

## STACJE SZYBKIEGO ŁADOWANIA DLA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

*W poniższym opracowaniu przedstawiona została prognoza zapotrzebowania na energię elektryczną, w aspekcie ładowania pojazdów elektrycznych na stacjach szybkiego ładowania. W artykule przedstawione zostały rzeczywiste pobory mocy towarzyszące ładowaniu pojazdów elektrycznych w różnych standardach ładowania. Zaprezentowany został model stacji szybkiego ładowania z magazynem energii. Sposób konfiguracji połączenia magazynu z siecią elektroenergetyczną może skutecznie wpłynąć na zmniejszenie chwilowych obciążeń oraz uśrednienie poboru mocy z samej sieci. Zainstalowanie magazynu energii generuje potrzebę stworzenia systemu łączącego interfejsy ładowarek oraz baterię, ponadto technologia wykonania może pozwolić na stworzenie modułowego systemu umożliwiającego łatwą rozbudowę stacji ładowania. Stosowane w magazynach energii ogniwa elektrochemiczne posiadają określone warunki, które w celu uzyskania optymalnej żywotności i wydajności ogniwa muszą być spełniane. Najistotniejszym warunkiem, który należy spełnić jest z pewnością temperatura pracy ogniwa, która przy dużych mocach chwilowych może być wysoka.*

### WSTĘP

Europejska oraz krajowa polityka transportowa, która w pierwszej połowie XXI wieku zakłada istotne ograniczenie emisyjności szkodliwych spalin wytwarzanych przez pojazdy oraz wzrastająca liczba pojazdów elektrycznych generują potrzebę tworzenia stacji ładowania pojazdów [3,6,11,12]. Koncept elektrycznych samochodów widnieje już w wielu największych markach produkujących pojazdy, a infrastruktura stacji ładowania pojazdów elektrycznych stale się rozrasta. Zwiększające się zapotrzebowanie energii na ładowanie pojazdów elektrycznych zaczyna stanowić coraz większe wyzwanie dla sieci elektroenergetycznej [2,4,6,12].

Stacje ULTRA FAST CHARGE swoją konstrukcją powinny spełniać założenia szybkiego, prostego w obsłudze i bezpiecznego ładowania, aby na co dzień każdy właściciel pojazdu elektrycznego - EV (*electric vehicle*) był w stanie samodzielnie naładować pojazd bez najmniejszych komplikacji. Analogicznie do stacji paliwowych stacje ładowania powinny być w stanie obsługiwać kilka pojazdów jednocześnie oraz powinny obsługiwać wiele standardów ładowania takich jak CHAdeMO, CCS Combo 1 czy CCS Combo 2 [19].

### 1. ZESTAWIENIE STANDARDÓW SZYBKIEGO ŁADOWANIA

Standard CHAdeMO (oznaczenie IEC 62196 Type 4) jest standardem rozpowszechnionym wśród pojazdów produkowanych w krajach azjatyckich. Standard ten pozwala na ładowanie magazynów energii umieszczonych w pojazdach elektrycznych napięciem stałym o wartości 500 V oraz natężeniem prądu o wartości 125 A. Maksymalna moc na którą zaprojektowane jest złącze CHAdeMO (rys. 1) wynosi 62,5kW [5,9,14].

Udoskonalony standard (CHAdeMO 1.2), zapewniający kompatybilność z wcześniejszą wersją standardu, został przystosowany do przesyłu prądu o natężeniu 200 A, a moc standardu wzrosła do 200 kW. Stowarzyszenie CHAdeMO obecnie pracuje nad wersją 2.0, która w założeniach ma umożliwić ładowanie pojazdów elektrycznych napięciem DC o wartości 1000 V przy zachowanym natę-

żeniu prądu ze standardu 1.2, czyli 200 A. Dużą zaletą CHAdeMO jest również możliwość obsługi technologii V2G, czyli Vehicle-to-Grid. Dzięki temu rozwiązaniu możliwy jest dwukierunkowy przepływ energii pomiędzy samochodem elektrycznym i siecią elektroenergetyczną [16].



Rys. 1 Standard CHAdeMO wtyki ładującej EV.[18]

Standard CCS type 2 (*Combined Charging System*) inaczej nazywany Combo 2 (rys. 2) to rozszerzenie standardu opracowanego w Niemczech "Mennekes", od którego powoli się już odbiega na rzecz standardu CCS [5,17]. Moc Combo 2 jest zależna od modelu i marki samochodu i jest w stanie obsługiwać do 350 kW w przypadku ładowarek Porsche, czy 50kW w Oplu Ampera-e. Maksymalna wartość napięcia, niezależnie od tego czy jest to napięcie stałe czy przemienne, dochodzi do 500 V, a natężenie prądu ładowania poprzez ten rodzaj wtyczki osiąga wartość 200 A dla prądu stałego i 80 A w przypadku prądu przemiennego. Jeżeli ładowanie odbywa się za pomocą układu trójfazowego, prąd ładowania osiąga wartość 63 A. Samochody ze wyposażone we wtyki zgodne ze standardem CCS są konstruowane głównie z przeznaczeniem na rynek europejski. Na chwilę obecną większą popularnością cieszy się standard Combo 2 i to właśnie on ma być stosowany na wszystkich światowych rynkach [5,17].



Rys. 2 Standard Combo2 wtyki ładującej EV [8].

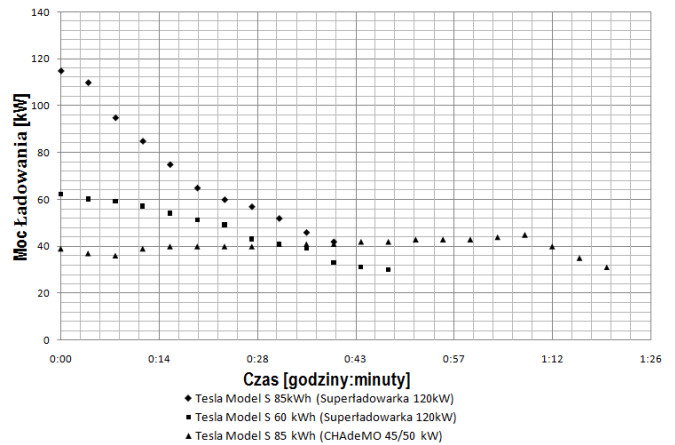
Standard CCS Type 1 (Combo 1) to standard przeznaczony na rynek amerykański. Moc elektryczna jaką można przesłać przez wtyczkę w tym standardzie dochodzi do 90 kW. W standardzie CCS type 1 (rys. 3) nie ma możliwości ładowania pojazdu elektrycznego trójfazowym napięciem przemiennym. Stanowi to pewne ograniczenie w stosunku do standardu CCS type 2.



Rys. 3 Standard Combo1 wtyki ładującej EV [9].

## 2. PROGNOZA POBORU ENERGII PRZEZ ŁADOWANE POJAZDY ELEKTRYCZNE

Według Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych, w 2017 r. odnotowano ponad siedemset tysięcy elektrycznych samochodów zarejestrowanych w Unii Europejskiej, a ich liczba do końca 2018 r. może oscylować wokół miliona aut. W trakcie szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych może zwiększać się zjawisko nieregularnego obciążenia sieci elektroenergetycznej. Zróżnicowany pobór mocy podczas ładowania elektrycznego samochodu jest dodatkowo problematycznym zagadnieniem wpływającym na wydajność stacji, mianowicie moc z jaką pojazd elektryczny jest ładowany. W wielu standardach wartość mocy z jaką pojazd jest ładowany ma zmienną wartość. Jedynie w standardzie CHAdeMO wartość mocy ładowania utrzymuje się przez dłuższy czas na stałym poziomie bliskim maksymalnej możliwości ładowarki (rys. 4) [7,19].



Rys. 4 Porównanie mocy ładowania aut Tesla Model S [10].

Na wykresie ilustrującym zmianę mocy ładowania w czasie (rys. 4) widnieją charakterystyki przedstawiające zmienność wartości mocy ładowania w czasie, w zależności od zastosowanego standardu ładowania. Należy dodać, że wpływ na charakterystykę ładowania ma również technologia wykonania magazynu energii. W celu przedstawienia dokładniejszych różnic pomiędzy poszczególnymi standardami ładowania, badaniu został poddany jeden model samochodu w wariantach z dwoma różnymi pojemnościami magazynu energii. W wyniku wykonanego eksperymentu zauważalna jest tendencja spadku chwilowej mocy w standardzie CCS (super ładowarka 120kW) nawet o 50% początkowej wartości, niezależnie od pojemności akumulatora. Wykonany eksperyment prezentuje wyniki jedynie dla jednego modelu samochodu. W pojazdach elektrycznych oferowanych przez innych producentów, zmiany mocy z pewnością różnią się od zaprezentowanych. Niezależnie od standardu należy przez cały okres ładowania zapewnić dostęp do nominalnej wartości mocy jaką dany standard może obsłużyć. Z punktu widzenia sieci elektroenergetycznej nie można przyjmować, że pobór mocy spadnie o dany procent w określonym czasie, gdyż, jak wyżej wspomniano, każdy model ma własny proces ładowania. Dodatkowo na proces ładowania mogą wpływać różne czynniki trudne do przewidzenia. W dzisiejszych czasach wiele stacji konstruowanych jest z myślą o ładowaniu czterech pojazdów w jednym czasie, jednak postępujący rozwój dziedziny EV będzie generował zapotrzebowanie na struktury posiadające więcej niż tylko cztery punkty ładowania, a moce w poszczególnych standardach są stale zwiększane.

Ładowanie aut na stacjach szybkiego ładowania może stać się problematyczne dla sieci elektroenergetycznej, a sama sieć może zwyczajnie nie podać zwiększonemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną, generowanemu przez użytkowników infrastruktury związanej z ładowaniem elektrycznych pojazdów [2,5].

## 3. MODEL STACJI ULTRA FAST CHARGING Z MAGAZYNEM ENERGII

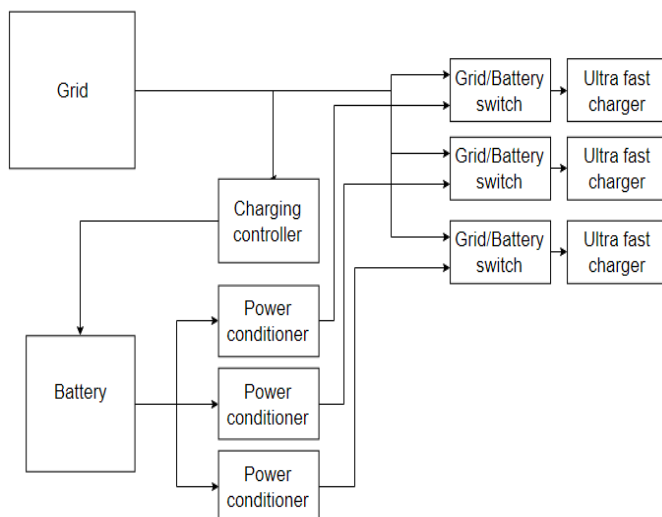
Zakładając, że na stacji szybkiego ładowania będą w podłączone trzy samochody w jednym czasie, w tym tylko jedno złącze będzie w standardzie CCS combo 2, a pozostałe w standardzie CHAdeMO, to niezbędnym będzie zapewnienie przyłącza elektroenergetycznego o mocy nie mniejszej niż 245 kW. Jeśli w konstrukcji stacji szybkiego ładowania zostałby uwzględniony magazyn energii to możliwym byłoby ładowanie samochodów energią pobieraną nie bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej, lecz energią czerpaną z magazynu energii, co z pewnością pozwoliłoby na ograniczenie chwilowego poboru mocy z sieci. W dzisiejszych czasach zestawia-

jąc ze sobą najpopularniejsze modele pojazdów elektrycznych, można zauważyć, że średnia wartość pojemności magazynów energii instalowanych w pojazdach elektrycznych jest bliska 45 kWh [5,13,15].

**Tab. 1** Zestawienie wybranych pojazdów elektrycznych, pojemności magazynu energii oraz zużycia energii elektrycznej [1,5,6,13,15]

Samochód	Pojemność magazynu energii [kWh]	Zużycie energii elektrycznej [kWh/100km]	
		Miasto	Trasa
BMW ActiveE	32	19,6	21,8
Chevrolet Bolt EV	60	16,4	19
Fiat 500e	24	17,3	20,3
Ford Focus Electric	33,5	17,7	21,8
Nissan Leaf	40	16,8	20,9
Tesla Model S 60	60	21,4	20,7
Tesla Model S 100	100	20,7	20,5
Toyota RAV4	41,8	26,9	28,3
Volkswagen e-Golf	35,8	16,6	18,9

Instalując magazyn energii o mocy 150 kWh stacja ładowania jest zdolna w pełni naładować trzy pojazdy energią z magazynu, dodatkowo w trakcie pracy będzie doładowywać posiadany magazyn energią z sieci elektroenergetycznej. Sposób zainstalowania i skonfigurowania magazynu pozwala na jednoczesne ładowanie pojazdów energią elektryczną czerpaną z sieci oraz energią z magazynu energii. Wartość prądu ładowania magazynu energii zainstalowanego w stacji ładowania jest uzależniona od liczby pojazdów aktualnie ładowanych w stacji. Ponadto konfiguracja może umożliwić pracę wyspą stacji w przypadku usterki występującej w systemie elektroenergetycznym, a sama stacja może okazać się źródłem awaryjnego zasilania dla pobliskich odbiorców [7,19].



**Rys. 5.** Schemat blokowy magazynu energii umieszczonego w stacji ultra szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych [19].

Zaprezentowany schemat blokowy magazynu energii umieszczonego w stacji ultra szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych (rys. 5) prezentuje wybrany sposób podłączenia magazynu energii. W tym przypadku konfiguracja połączeń umożliwia zasilanie tylko jednego punktu ładowania pojazdów energią elektryczną pobraną bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej. Pozostałe punkty ładowania automatycznie przełączają się na pobór energii elektrycznej z magazynu energii zainstalowanego w stacji ładowania. Urządzenia, które monitorują i kontrolują źródła ładowania EV są dodatkowo wyposażone w osprzęt zapobiegający powstawaniu zwarć. Kontroler

ładowania baterii jest stale podłączony do sieci dwoma magistrami: 40kW i 120kW. Wykorzystanie dwóch połączeń o różnych mocach ma przyczynić się do zoptymalizowania czasu ładowania zarówno magazynu energii zainstalowanego w stacji ładowania, jak i magazynu energii zainstalowanego w pojeździe elektrycznym. Przy takim połączeniu uzyskiwany jest również efekt uśrednienia wartości mocy elektrycznej pobranej z sieci elektroenergetycznej. Podczas ładowania pojazdu energią elektryczną pobraną bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej ładowanie magazynu będzie odbywać się z maksymalną mocą równą 40kW. Dzięki kondycjonowaniu umieszczonym pomiędzy magazynem energii a urządzeniem przełączającym źródło zasilania punktu ładowania, możliwe będzie zoptymalizowanie parametrów przesyłanej energii służącej do ładowania pojazdu elektrycznego. Energia elektryczna z magazynu energii zanim dotrze do tyłki samochodowej, jest uprzednio odpowiednio dostosowywana przez kondycjonery, które w przypadku standardów CCS i CHAdeMO zmieniają parametry napięcia DC. Przy odpowiednio dużej mocy magazynu energii, można stworzyć modułowy system przyłączy, który pozwoliłby na podłączanie kolejnych punktów ładowania do zabudowanego magazynu energii.

Magazyn energii wykonany z ogniw elektrochemicznych o tak dużej pojemności posiada dużą objętość oraz masę. Normy ochrony przeciwporażeniowej określają środki zabezpieczeń umożliwiającą bezpieczną eksploatację stacji ładowania wyposażonej w magazyn energii elektrycznej. Jednym ze sposobów zabezpieczenia magazynu przed ewentualnymi uszkodzeniami oraz zmniejszającym ryzyko niekorzystnego oddziaływania magazynu energii na człowieka jest ułożenie magazynu energii w pomieszczeniu podziemnym [7].

Litowo-jonowe magazyny energii są obecnie jednym z rozwiązań oferujących liczbę cykli ładowania wynoszącą ponad 15 tys., oraz długą żywotność. Istotnym ograniczeniem, są warunki poprawnej pracy. Użytkowanie litowo-jonowego magazynu energii w temperaturze przekraczającej 35°C powoduje spadek efektywności działania ogniw litowo-jonowych oraz skrócenie okresu ich żywotności. W stacjach ultra szybkiego ładowania, przy mocach sięgających 120kW, ilość wydzielanego ciepła podczas przepływu energii jest duża i będzie niekorzystnie oddziaływać na zainstalowany w stacji magazyn energii. Chłodzenie magazynu może odbywać się za pomocą wodnego wymiennika ciepła, a samo umieszczenie magazynu energii pod ziemią będzie pozytywnie izolować ogniwa litowo-jonowe od wpływu temperatur panujących na powierzchni ziemi. Takie ułożenie magazynu może pozwolić na całkowite wypełnienie pomieszczenia wymiennikiem ciepła, co skutkowałoby wydłużeniem cyklu obiegu cieczy chłodzącej.

## PODSUMOWANIE

Uwzględniając szybki rozwój elektromobilności można sformułować stwierdzenie, że stacje ultra szybkiego ładowania będą generować bardzo duże obciążenia dla sieci elektroenergetycznej. Skutecznym sposobem zapobiegania zbyt dużemu poborowi mocy może okazać się magazyn energii umieszczony przy stacji ultra fast charge. Już na etapie planowania i projektowania niezbędnym jest określenie mocy oraz rodzaju magazynu energii, który w przypadku odpowiednio dużej mocy mógłby spełniać funkcję alternatywnego zasilania dla pobliskich odbiorców. Optymalnym rodzajem ogniw mogą okazać się ogniwa wykonane w technologii bazującej na litie, posiadające relatywnie długą żywotność. Niezbędnym jest spełnianie standardów i norm bezpieczeństwa na etapie budowania, realizacji oraz eksploatacji stacji ładowania wyposażonej w magazyn energii. Bezpiecznym rozwiązaniem może okazać się umieszczenie magazynu energii w podziemnym pomieszczeniu znajdującym się



bezpośrednio pod punktami ładowania. W celu utrzymania optymalnych warunków pracy magazynu energii należy zapewnić odpowiednie jego chłodzenie. Przyczyni się do wydłużenia żywotności magazynu i poprawi jego warunki eksploatacyjne. Odpowiedni dobór oraz zainstalowanie magazynu energii pozwoli na późniejszą rozbudowę stacji o dodatkowe punkty ładowania, zwiększając liczbę pojazdów ładowanych jednocześnie.

### BIBLIOGRAFIA

1. Bakker S., Leguijt P., Lente H., Niche accumulation and standardization – the case of electric vehicle recharging plugs, *Journal of Cleaner Production* tom 94, 1 maj 2015, str. 155-164.
2. Boynuegri A.R., Uzunoglu M., Erdinc O., Gokalp E., A new perspective in grid connection of electric vehicles: Different operating modes for elimination of energy quality problems, *Applied Energy*, tom 132, 1 listopad 2014, str. 435-451.
3. Gnann T., Funke S., Jakobsson N., Plötz P., Sprei F., Bennehag A., Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, tom 62, lipiec 2018, str. 314-329
4. Kras B, Gutowski R, Figura R „Rodzina modułowych baterii litowych w technologii LTO z systemem zarządzania termicznego do pracy w systemach autobusowych szybkiego ładowania, "Autobusy" 2016 nr.12.
5. Rubino L., Capasso C., Veneri O., Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with distributed energy sources for sustainable mobility, *Applied Energy*, tom 207, 1 grudzień 2017, str. 438-464.
6. Shareef H., Islam M., Mohamed A., A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, tom 64, październik 2016, str. 403-420.
7. Tanim T., Shirk M., Bewley R., Dufek E., Liaw B., Fast charge implications: Pack and cell analysis and comparison, *Journal of Power Sources*, tom 381, 31 marzec 2018, str. 56-65.
8. <http://www.plugincars.com/sae-unveils-combined-charger-system-121119.html>
9. <https://www.jetcharge.com.au/vehicle-plug-types/>
10. [http://samochodelektryczne.org/porownanie\\_tempa\\_ladowania\\_modelu\\_s\\_z\\_superladowarek\\_i\\_chademo.htm](http://samochodelektryczne.org/porownanie_tempa_ladowania_modelu_s_z_superladowarek_i_chademo.htm)
11. <http://gramzielone.pl/auto-ekologiczne/24554/me-ponad-6-tys-stacji-ladowania-ev-w-2020-r>
12. [http://www.flota.com.pl/we\\_flocie/3764/pierwszy-milion-aut-elektrycznych-w-ue-jus-w-2018-r-sprawdz-prognozy.html](http://www.flota.com.pl/we_flocie/3764/pierwszy-milion-aut-elektrycznych-w-ue-jus-w-2018-r-sprawdz-prognozy.html)
13. [http://samochodelektryczne.org/porownania\\_zasiegow\\_i\\_osiagow\\_pojazdow\\_elektrycznych.htm](http://samochodelektryczne.org/porownania_zasiegow_i_osiagow_pojazdow_elektrycznych.htm)
14. <http://elektrowoz.pl/ladowarki/stacja-ladowania-samochodow-elektrycznych-type-2-co-to-oznacza-objasniamy/>
15. <http://elektrowoz.pl/porady/jakie-gniazdka-maja-samochody-elektryczne-jakie-sa-typy-wtyczek-w-autach-elektrycznych-objasniamy/>
16. <http://elektrowoz.pl/auta/specyfikacja-chademo-1-2-o-mocy-ladowania-do-200-kw-dostepna/>
17. [http://samochodelektryczne.org/standard\\_combined\\_charging\\_system\\_ccs\\_w\\_wersji\\_europejskiej\\_ma\\_objac\\_prawie\\_caly\\_swiat.htm](http://samochodelektryczne.org/standard_combined_charging_system_ccs_w_wersji_europejskiej_ma_objac_prawie_caly_swiat.htm).
18. <https://elektromobilnosc24.pl/artykul/269-standard-chademo>
19. Materiały wewnętrzne, Delta Electronics.

### Ultrafast charging station for electric vehicles

*The infrastructure of electric vehicle could generate very high request on energy. To reduce the request and average the power consumption we can build stations with battery. In technology with battery is possible supply the plugs from various sources - directly from the grid or from the battery. This solution could be expand by next charging positions joined to the battery. The connection system between battery and charging positions has a conditioners and intelligent switches(grid/battery) separate for all positions. Cells with its construction can provide power to the EV or nearby buildings even while the grid is off. Necessary is provide proper conditions work of cells for maintain the longest lifetime of battery.*

Autorzy:

dr inż. **Radosław Figura** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, r.figura@uthrad.pl

**Sebastian Sadowski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, sebastiansadowski95@gmial.com

dr inż. **Robert Siroić** - Delta Electronics, robert.siroic@deltaww.com

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.186

Data zgłoszenia: 2018.05.24 Data akceptacji: 2018.06.15