowania (np. w godzinach nocnych), natomiast w stacjach ładowania w miejscach publicznych oraz przy drogach czas ten musi być jak najmniejszy. Z tego względu wyłoniła się potrzeba zastosowania metod ładowania wolnego i szybkiego, co poskutkowało stworzeniem uniwersalnych (dwufunkcyjnych) wtyków i kabli. Najwolniejsza metoda ładowania odbywa się za pomocą wewnętrznej ładowarki samochodu oraz kabla podłączonego do sieci jednofazowej budynku (do 11 kW), szybsza wykorzystuje prąd trójfazowy przemienny (od 11 kW do 22 kW) i wreszcie najszybsza – prąd stały (moc nawet ponad 50 kW). Ogólnodostępne systemy ładowania muszą również uwzględniać kwestie taryfikacji ładowania. Należy przy tym podkreślić, że obecnie jedynie ok. 5 procent ładowań samochodów elektrycznych jest realizowana w miejscach publicznych. Jeżeli producent samochodu ograniczył moc ładowania przykładowo do 3,6 kW, to pomimo zastosowania urządzenia ładującego o mocy 11 kW, nie zostanie wykorzystana moc pełna, tylko ograniczona! W wypadku wykorzystania techniki prądu stałego dostarcza on energię bezpośrednio do akumulatorów, nie mając po drodze prawie żadnych ograniczeń (za wyjątkiem niewielkiej rezystancji) ani strat przetwarzania. W tym przypadku czas ładowania typowego samochodu od 0 do 100 % energii zgromadzonej w akumulatorach potrafi spaść poniżej godziny przy mocy ładowania wynoszącej do 50 kW.

3. Czas, strategia i instalacja ładowania

Czas ładowania zależy z znacznym stopniem od możliwości zasilania punktu ładowania, ale i od pojemności baterii oraz jej charakterystyki.

Najprostszym sposobem jest oczywiście podłączenie samochodu do zwykłego gniazda (1x230VAC; 10A). Przy pojemności baterii mniejszego samochodu elektrycznego 20-30 kWh, co przy mocy ładowania na poziomie 2,3 kW pozwoli naładować samochód w ciągu nocy (ok. 10 godzin) przy założeniu, że bateria była niemal całkowicie rozładowana (w granicach jej bezpiecznej eksploatacji). Dysponując gniazdem trójfazowym (3x400VAC; 16A) możliwe jest ładowanie mocą do 11 kW, co pozwoli skrócić czas do ok. 2,5 godziny. Aby z gniazda trójfazowego można było bezpiecznie ładować samochód elektryczny prądem odpowiadającym mocy 6 kW, np. dla Nissana Leaf, powyżej 11 kW dla przykładowo BMW i3 oraz około 17 kW - nowsze modele samochodu Tesla, trzeba wykorzystać system ładowania z modułem zabezpieczającym EVSE oraz – w zależności od konkretnej instalacji dodatkowo transformator sieciowy. Czas ładowania Tesli o pojemności 90kWh wyniesie wówczas około 5-6 godzin.

Ze względu na dążenie do możliwości jak najkrótszego czasu ładowania baterii samochodów, należy liczyć się w powstawaniu licznych punktów odbioru mocy elektrycznej, do których sieć energetyczna w obecnej postaci nie jest gotowa. Rozwiązanie niektórych problemów tego typu leży jak się wydaje w oddzieleniu czasu magazynowania energii i samego ładowania. W tym celu należy wykorzystać poza bateriami samochodu zespół baterii pośrednich (ewentualnie o znacznie niższych parametrach, jak stosunek masy do pojemności) które mogłyby być ładowane z sieci w długotrwałym procesie (małą mocą), a oddawać energię do samochodu w znacznie krótszym (dużą mocą) czasie i/lub stosowniejszej chwili (rysunek1.).



Rys. 1. Zasada ładowania pośredniego

Na rysunku 1. przedstawiono zasadę pośredniego ładowania samochodu elektrycznego, pozwalającą dzięki możliwości gromadzenia energii w stacjonarnej baterii akumulatorów na dość dowolny wybór czasu (terminu) ładowania oraz zmiany szybkości ładowania – z sieci zasilającej energia może być pobierana z mniejszą mocą, a oddawana w innym czasie i z inną wartością mocy do baterii pojazdu. Znaczącą zaletą techniki pośredniej jest możliwość racjonalizowania obciążenia sieci energetycznej wobec wzrastającej ilości samochodów z napędem elektrycznym.



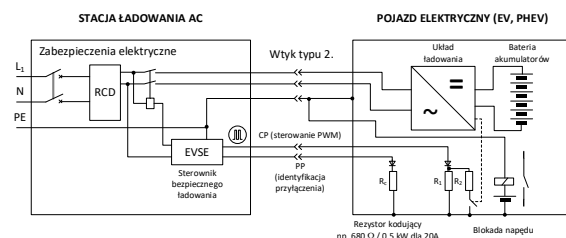
Rys. 2. Widok przykładowej ładowarki uniwersalnej (Juice Technology [4])

Na rysunku 2. pokazano jako przykład jedną z obecnych na rynku nowoczesną, uniwersalną i kompaktową ładowarkę pozwalającą na wybór wartości prądu ładowania oraz dzięki łatwej i bezpiecznej wymianie adapterów pozwalającą na podłączenie samochodu zarówno do klasycznych gniazd sieciowych, jak i stacji ładowania:

- A – urządzenie sterująco-zabezpieczające,
- B – bezpieczny wtyk adapterów,
- C – wtyk typu 2. (strona samochodu),

- D – adapter zasilania,
- E – wtyk 3-fazowy; 3x400VAC; 32A (CEE32),
- F – wytrzymały kabel hybrydowy z żyłami sterowania; 3x400VAC; 32A.

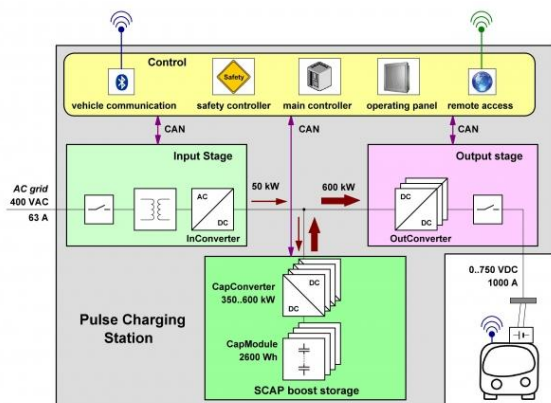
Ładowanie baterii pojazdu elektrycznego z zależności od zastosowanego układu jak opisano wyżej może odbywać się z różną mocą, w zależności od wydajności prądowej źródła. Niekiedy jednak użytkownik może nie być zainteresowany użyciem maksymalnej mocy oraz bezpiecznie jest posiadać własne zabezpieczenie obwodu ładowania. Stosując uniwersalne ładowarki (rys. 2.) można regulować wydatek mocy sieci zasilania i dostosowywać go np. do możliwości źródła.



Rys. 3. Jeden z przykładów schematu ideowego obwodów ładowania samochodu elektrycznego

Na rysunku 3. przedstawiono uproszczony schemat połączenia samochodu elektrycznego z 1-fazową stacją ładowania. Stacja jest wyposażona w wyłącznik różnicowo-prądowy (RCD), zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe, łączniki i układ bezpiecznego sterowania procesem ładowania (EVSE). Poprzez sterujące złącze sygnałowe urządzenie określa dopuszczalną wartość prądu ładowania, która zakodowana jest, jako sekwencja sygnału PWM. Pojazd wskazuje aktualny status za pomocą wartości napięcia mierzonego przez układ kontrolny stacji ładowania (EVSE). Dopuszczalna wartości prądu ładowania przypisana konkretnej szerokość impulsu sygnału PWM oraz wartości napięcia do stanów pojazdu została zdefiniowana w normie IEC 61581-1.

Po stronie pojazdu widzimy dwa główne zabezpieczenia: blokadę napędu uniemożliwiająca nagłe odjechanie pojazdu w czasie, gdy kabel jest podłączony i trwa ładowanie (ryzyko uszkodzenia gniazd, kabla, powstania łuku elektrycznego itd. oraz kodowanie za pomocą rezystora (tu: 680Ω) wartości dopuszczalnej obciążalności przewodu, a w konsekwencji uszkodzenia lub osłabienia jego izolacji.



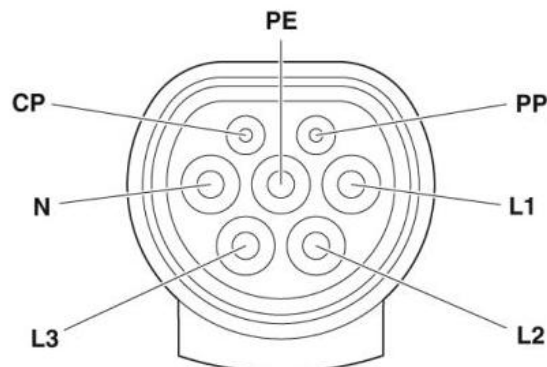
Rys 4. Schemat ideowy stacji pantografowego systemu szybkiego ładowania pośredniego (Schunk Bahn)

Na rysunkach 3. i 4. pokazano przykładowe schematy ideowe ładowania samochodów elektrycznych, odpowiednio osobowych i autobusów transportu miejskiego (względnie autokarów rejsowych lub samochodów ciężarowych), które charakteryzują się większymi mocami oraz zgromadzoną energią, a także rozbudowanym systemem komunikacyjnym o funkcjach kontroli, teleserwisu, nadzoru nad bezpieczeństwem i taryfikacji. Cenną funkcjonalnością przedstawionej tu stacji ładowania jest zastosowanie oprócz akumulatorowej baterii pośredniej układu kondensatorów do superszybkiego ładowania. Moc większych pojazdów jest znaczna i czas ich postoju jest cenny, zatem aby ładowanie nie było znaczące pod względem czasu w cyklu pracy konieczna jest możliwość użycia techniki kondensatorowej.

4. Specjalistyczne kable i przewody

Przewody służące do ładowania pojazdów elektrycznych nie są zbyt długie, zatem nie należy spodziewać się znacznych spadków napięcia w czasie ładowania. Większe znaczenie ma prawidłowy dobór przekroju żył czynnych, aby zapobiec przegrzewaniu się kabli. Jak już wspomnieliśmy w poprzednim rozdziale kable ładowania nie służą jedynie do przesyłu mocy, lecz również do przekazywania sygnałów sterujących. Są zatem kablami hybrydowymi (o zróżnicowanych żyłach). Budowa kabla zależy też oczywiście od rodzaju zastosowanych złączy (zarówno w pojeździe, jak i stacji ładowania), przekroje i liczba żył jest określona przez normę [8, 9, 10]. Kable poza właściwościami elektrycznymi muszą być odporne na niezbyt przyjazne warunki środowiskowe, należą do nich:

- woda (deszcz, kałuże),
- oleje i smary (oraz inne płyny samochodowe),
- szeroki zakres zmienności temperatur,
- promieniowanie UV itd.



Rys. 5. Schemat styków wtyku typu 2. Do ładowania prądem przemiennym 1- lub 3-fazowym

Na rysunku 5. przedstawiono najbardziej popularny w Europie układ wtyku stosowanego do ładowania samochodów elektrycznych (tzw. typ 2.). Ogólnie może on być użyty do kilku sposobów ładowania: prądem przemiennym jedno-, dwu- lub trójfazowym (jak na rysunku), ale również stałym lub mieszanym. W wypadku większych mocy ładowania (szybkiego ładowania) stosowane są również wtyki typu „Combo”, gdzie poza układem styków jak w typie 2. istnieją dwa dodatkowe styki dla prądu stałego. Typowym kablem do zasilania za pomocą wtyku typu 2. jest HELUPOWER® CHARGE-750-AC pokazany na rysunku 6.



Rys. 6. Kabel HELUPOWER® CHARGE-750-AC

Występuje on [6] w wersji jednofazowej i trójfazowej posiadając oczywiście również żyły sygnałowe (750-AC) oraz typowo dwużyłowej, jeśli chodzi o żyły czynne dla wersji jednofazowej (1200-DC), żyłę ochronną i oczywiście żyły sygnałowe. Jest on dostosowany ściśle do przyjętego w Europie systemu ładowania, a dla największego dostępnego przekroju żył ($2 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \text{ G}35 \text{ mm}^2 + 6 \times 0,75 \text{ mm}^2$) umożliwia przepływ prądu nawet 200A dla pojedynczego połączenia. Kable te występują w dwóch wersjach kolorystycznych – tradycyjnej czarnej i czerwonej, która minimalizuje ryzyko potknięcia oraz oczywiście najechania na kable

mogącego skutkować ich uszkodzeniem. Płaszcz zewnętrzny jest wykonany całkowicie z poliuretanu elastycznego (TPE-U), który łączy cechę ekstremalnej odporności mechanicznej (w tego tworzywa wykonywane są oploty ochronne dla innych kabli, np. muzycznych) z elastycznością (promień gięcia to jedynie 4 x średnica kabla dla ułożenia na stałe i 7,5 dla połączeń elastycznych).



Rys. 7. Wielofunkcyjny kabel hybrydowy

Na rysunku 7. pokazano przykładowy przekrój specjalistycznego kabla przeznaczonego do łączenia stacji ładowania pojazdów elektrycznych [7]. Tego rodzaju kable należą do najnowocześniejszego trendu w technologii ładowania. Stosowane są np. na rozbudowanych stacjach ładowania pojazdów elektrycznych do podłączenia falownika, sterowania panelami i stacjami ładowania DC. Kluczowe czynniki takich rozwiązań to niezawodna i wolna od zakłóceń transmisja danych oraz optymalne zaopatrzenie w energię. Są przeznaczone do systemów wymagających obszernych testów urządzeń stacji oraz pojazdów. Są przykładem rozwoju technologii kabli hybrydowych zapoczątkowanej przez branżę obrabiarkową. Aktualny stan technologii pozwala na połączenie przewodów miedzianych (sygnałowych i mocy), aluminiowych i światłowodów w kablach hybrydowych

w produkcji wielkoseryjnej. Minimalizuje to nie tylko zużycie materiałów, lecz pozwala na oszczędność miejsca oraz znacząco skraca czas prac wdrożeniowych.

5. Literatura

- [1]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, Bruksela 2010.
- [2]. A. Jagiełło „Elektromobilność w kształtowaniu rozwoju drogowego transportu miejskiego w Polsce”, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2021.
- [3]. P. Kwiatkiewicz, R. Szczerbowski, W. Śledzik „Elektromobilność – środowisko infrastrukturalne i techniczne wyzwania polityki regionalnej”, Wydawnictwo Naukowe FNCE, Poznań 2020
- [4]. User Manual JUICE BOOSTER 2 [EL-JB2, EA-JB2] Version 2.02 EN.
- [5]. M. Piekarski, J. Drobniak, P. Rybiński "A load adaptive control approach for a zero-voltage-switching DC/DC converter used for electric vehicles", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 3, str. 92 -97, 2014.
- [6]. Cables, Wires & Accessories E-MOBILITY Ed. 1.1 // GB, Hemmingen 2020.
- [7]. E-mobility, Hemmingen 2020.
- [8]. IEC 62196-1 Edition 2.0 2011-10: Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 1: General Requirements.
- [9]. IEC 62196-2 Edition 1.0 2011-10: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories.
- [10]. IEC 62196-3 Edition 1.0 2011-10: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – conductive charging of electric vehicles.

Autor

Marek Trajdos jest specjalistą w zakresie automatyki napędu elektrycznego, bezpieczeństwa maszyn i urządzeń elektrycznych niskiego napięcia zarządzania projektami oraz produkcją z ponad trzydziestoletnim stażem przemysłowym. Jest doradcą technicznym w firmie Helukabel Polska, TUV Nord, Dekra i innych.