

Arkadiusz Małek, Tomasz Łusiak

Interaktywne stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych

JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2019.014

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule omówiono zostało interaktywne stanowisko do badania komponentów pojazdów elektrycznych. Można je również wykorzystać w dydaktyce przedmiotów technicznych takich jak budowa pojazdów oraz diagnostyka pojazdów z ukierunkowaniem na pojazdy hybrydowe lub całkowicie elektryczne. W artykule omówiono poszczególne komponenty stanowiska oraz przedstawiono przykładowe ich wykorzystanie w nauce i dydaktyce. Skupiono się na komponentach odpowiedzialnych za magazynowanie energii na pokładzie pojazdu i procesie ładowania baterii litowo-jonowej.

Słowa kluczowe: pojazdy elektryczne, ładowanie baterii litowo-jonowych, szybka ładowarka DC, gniazdo ładowania typ 2

Wstęp

Ważnymi aspektami rynkowymi, oprócz produkcji i sprzedaży pojazdów elektrycznych, jest ich diagnostyka i naprawa. Niektóre z pojazdów elektrycznych diagnozuje się i naprawia w podobny sposób jak ich poprzedników z napędem spalinowym. Ma to miejsce wtedy, gdy producent takiego modelu pojazdu wykorzystał platformę pojazdu spalinowego do przerobienia na napęd elektryczny. Jednak większość koncernów motoryzacyjnych postanowiła zbudować auta elektryczne od początku z wykorzystaniem wszystkich przewag jakie niesie za sobą napęd elektryczny. Autoryzowane i nieautoryzowane serwisy muszą nauczyć się nowego podejścia do serwisowania pojazdów elektrycznych. Inna budowa, inny zakres poszczególnych przeglądów gwarancyjnych i pogwarancyjnych. Do tego całkiem inne podejście do obsługi komponentów pod wysokim napięciem (do 500 V). Wymaga to od kadry całkiem odmiennej wiedzy, kompetencji a także innych uprawnień.

Procesy diagnostyki i serwisowania pojazdów elektrycznych są procesami złożonymi, ze względu na złożoność systemów występujących w nowoczesnych pojazdach o napędzie elektrycznym. Są to zazwyczaj systemy mechatroniczne – czyli mechaniczne lub elektryczne (ewentualnie mechaniczno-elektryczne) ze sterowaniem elektronicznym. Bardzo często systemy w nowoczesnych pojazdach stanowią przykład Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things), kiedy to jednoznacznie identyfikowalne przedmioty mogą pośrednio albo bezpośrednio gromadzić, przetwarzać lub wymieniać dane z wykorzystaniem różnego rodzaju transmisji.

Proces diagnostyki pojazdów elektrycznych jest przedmiotem intensywnego rozwoju ze strony naukowców, koncernów motoryzacyjnych posiadających własne Autoryzowane Stacje Obsługi oraz niezależne warsztaty zajmujące się diagnostyką pojazdów różnych marek. Każda z tych grup ma swój interes w rozwoju i komercjalizacji innowacji w tym zakresie.

a) Grupa naukowa prowadzi badania naukowe w zakresie innowacyjnego podejścia do diagnostyki coraz bardziej zaawansowanych urządzeń jakimi są samochody osobowe i użytkowe z napędem elektrycznym. Dzięki takim badaniom rozwijane są metody diagnostyczne pozwalające na przykład na ciągły moni-

toring wybranych sygnałów pomiarowych i wykorzystania ich do oceny poprawności działania lub predykcji (przewidywania) uszkodzeń. Na podstawie takich badań tworzone są na przykład zaawansowane algorytmy wykorzystywane przez systemy diagnostyki pokładowej w pojazdach (ang. On-Board Diagnostics). Wyniki takich badań, prowadzonych na światowym poziomie, stanowią niejednokrotnie podstawę dla wprowadzania nowych dyrektyw, regulaminów, norm i standardów stosowanych na poziomie Unii Europejskiej lub poszczególnych krajów. Mają one przede wszystkim na celu bezpieczeństwo użytkowania pojazdów elektrycznych, ochronę środowiska oraz pomoc w zarządzaniu mobilnością, zwłaszcza w centrach dużych miast.

- b) Koncerny motoryzacyjne, produkujące i sprzedające pojazdy elektryczne, są zobowiązane do ich diagnostyki i serwisowania w okresie gwarancyjnym jak i pogwarancyjnym. Po pierwsze muszą produkować pojazdy posiadające pewne cechy samodiagnozy wynikające z przywołanych powyżej dyrektyw i regulaminów europejskich. Bez ich posiadania i sprawnego działania nie można uzyskać homologacji częściowej, a co za tym idzie cało-pojazdowej i sprzedaży pojazdów na wybranych rynkach. Przykładem jest znany system i złącze diagnostyczne OBD. Koncerny motoryzacyjne posiadają Autoryzowane Stacje Obsługi świadczą usługi jedynie dla pojazdów danego koncernu lub fuzji. Ich zadaniem jest zapewnienie najwyższych standardów diagnostyki i serwisowania pojazdów. Nie jest to wcale tajemnicą, że niejednokrotnie dochody koncernów osiągane z tego rodzaju działalności są wyższe niż z produkcji pojazdów. Diagnostyka i serwis w ASO jest obligatoryjny dla pojazdów nowo zakupionych w celu utrzymania gwarancji producenta. Wysokie ceny świadczonych usług skłaniają posiadaczy aut elektrycznych do poszukiwania alternatywnych miejsc do diagnostyki i serwisowania swoich pojazdów.
- c) Grupa niezależnych warsztatów samochodowych różnych marek walczy o prawa do możliwości diagnozowania i serwisowania pojazdów elektrycznych. Ma być to również najwyższy poziom świadczonych usług jednak z wykorzystaniem uniwersalnych testerów diagnostycznych (przeznaczonych do różnych marek) i części zamiennych pochodzących od producenta OEM lub tańszych zamienników, jednak charakteryzujących się odpowiednią jakością.

1. Kierunki rozwoju magazynów energii dla pojazdów i ich ładowania

W chwili obecnej zarówno naukowcy jak i inżynierowie z przemysłu pracują nad metodami szybkiego ładowania prądem stałym DC baterii trakcyjnych pojazdów. Spotykają się w tym obszarze z wieloma wyzwaniami.

W praktyce zaczęły być odczuwalne ograniczenia związane z ładowaniem dużymi prądami najpopularniejszych baterii litowo-jonowych typu NMC [1]. Odpowiedzią naukowców i inżynierów mają być nowe baterie LTO, które są zdolne przyjmować dużo większe prądy ładowania [8, 9]. Poligonem badawczym do tego typu testów są autobusy elektryczne posiadające pakiety bateryjne o pojemno-

ści energetycznej często większej niż 200 kWh [10, 11]. Dla takich zastosowań ciągle rozwijane są systemy ładowania pokładowego baterii (AC), szybkie ładowarki zewnętrzne (DC) oraz bezobsługowe ładowanie za pomocą pantografu (DC) [6].

W związku ze zwiększaniem prądów (a przez to mocy) ładowania występuje konieczność chłodzenia przewodów wysokiego napięcia DC do ładowania baterii jak i samych baterii trakcyjnych. Niektóre koncerny samochodowe zdecydowały się już dawno na chłodzenie cieczą pakietów baterii (BMW, Ford) inne zaś do tej pory nie stosują takich rozwiązań (Tesla, Nissan). Chłodzenia i podgrzewanie cieczą pakietów bateryjnych przyczynia się ewidentnie do kondycjonowania stanu termicznego baterii podczas ładowania [1] oraz ułatwia rozpoczęcie pracy w warunkach zimowych poprzez możliwość większego obciążenia prądowego baterii [4].

W celu szybszego ładowania coraz to większych pakietów bateryjnych zaistniała konieczność rozwoju zewnętrznych ładowarek prądu stałego DC o większych mocach. W chwili obecnej w Europie najpopularniejsze są ładowarki DC o mocy 40 lub 50 kW. Na przykład pojazdy marki Tesla, wyposażone w pakiety baterii 100 kWh, musiały by się ładować do pełna ponad 2 h (ładowarką o mocy 50 kW) lub 3 h (o mocy 40 kW). Wzorem amerykańskiego konkurenta również firmy europejskie coraz częściej oferują ładowarki o mocy 100 kW. Trwają również zaawansowane prace rozwojowe nad ładowarkami DC o mocach 150 i 350 kW [16]. Te ostatnie muszą posiadać chłodzone cieczą zarówno gniazda ładowania a także przewody wysokiego napięcia.

Ale jak wdrażać na rynku ładowarki dużej mocy kiedy brak infrastruktury sieci energetycznej zapewniających pobór mocy na poziomie 100 kW i większej? W naszym kraju do tej pory można sobie jedynie pozwolić na montaż ładowarek o mocy do 50 kW. Kilka oddanych do użytku ładowarek Supercharger firmy Tesla świadczy o tym, że można takie bariery pokonać. Pojawia się też pytanie: Skąd powinna pochodzić energia do ładowania pojazdów elektrycznych? [2, 6].

Dużym wyzwaniem jest również kształcenie inżynierów potrafiących projektować pokładowe magazyny baterii w pojazdach. W naszym kraju powstało już kilka fabryk produkujących zarówno moduły jak i pakiety bateryjne [20]. Niektóre z nich myślą nawet o budowie kolejnych placówek [21]. Rosnąca liczba aut elektrycznych na naszych drogach wymagać będzie również diagnostyki i naprawy komponentów pojazdów elektrycznych. Pojawia się zatem wyzwanie w kształceniu inżynierów mogących pracować w Autoryzowanych Stacjach Obsługi dużych koncernów motoryzacyjnych jak i w mniejszych warsztatach zajmujących się serwisem różnych marek.

2. Stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych

Diagnostyki i naprawy komponentów pojazdów elektrycznych można się nauczyć. W 2018 roku w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie wykonane zostało interaktywne stanowisko do badania komponentów pojazdów elektrycznych. Z jego pomocą można poznać zasadę działania oraz diagnostyki i naprawy takich komponentów jak:

- Silniki bezszczotkowe prądu stałego BLDC (ang. BrushLess Direct Current Motors),
- Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi PMSM (ang. Permanent Magnet Synchronous Motors),
- Baterie litowo-jonowe,
- Ładowarki prądu stałego,
- Gniazdo ładowania baterii Typ 2 wraz z systemem komunikacji ładowarki z pojazdem.

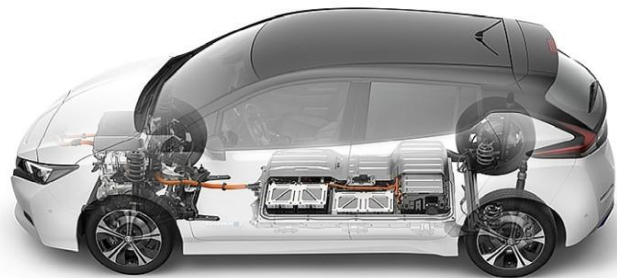
Wygląd interaktywnego stanowiska badawczego komponentów pojazdów elektrycznych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych

Komponenty na stanowisku badawczym i dydaktycznym odpowiadają rzeczywistym komponentom powszechnie stosowanym w nowoczesnych pojazdach o napędzie elektrycznym lub hybrydowym (elektryczno-spalinowym). Podczas dydaktyki warto odnosić poszczególne parametry komponentów badawczych do najbardziej znanych pojazdów na rynku. Jednym z nich jest Nissan Leaf, który został wprowadzony na rynek w 2012 roku.

Rozkład komponentów elektrycznego napędu Nissana Leaf II przedstawiono na rysunku 2. Elektryczny silnik napędowy znajduje się w przedniej części pojazdu w miejscu montażu tradycyjnego silnika spalinowego. Na wierzchu silnika znajduje się inwerter. W środkowej części nadwozia, pod podłogą, znajduje się pakiet baterii trakcyjnych wraz z system zarządzania bateriami BMS (ang. Battery Management System). W części przedniej pojazdu, tuż nad zderzakiem znajdują się drzwiczki a pod nimi gniazda do ładowania baterii trakcyjnych.



Rys. 2. Elektryczny Nissan Leaf II [17]

W przedmiotowym artykule autorzy zajmą się szczególnie tematyką nauki i dydaktyki w zakresie systemów pokładowego gromadzenia energii. Zostaną omówione komponenty zbudowanego stanowiska wraz z odniesieniem do rzeczywistych komponentów występujących w pojazdach o napędzie elektrycznym. Przedstawienie wybranych komponentów, zasilanych bezpiecznym napięciem stałym 12 V, pozwala również na szybkie przekazanie wiedzy oraz umiejętności praktycznych związanych z doбором komponentów do budowy pojazdów elektrycznych. Ze względu na dostępność, autor wielokrotnie używa przedmiotowego stanowiska badawczego, pojazdu Renault Twizy, Nissana Leaf i prototypowego pojazdu dostawczego Ursus Elvi do przeprowadzania praktycznych zajęć w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

1.1. Systemy magazynowania energii

Jednym z podstawowych komponentów elektrycznego napędu pojazdu jest pokładowy system magazynowania energii. Pobierana z niego energia służy do napędu elektrycznego silnika trakcyjnego pojazdu. Od wielkości baterii trakcyjnej, a raczej od jej pojemności energetycznej (mierzonej w kWh), zależy zasięg pojazdu. Od rodzaju baterii zależy także możliwość jej ładowania różnymi technikami a także żywotność. Bateria trakcyjna może być ładowana prądem stałym przez ładowarkę pokładową lub zewnętrzną szybką ładowarkę. Bateria jest również doładowywana przez silnik elektryczny, działający w funkcji odzyskiwania energii podczas hamowania pojazdu. Do elektrycznego podłączenia pojazdu do zewnętrznego źródła energii służą gniazda (po stronie pojazdu) i wtyczki, których kształt oraz działanie jest ściśle określone w międzynarodowych normach i standardach [12].

Dla potrzeb stanowiska zakupiono system gromadzenia energii w postaci baterii litowo-jonowej MLS 12/390 produkcji Mastervolt (patrz rysunek 3).



Rys. 3. Bateria litowo-jonowa MLS 12/390

Z opisu przedstawionego na obudowie baterii dowiadujemy się, że pracuje na napięciu nominalnym 12,8 V. Posiada pojemność 30 Ah i pojemność energetyczną 384 Wh. Waga urządzenia wynosi 4,9 kg. Z instrukcji obsługi dowiadujemy się, że bateria jest modulem cel pryzmatycznych w technologii LiFePO₄. Akumulatory litowo-żelazowo-fosforowe (LiFePO₄ lub LFP) uchodzą za najbezpieczniejsze akumulatory zśród akumulatorów litowo-jonowych. Bateria może być rozładowywana prądem ciągłym wynoszącym 30 A (1 C). Producent dopuszcza obciążenie prądem maksymalnym wynoszącym 60 A (2 C) przez czas 30 s oraz prądem szczytowym 100 A (3,3 C) przez czas 2 s. Gwarantowany przez producenta czas życia wynosi ~2000 cykli podczas których pojemność spadnie nie niżej niż do 80 % DoD (ang. Depth of Discharge). Moduł baterii posiada BMS. Ma on za zadanie nie dopuszczać do zbyt dużego naładowania i rozładowania całego modułu jak i poszczególnych cel. Jego zadaniem jest również balansowanie poszczególnych cel, gdy wartość ich napięcia odbiega od innych cel w module.

Posiadana bateria ma pojemność energetyczną 100 razy mniejszą niż pojemność najnowszego Nissana Leaf II (model 2018). Zastosowano w nim pakiet z ogniwami produkcji AESC o pojemności 40 kWh. Pakiet jest bez systemu zarządzania temperaturą (TMS), co może oznaczać szybszą utratę pojemności podczas użytkowania w ekstremalnych warunkach.

W tabeli 1 przedstawiono porównanie wybranych parametrów kilku rodzajów baterii litowo-jonowych. Na przykładzie pakietów baterijnych Nissana Leafa I i II generacji można zaobserwować bardzo szybki rozwój technologii magazynowania energii. Dotyczy to zwłaszcza energii właściwej ogniw, gęstości energii ogniw oraz rzeczywistej pojemności pakietu. Dla porównania do tabeli 1 dołą-

czono dane z posiadanego na stanowisku badawczym modułu MLS oraz magazynu energii w pierwszym polskim prototypie pojazdu użytkowego o DMC 3,5 t – elektrycznym Ursusie Elvi.

Tab. 1. Porównanie wybranych parametrów modułów baterii

	Leaf I (2010) [19]	Leaf II (2018) [19]	MLS 12/390	Ursus ELVI [18, 20]
Ogniwa	32,5 Ah i 3,75 V (LMO)	56,3 Ah i 3,65 V (NCM 622)	30 Ah (LFP)	94 Ah i 3,68 V (NMC)
Energia właściwa ogniw [Wh/kg]	157	224 (+42,7%)	78	148
Gęstość energii ogniw [Wh/l]	317	460 (+45,1%)	120	202
Liczba ogniw	192	192	BD	182
Masa ogniw [kg]	151	176	4,9	392
Liczba modułów	48 (4 ogniwo na moduł)	24 (8 ogniw na moduł)	1(BD)	14 (13 ogniw na moduł)
Umowna pojemność pakietu [kWh]	24	40	0,390	60
Rzeczywista pojemność pakietu [kWh]	23,40	39,46 (+68,6%)	0,384	58,1
Dostępna energia [kWh]	≤22	≤37 (+68%)		58
Zasięg EPA [km]	135	243 (+80%)	BD	BD

Prowadzenie dydaktyki na dobrze dobranych przykładach jest bardzo dobrze odbierane przez studentów, którzy następnie chętnie zgłębiają temat pojazdów elektrycznych samodzielnie. Wielu z nich decyduje się na napisanie pracy inżynierskiej lub magisterskiej właśnie z tej tematyki. Podczas wykładów oraz praktycznych zajęć laboratoryjnych autor koncentruje się na przekazaniu studentom gruntownej wiedzy z zakresu budowy, działania i obsługi takich urządzeń. Ważne jest także, aby studenci nabyli umiejętności szybkiego przeliczania jednostek oraz dokonywania obliczeń parametrów prądowych, zarówno w obwodach prądu stałego jak i zmiennego.

1.2. Systemy ładowania baterii trakcyjnych pojazdów

Na wyposażeniu stanowiska znajduje się system ładowania baterii litowo-jonowej Chargermaster 12/10 produkcji Mastervolt (patrz rysunek 4). Ładowarka zasilana jest prądem zmiennym o napięciu 230 V. Nominalne napięcie wyjściowe wynosi 12 V DC. Maksymalna moc ładowania wynosi 170 W. Za jej pomocą można ładować między innymi baterie żelowe i litowo-jonowe o pojemności 25÷100 Ah. Charakteryzuje się bardzo małą wagą wynosząco ok. 1 kg. Producent zastosował w niej innowacyjny system trójstopniowego ładowania 3-step+, dzięki któremu ładowane baterie działają lepiej i dłużej. To twierdzenie zostanie sprawdzone podczas badań laboratoryjnych.



Rys. 4. Ładowarka do baterii litowo-jonowych Chargermaster 12/10

Ładowarka jest podłączona do sieci energetycznej 230 V poprzez watomierz z kalkulatorem energii, dostępny w większości marketów budowlanych w cenie ok. 50 PLN (rysunek 5). Urządzenie przeznaczone jest do pomiaru napięcia, natężenia oraz mocy odbiorników. Mierzy ilość zużytej energii i oblicza jej koszt (2 indywidualne taryfy). Duży wyświetlacz LCD zapewnia łatwą obsługę oraz czytelny i przejrzysty pomiar. Urządzenie posiada zakres pomiarowy: $1\div 3680$ W oraz dokładność: $\pm 2\%$. Oznacza to, że za jego pomocą możemy mierzyć zużycie energii podczas ładowania pojazdów elektrycznych z jednofazowego gniazdka domowego (nazywane w literaturze Schuko).



Rys. 5. Watomierz z kalkulatorem energii

W pojazdach elektrycznych wykorzystywane są różne systemy ładowania baterii trakcyjnych [1]. Najprościej możemy je podzielić na ładowarki pokładowe o mocy do 20 kW oraz ładowarki zewnętrzne prądu stałego o mocy od 10 do 350 kW. Ładowarki pokładowe korzystają z zasilania zewnętrznego prądem przemiennym jedno- lub trójfazowym. Większość pojazdów z zabudowaną ładowarką pokładową zazwyczaj posiada gniazdo Typ 2. Następnie za pomocą przewodów zasilających (tzw. adapterów) gniazdo to jest zasilane z sieci energetycznej. Po stronie sieci energetycznej zazwyczaj znajdziemy standard gniazdka jednofazowego Schuko, gniazdo prądu przemiennego trójfazowego 16 lub 32 A lub gniazdo Typ 2. W słupkach przeznaczonych do publicznego ładowania pojazdów zazwyczaj występują 2 standardy złączy: Typ 2 i Schuko (patrz rysunek 6). Warto zaznaczyć, że z gniazda Typ 2 można pobierać zarówno prąd przemienny jedno jak i trójfazowy.



Rys. 6. Słupki ładowania z gniazdem Typ 2 i Schuko (po prawej)

Stanowisko badawcze wyposażono w gniazdo ładowania prądem przemiennym trójfazowym Typ 2, za pomocą którego zasilanych jest większość pojazdów elektrycznych posiadających ładowarkę pokładową o mocy od $3\div 20$ kW.

Jeżeli słupek ładowania posiada tylko gniazdo Typ 2, a nie posiada gniazda Schuko (tak jak na rysunku 6 po lewej), nie można z niego naładować na przykład Renault Twizy. Należy w tym celu wykonać adapter, przedstawiony na rysunku 7. Dzięki zabudowanej we wtyczce Typ 2 prostemu układowi elektronicznemu, z dwoma przełącznikami, możliwe jest uzyskanie zasilania ze słupka ładowania.



Rys. 7. Adapter elektryczny z gniazda Typ 2 na gniazdko Schuko

Umieszczenie gniazda Typ 2 na stanowisku badawczym i wykonanie takiego adaptera ma bardzo dużą wartość dydaktyczną. Wynika to z faktu istnienia komunikacji pomiędzy ładowarką (lub słupkiem ładowania) a pojazdem. Studenci najpierw musieli odnaleźć szczegóły przedmiotowej komunikacji w odpowiednich źródłach. Biblioteka uczelni zakupiła w tym celu odpowiednie normy [12, 13, 14].

1.3. Obciążenia elektryczne

W celu obciążenia prądowego baterii litowo-jonowych można wykorzystać dowolne urządzenia elektryczne przeznaczone do zasilania prądem stałym o wartości nominalnej 12 V. Jednak wcale nie jest łatwo znaleźć taki odbiornik, zwłaszcza w dobie energooszczędnego oświetlenia w technologii LED.

Na przedmiotowym stanowisku badawczym obciążenie elektroniczne dla baterii litowo-jonowej jest realizowane poprzez programowalny moduł PEL-300 firmy GW Instek (rysunek 8), działający w trybie stałego prądu ($6\text{ mA} \div 60\text{ A}$), napięcia ($3\div 60\text{ V}$) lub rezystancji ($50\text{ m}\Omega \div 1\text{ k}\Omega$). Liczba 300 w oznaczeniu odnosi się do mocy pobieranej przez urządzenie, która wynosi $1\div 300$ W. Moduł PEL-300 posiada możliwość programowania zmiennego cyklu obciążenia, które można zapisać w pamięci.



Rys. 8. Obciążenie elektroniczne GW Instek PEL-300

3. Badania baterii trakcyjnej w technologii litowo-jonowej

Duży wpływ na żywotność ogniw ma temperatura oraz prędkość ładowania. Ogniwa litowo-jonowe wrażliwe są na wysoką temperaturę. Zbyt długa praca w stale rosnącej temperaturze, która przekracza już 30° C może spowodować spadek pojemności ogniwa. By rozwiązać problem firmy zaczęły stosować układy chłodzenia baterii trakcyjnych cieczą. Następnym zagrożeniem jest zbyt wysoki prąd ładowania, który również może przegrzać ogniwa. Dlatego też producenci wdrażają coraz lepsze systemy ochronne. Jednym z nich jest BMS (system zarządzania baterią), ma on na celu min. ochronę baterii przed uszkodzeniem podczas ładowania, wydłużenie jej żywotności oraz utrzymanie odpowiedniego stanu ogniw. System ten, gdy wykryje jakiegokolwiek sygnały przekraczające ustaloną wartość, jest w stanie ograniczyć np. prąd ładowania lub nawet całkowicie zakończyć cykl ładowania.

Naprawa baterii trakcyjnych pojazdów elektrycznych polega na identyfikacji uszkodzonego modułu oraz uszkodzonej celi w module. Nie zaleca się napraw na poziomie pojedynczej celi, gdyż stanowi to zagrożenie pożarowe. Aby ocenić właściwie poprawność działania poszczególnych modułów baterii można połączyć się z systemem BMS (ang. Battery Management System) w celu monitorowania poziomów napięć poszczególnych cel. Podobny poziom naładowania wszystkich modułów świadczy o odpowiednim zbalansowaniu energii w akumulatorze. W przypadku podejrzenia uszkodzenia danego modułu należy przeprowadzić proces jego pełnego rozładowania i naładowania z jednoczesnym pomiarem ilości pobieranej energii (w kWh).

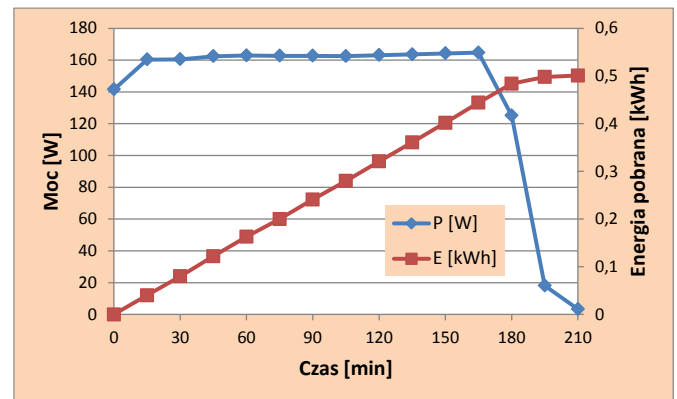
Prezentowane stanowisko badawcze bardzo często jest wykorzystywane w dydaktyce (rysunek 9). Przykładem jest laboratorium z Fizyki, obejmujące doświadczenia z pomiarów w obwodach prądu stałego i przemiennego. Podczas procesu ładowania baterii litowo-jonowej studenci mogą się zapoznać z teorią i praktyką pomiarów elektrycznych. Ładowarka zasilana jest prądem jednofazowym przemiennym, który jest następnie prostowany. Ładowanie baterii odbywa się już prądem stałym. Jest to identyczna sytuacja, jaka występuje w pojazdach z ładowarką pokładową.



Rys. 9. Stanowisko podczas badania ładowania baterii

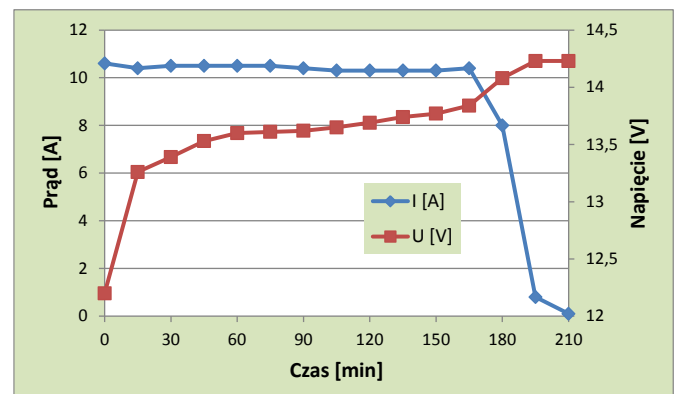
Do przeprowadzenia pomiarów w zakresie pełnego procesu ładowania baterii litowo-jonowej wykorzystano prezentowany wcześniej watomierz z kalkulatorem energii. Za jego pomocą dokonano pomiaru chwilowej mocy pobieranej z sieci energetycznej przez ładowarkę oraz ilości pobranej energii, co zostało przedstawione na wykresach na rysunku 10. Moc pobierana w początkowej fazie ładowania wynosiła 140 W, jednak szybko została zwiększona do ok. 160 W. Taki poziom pobieranej mocy utrzymywał się przez czas ok. 3 godzin. Ostatnie 30 minut procesu ładowania charakteryzowało się stopniowym obniżaniem mocy pobieranej przez ładowarkę. Cały proces ładowania trwał 3,5 godziny. Z sieci energetycznej ładowarka pobrała 0,5 kWh energii elektrycznej.

W tym miejscu warto zaznaczyć, że stanowisko badawcze zasilane jest z systemu fotowoltaicznego o mocy 1 kWp a prezentowana bateria litowo-jonowa stanowi magazyn energii.



Rys. 10. Przebieg mocy chwilowej i pobranej energii przez ładowarkę baterii litowo-jonowej

Przebieg mocy chwilowej i energii pobranej przez ładowarkę jest wynikiem zapisanej w ładowarce strategii ładowania odpowiedniego rodzaju baterii. Podczas pierwszych trzech godzin ładowania obserwowany jest liniowy wzrost pobieranej przez ładowarkę energii. Następnie ilość pobieranej z sieci energii (i dostarczonej do baterii) maleje w wyniku ograniczenia mocy ładowania. Wynika to ze strategii ładowania baterii prądem stałym o niezmiennym natężeniu wynoszącym ok. 10,4 A ($\pm 0,1$ A) podczas pierwszych 3 godzin ładowania. Widać to dokładnie na wykresie przedstawionym na rysunku 11. Pomiarów napięcia dokonano za pomocą multimetru laboratoryjnego z sondami pomiarowymi a pomiarów prądu bezdotykowo, za pomocą multimetru cęgowego. Wykorzystanie obydwu urządzeń, ustawionych na pomiar właściwych wielkości i w odpowiednim zakresie pomiarowym, było przedmiotem laboratorium. Oczywiście prąd ładowania jest wynikiem uzyskanego napięcia baterii, będącego wskaźnikiem stopnia jej naładowania SOC (ang. State Of Charge).



Rys. 11. Przebieg prądu i napięcia ładowania baterii litowo-jonowej

Podsumowanie

Na podstawie przedmiotowego artykułu można wyciągnąć następujące wnioski natury ogólnej i szczególnej:

1. Z analizy literatury wynika, że zarówno na świecie jak i w Polsce trwają badania naukowe w obszarze mobilnych magazynów energii o coraz większej pojemności energetycznej i sposobów szybkiego ich ładowania.
2. Zwiększająca się szybko ilość sprzedawanych pojazdów o napędzie elektrycznym będzie wymagała w najbliższym czasie dużej kadry inżynierskiej zdolnej diagnozować i serwisować pojazdy elektryczne.
3. Diagnostyka i serwis pojazdów elektrycznych zdecydowanie różni się od tradycyjnych pojazdów z napędem spalinowym. Wymaga od inżynierów specjalistycznej wiedzy i umiejętności, które muszą być następnie potwierdzone w wyniku egzaminu państwowego.
4. Najlepszym sposobem na zdobycie praktycznych umiejętności w zakresie pomiarów w obwodach prądu stałego i przemiennego jest wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych na prezentowanym stanowisku. Przeprowadzenie pełnego procesu ładowania baterii litowo-jonowej pomaga studentom zrozumieć strategię ładowania występujące w ładowarkach dużej mocy baterii trakcyjnych pojazdów. Warto zaznaczyć, że komponenty stanowiska zostały dobrane o bezpiecznym napięciu nominalnym 12 V.
5. Stanowisko badawcze posiada możliwość modułowej rozbudowy o następne komponenty.

Bibliografia:

1. Dobrzański D.: Przegląd i charakterystyka standardów złączy szybkiego ładowania pojazdów EV. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 3/2017 (115)
2. Flaszka J.: Elektromobilność w Polsce - wyzwania i możliwości z uwzględnieniem inteligentnych instalacji OZE. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 6/2017
3. Hall F., Touzri J., Wußler S.: Experimental investigation of the thermal and cycling behavior of a lithium titanate-based lithium-ion pouch cell, Journal of Energy Storage, Volume 17, 2018, pp. 109-117
4. Motoaki Y., Yi W., Salisbury S.: Empirical analysis of electric vehicle fast charging under cold temperatures, Energy Policy, Volume 122, November 2018, Pages 162-168
5. Nitta N., Wu F., Lee J. T.: Li-ion battery materials: present and future, Materials Today, Volume 18, Issue 5, 2015, pp. 252-264
6. Raugei M., Hutchinson A., Morrey D.: Can electric vehicles significantly reduce our dependence on non-renewable energy? Scenarios of compact vehicles in the UK as a case in point, Journal of Cleaner Production, Volume 201, 10 November 2018, Pages 1043-1051
7. Rogge M., Wolny S., Sauer D. U., Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport – A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements, „Energies” 2015, No. 8.
8. Wang L., Wang Z., Ju Q.: Characteristic Analysis of Lithium Titanate Battery, Energy Procedia, Volume 105, May 2017, Pages 4444-4449
9. Wang Y., Chu Z., Feng X.: Overcharge durability of Li4Ti5O12 based lithium-ion batteries at low temperature, Journal of Energy Storage, Volume 19, October 2018, Pages 302-310
10. Yilmaz M., Krein P. T., Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles, „IEEE Transactions on Power Electronics” 2013, Vol. 28, No. 5.
11. Zajkowski K., Seroka K.: Przegląd możliwych sposobów ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 7-8/2017
12. Norma SAE J1772, SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, 2017-10
13. Norma PN-EN 61851-23:2014-11E, System przewodowego ładowania pojazdów elektrycznych - Część 23: Stacja ładowania pojazdów elektrycznych prądu stałego, 2018-03-19
14. Norma PN-EN 61851-24:2014-11E, System przewodowego ładowania pojazdów elektrycznych -- Część 24: Cyfrowe przesyłanie danych pomiędzy stacją prądu stałego ładowania elektrycznych pojazdów drogowych i pojazdem elektrycznym w celu kontroli ładowania prądem stałym, 2018-03-05
15. <https://www.mastervolt.com/products/> dostęp [2018.11.05]
16. <https://elektrowoz.pl/ladowarki/mega-e-uruchamia-pierwsza-stacje-ladowania-350-kw-bedzie-tez-w-polsce/> dostęp [2018.11.05]
17. <http://elektrowoz.pl/dane-techniczne/nissan/leaf/2018/nissan-leaf-2-0-2018-dane-techniczne-opinie-test-cena-instrukcja-dobrania/> dostęp [2018.11.20]
18. <http://www.elvi.pl/> dostęp [2018.11.05]
19. http://samochodelektryczne.org/dostepna_energia_w_nissanie_leaf_ii_wynosi_mniej_niz_37_kwh_z_39_46_kwh.htm dostęp [2018.11.05]
20. https://www.bmz-group.com/Company/Polska/PL_index_1906.html [2018.11.20]
21. https://www.forbes.pl/biznes/lq-chem-zapowiada-budowe-drugiej-fabryki-baterii-do-aut-elektrycznych-pierwsza-jest-w/5jc75qf?utm_source=fb_forbes&utm_medium=social&utm_campaign=fb_redakcja&fbclid=IwAR0zA_gQuMIEU1lthFaOfKixxO9HHBdf-qbvsJxWFGyRPTvVKFSfzJjg9v4 [2018.11.20]

Interactive test stand for electric vehicle components

The article discusses an interactive stand for testing the components of electric vehicles. They can also be used in the didactics of technical subjects such as vehicle construction and vehicle diagnostics with a focus on hybrid or full electric vehicles. The article discusses the individual components of the research stand and presents examples of their use in research and teaching. Particular attention was paid to the components responsible for energy storage on-board the vehicle and the charging process of the lithium-ion battery.

Keywords: electric vehicles, charging lithium-ion batteries, fast DC charger, type 2 charging socket.

Autorzy:

dr inż. **Arkadiusz Małek** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, ul. Projektowa 4, 20-209 Lublin, Wydział Transportu i Informatyki, e-mail: arkadiusz.malek@wsei.lublin.pl

dr inż. **Tomasz Łusiak** – Lotnicza Akademia Wojskowa, ul. Dywizjonu 303/35, 08-521 Dęblin, t.lusiak@wsosp.pl