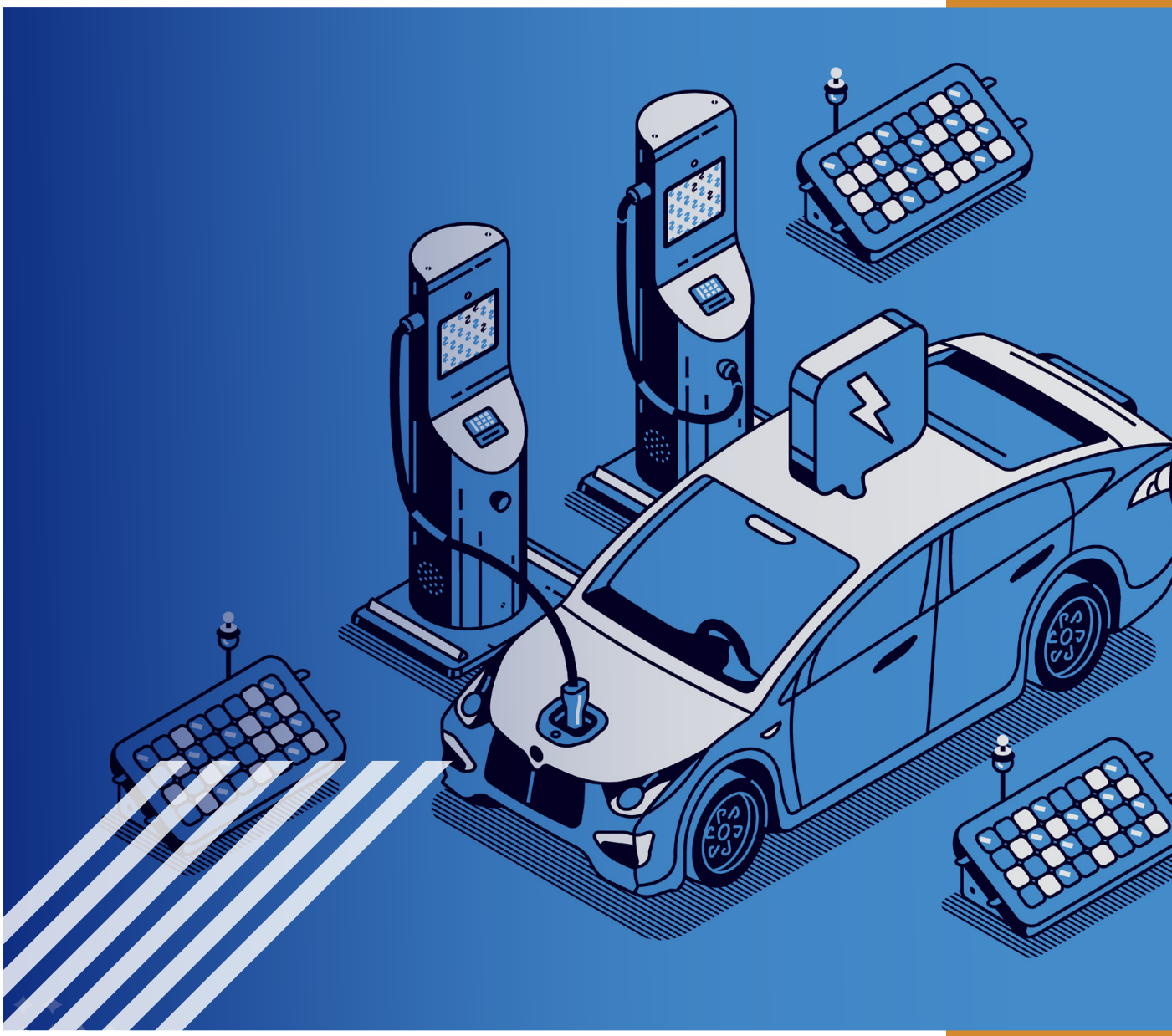
NAPĘDY POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH I HYBRYDOWYCH

PODRĘCZNIK. STUDIA PRZYPADKÓW



ARKADIUSZ MAŁEK

2
TOM

Tom 2 Kompetencje, Wiedza, Innowacje – Zintegrowany Program Rozwoju WSEI w Lublinie – Etap II

NAPĘDY POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH I HYBRYDOWYCH

Część pierwsza
Podręcznik

Arkadiusz Małek

Lublin 2021

WYŻSZA SZKOŁA EKONOMII I INNOWACJI W LUBLINIE

Seria wydawnicza:
Kompetencje, Wiedza, Innowacje – Zintegrowany Program Rozwoju WSEI w Lublinie – Etap II
Tom 2

NAPĘDY POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH I HYBRYDOWYCH
Cz. I – Podręcznik Cz. II - Studia przypadków

Autor:
Arkadiusz Małek
ORCID: 0000-0001-7772-2755

Recenzenci:
dr hab. inż. Józef Stokłosa
dr inż. Adam Szafraniec

Skład, łamanie:
Marta Krysińska-Kudlak

Projekt okładki:
Patrycja Kaczmarek

Grafika na okładce:
upklyak/Freepik.com

Korekta:
Teresa Markowska

@Copyright by
Innovatio Press, Lublin 2021

Wszelkie prawa zastrzeżone. W sprawie kopiowania lub rozpowszechniania fragmentów albo całości niniejszej pracy należy kontaktować się z wydawcą.

Publikacja oraz recenzje zrealizowano w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.

Proces wydawniczy (korekta, skład) sfinansowano z dotacji na zadania związane z zapewnieniem osobom niepełnosprawnym warunków do pełnego udziału w procesie kształcenia.

Printed in Poland
Innovatio Press Wydawnictwo Naukowe
Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji
20-209 Lublin, ul. Projektowa 4
tel.: +48 81 749 17 77, fax: + 48 81 749 32 13
www.wsei.lublin.pl

ISBN - wersja elektroniczna: 978-83-66159-56-3

Spis treści

1. Wprowadzenie 7
   1.1. Wstęp 7
   1.2. Napędy elektryczne pojazdów 7
      1.2.1. Ekologia 8
      1.2.2. Bezpieczeństwo 8
      1.2.3. Funkcjonalność 8
      1.2.4. Atrakcyjny design 8
      1.2.5. Aerodynamiczna konstrukcja 9
      1.2.6. Inne cechy użytkowe 9
   1.3. Napędy hybrydowe pojazdów 9

2. Silniki trakcyjne dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych 11
   2.1. Wstęp 11
      2.1.1. Silniki asynchroniczne prądu przemiennego (indukcyjne) 14
      2.1.2. Silnik synchroniczny z magnesem trwałym (PMSM) 16
      2.1.3. Silniki elektryczne w wybranych modelach pojazdów 17
      2.1.4. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów lekkich 20
      2.1.5. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów cięższych 26
   2.2. Pytania testowe 32
   2.3. Ćwiczenia wraz z instrukcją 37
      2.3.1. Ćwiczenie 1 37
      2.3.2. Ćwiczenie 2 37
      2.3.3. Ćwiczenie 3 37
      2.3.4. Ćwiczenie 4 37
      2.3.5. Ćwiczenie 5 38

3. Baterie trakcyjne dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych 39
   3.1. Wstęp 39
   3.2. Ogólna budowa baterii trakcyjnych 39
   3.3. Umieszczenie pakietów baterii w pojazdach 43
      3.3.1. Renault twizy 43
   3.4. Projektowanie systemu magazynowania energii dla potrzeb pojazdów lekkich i ciężkich 53
   3.5. Pytania testowe 56
   3.6. Ćwiczenia wraz z instrukcją 60
      3.6.1. Ćwiczenie 1 60
      3.6.2. Ćwiczenie 2 60
      3.6.3. Ćwiczenie 3 60
      3.6.4. Ćwiczenie 4 60
      3.6.5. Ćwiczenie 5 61

4. Silniki spalinowe dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych 62
4.1. Teoria 62
4.2. Rozwój silników spalinowych w toyocie prius 63
4.2.1. Silnik spalinowy toyoty prius – I generacji 63
4.2.2. Silnik spalinowy toyoty prius – II generacji 64
4.2.3. Silnik spalinowy toyoty prius – III generacji 64
4.2.4. Silnik spalinowy toyoty prius – IV generacji 65
4.3. Badania drogowe pojazdu hybrydowego 66
4.3.1. Badany obiekt – toyota auris hybrid 66
4.3.2. Urządzenia pomiarowe 67
4.3.3. Badania pojazdu hybrydowego w warunkach jazdy pozamiejskiej 68
4.3.4. Test baterii trakcyjnych 79
4.4. Pytania testowe 81
4.5. Ćwiczenia wraz z instrukcją 86
4.5.1. Ćwiczenie 1 86
4.5.2. Ćwiczenie 2 86
4.5.3. Ćwiczenie 3 86
4.5.4. Ćwiczenie 4 86
4.5.5. Ćwiczenie 5 87

5. Systemy ładowania baterii trakcyjnych w pojazdach elektrycznych i hybrydowych 88
5.1. Typy wtyczek 88
5.1.1. AC 230 V 88
5.1.2. AC 230 V typ 1 89
5.1.3. AC 400 V typ 2 90
5.1.4. DC 400 V typ 2 (supercharger Tesla) 90
5.1.5. DC 230 V CCS Combo 1 91
5.1.6. DC 400 V CCS Combo 2 92
5.1.7. DC 400 V Chademo 93
5.1.8. DC 700 V CCS Combo 2 93
5.2. Rodzaje ładowarek zewnętrznych 94
5.2.1. Przewody ładujące 94
5.2.2. Ładowarki naścienne 95
5.2.3. Słupki ładowania 95
5.2.4. Ładowarki mobilne 96
5.2.5. Ładowarki stacjonarne 97
5.2.6. Pantografy 99
5.3. Pytania testowe 100
5.4. Ćwiczenia wraz z instrukcją 102
5.4.1. Ćwiczenie 1 102
5.4.2. Ćwiczenie 2 102
5.4.3. Ćwiczenie 3 102
5.4.4. Ćwiczenie 4 102
5.4.5. Ćwiczenie 5 103

6. Ładowanie baterii pojazdów elektrycznych i hybrydowych 104
6.1. Wstęp 104
6.2. Stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych 105
6.2.1. Systemy magazynowania energii 106
6.2.2. Systemy ładowania baterii trakcyjnych pojazdów 108
6.2.3. Obciążenia elektryczne 111
6.3. Badania baterii trakcyjnej w technologii litowo-jonowej 112
6.4. Pozyskiwanie energii do ładowania pojazdów elektrycznych 115
6.5. Badania procesu ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego 116
6.5.1. Charakterystyka pojazdu elektrycznego 116
6.5.2. Charakterystyka minicarportu fotowoltaicznego 117
6.5.3. Analiza procesu ładowania 119
6.6. Demonstracyjne stacje ładowania pojazdów elektrycznych 122
6.6.1. Carport fotowoltaiczny w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym 122
6.6.2. Farma fotowoltaiczna w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym 122
6.7. Pytania testowe 127
6.8. Ćwiczenia wraz z instrukcją 129
6.8.1. Ćwiczenie 1 129
6.8.2. Ćwiczenie 2 129
6.8.3. Ćwiczenie 3 129
6.8.4. Ćwiczenie 4 129
6.8.5. Ćwiczenie 5 130

7. Napędy wodorowe pojazdów 131
7.1. Wodorowe ogniwa paliwowe 131
7.1.1. Dlaczego ogniwa paliwowe typu PEM? 133
7.1.2. Cechy ogniw paliwowych typu PEM 134
7.1.3. Trwałość i niezawodność komponentów systemów generowania mocy opartych na ogniwach PEM 135
7.1.4. Systemy ogniw paliwowych w motoryzacji 135
7.1.5. Program badań pojazdów zasilanych ogniwami paliwowymi 136
7.1.6. Strategie sterowania samochodowym ogniwem paliwowym 137
7.2. Wodór jako paliwo 139
7.2.1. Własności wodoru 139
7.2.2. Magazynowanie wodoru 140
7.2.3. Przemysłowe gromadzenie i transport wodoru 141
7.2.4. Gromadzenie wodoru w pojazdach 142
7.3. Napęd wodorowy w toyocie mirai 144
7.3.1. Moduł ogniw paliwowych 146
7.3.2. Zbiorniki wodoru 148
7.3.3. Układ sterowania 149
7.3.4. Tankowanie wodorem 150
7.4. Budowa miejskiego autobusu elektryczno-wodorowego 153
7.4.1. Wybór silnika elektrycznego i osi napędowej 153
7.4.2. Wybór baterii trakcyjnej 154
7.4.3. Wybór ogniwa paliwowego 155
7.4.4. Wybór sposobu gromadzenia wodoru 155

7.4.5. Przegląd rozwiązań w dotychczasowych projektach....156
7.4.6. Ursus demo hydrogen bus....156
7.4.7. Monitoring autobusu na platformie internetowej....158
7.5. Podsumowanie....159
7.6. Pytania testowe....161
7.7. Ćwiczenia wraz z instrukcją....164
7.7.1. Opis stanowiska badawczego do badania ogniw paliwowych i elektrolizerów wodoru....164
7.7.2. Ćwiczenie 1....169
7.7.3. Ćwiczenie 2....170
7.7.4. Ćwiczenie 3....171
7.7.5. Ćwiczenie 4....172
7.7.6. Ćwiczenie 5....173

Podsumowanie i wnioski....174
Bibliografia....177
Spis rysunków....184
Spis tabel....188
Odpowiedzi do pytań testowych....189

1. Wprowadzenie

1.1. Wstęp

XXI wiek w motoryzacji charakteryzuje się ciągłym rozwojem napędów pojazdów, aby były one coraz bardziej ekologiczne i ekonomiczne. Zarówno silniki benzynowe, jak i wysokoprężne osiągnęły przy obecnym rozwoju technologicznym kres swoich możliwości. Rozpoczęto wtedy szereg działań politycznych i gospodarczych, dążących do wyeliminowania napędów opartych na silnikach spalinowych z pojazdów osobowych. Wsparcie rozwoju napędów ekologicznych przyspieszyło ich wdrażanie na rynku globalnym. Od 1998 roku Toyota rozpoczęła rozwój napędów hybrydowych, które stały się ogniwem przejściowym pomiędzy pojazdami z silnikami spalinowymi, a pojazdami całkowicie elektrycznymi. Następnie szybki rozwój technologii magazynowania dużych ilości energii elektrycznej w bateriach trakcyjnych przyspieszył wprowadzenie na rynek pojazdów elektrycznych. Można uznać, że rok 2012 stał się przełomowym, podczas którego kilka poważnych koncernów motoryzacyjnych wprowadziło do sprzedaży pierwsze swoje modele elektryczne. Dużą rolę w popularyzacji elektromobilności odegrały firmy Tesla oraz Nissan i Renault.

Kolejne lata rozwoju napędów elektrycznych i hybrydowych związane są ze zwiększeniem zasięgu pojazdu poprzez zwiększenie pakietów bateryjnych. Prace optymalizacyjne dotyczyły również zmniejszenia ceny pakietów oraz zwiększenia szybkości ich ładowania. Jednocześnie nastąpił bardzo szybki rozwój infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Poniżej zostaną przedstawione przykłady elektrycznych i hybrydowych napędów pojazdów. Dzięki przestudiowaniu ich budowy oraz działania studenci będą mogli lepiej zrozumieć ich działanie i w sposób bardziej świadomy stać się ich użytkownikami, projektantami, diagnostami i serwisantami.

1.2. Napędy elektryczne pojazdów

Dzięki zastosowaniu najnowszego podejścia do projektowania i rozwoju pojazdów samochodowych nowo projektowane pojazdy elektryczne wyróżniają się szeregiem cech, które stanowią o ich atrakcyjności rynkowej oraz dla samego użytkownika. Jedynie zaprojektowanie całkowicie nowej konstrukcji pozwoli wykorzystać wszystkie zalety napędu elektrycznego w stosunku do pojazdów napędzanych tradycyjnymi silnikami spalinowymi. Pojazd taki może charakteryzować się innowacyjnymi cechami, takimi jak:

1) ekologia,
2) bezpieczeństwo,
3) funkcjonalność,
4) atrakcyjny design,
5) aerodynamiczna konstrukcja,
6) inne innowacyjne cechy.

1.2.1. Ekologia

Nowoczesny pojazd powinien być ekologiczny [19][20]. Ze względu na zastosowanie napędu elektrycznego pojazd będzie całkowicie ekologiczny w miejscu użytkowania. Chodzi zarówno o przestrzeń otwartą w centrach miast, jak i przestrzeń zamkniętą, stanowiącą magazyny oraz hale produkcyjne. Dzięki temu poszerzone zostanie grono potencjalnych nabywców ze względu na regulacje związane z możliwością wjazdu zarówno do centrów europejskich metropolii, jak i użycia wewnątrz przestrzeni produkcyjnych i magazynowych (włączając magazyny żywności). Całkowita **zeroemisyjność** pojazdu może wystąpić w przypadku ładowania baterii pojazdu elektrycznego z odnawialnych źródeł energii (OZE).

1.2.2. Bezpieczeństwo

Innowacyjny pojazd elektryczny powinien być także **bezpieczny** [26]. Stosując zaawansowane oprogramowanie do projektowania przestrzennego oraz symulacji wytrzymałości poszczególnych komponentów pojazdu, jak i jego całości, możliwe jest uzyskanie bezpiecznej konstrukcji pojazdu zarówno dla kierowcy i pasażerów, a także pieszych. Dodatkowo pojazd zostanie wyposażony w najnowsze systemy bezpieczeństwa czynnego i biernego. Wieloaspektowe bezpieczeństwo pojazdu podlega wymogom homologacyjnym i jest bardzo często jednym z kryteriów wyboru pojazdu. Stosując nowoczesne materiały można osiągnąć konstrukcję zarówno odpowiednio wytrzymałą, jak i lekką. Masa pojazdu zostanie zmniejszona w celu osiągnięcia większego niż konkurencja zasięgu oraz większej ładowności pojazdu. Badania takie będą charakteryzowały się iteracyjnością, obejmującą projektowanie, wykonywanie badan symulacyjnych oraz testowanie rzeczywistych modeli lub prototypów. Stosując naukowe podejście do planowania eksperymentu badawczego oraz prac rozwojowych możliwe będzie uzyskanie optymalnego wyniku w najmniejszej liczbie iteracji i przy najniższych kosztach.

1.2.3. Funkcjonalność

Użytkownicy pojazdów dostawczych wymagają także, aby były one **funkcjonalne**. Funkcjonalność może być osiągnięta na poziomie łatwości użytkowania. Badania ergonomiczne pozwalają na optymalne ułożenie wszystkich elementów w kabinie oraz dobranie ustawień regulacyjnych do indywidualnych cech osób korzystających z pojazdu. Kolejnym obszarem funkcjonalności jest elastyczność zabudowy nadwozi. Modułowa budowa kabiny zapewnia łatwość przystosowania pojazdu na etapie produkcji do przewozu zmiennej liczby osób i towaru w skrzyni ładunkowej. Nowe rozwiązania konstrukcyjne zapewnią możliwość zabudowy różnych rodzajów skrzyń ładunkowych i typów nadwozi włączając zabudowy najbardziej popularne, jak i spec-jalne. Funkcjonalność pojazdu elektrycznego to również łatwość ładowania baterii, gromadzących energię elektryczną. Pojazd elektryczny może być oferowany z dwoma rodzajami baterii, które w chwili obecnej charakteryzują się odmiennymi parametrami użytkowania oraz ceną. System ładowania będzie dostosowany do aktualnych europejskich i światowych standardów ładowania oraz typów wtyczek. Dostępne będzie szybkie ładowanie baterii, zapewniające 90% naładowania baterii w ciągu 15 minut.

1.2.4. Atrakcyjny design

Atrakcyjny **design** bardzo często decyduje o sukcesie rynkowym danego modelu. Zainteresuje klientów, którzy zwracają uwagę na estetykę kabiny, jak i całego pojazdu. Pojazdy elektryczne są elementem pozwalającym budować ekologiczny wizerunek firmy, jak i jego

użytkownika. Design pojazdu musi jednoznacznie dawać podpowiedź, że mamy do czynienia z ekologicznym pojazdem elektrycznym.

1.2.5. Aerodynamiczna konstrukcja

Cecha ta może być osiągnięta poprzez zastosowanie przestrzennego modelowania bryłowego oraz innych technologii szybkiego prototypowania (rapid-prototyping). Jest to najnowsze podejście w konstruowaniu pojazdów, pozwalające na skrócenie czasu projektowania i badań pojazdu. Wykorzystanie modeli pochodzących z wydruku 3D, testowanych w tunelu aerodynamicznym, pozwoli na sprawdzenie proponowanego designu pod kątem **aerodynamiki**. Optymalizacji podlega zazwyczaj współczynnik oporu powietrza, który bezpośrednio wpływa na zasięg pojazdu. Zwłaszcza w przypadku pojazdu elektrycznego ma to ogromny wpływ na jego autonomię.

Projekty pojazdów elektrycznych przygotowywane są według całkowicie innej filozofii projektowania, odmiennej od znanej i stosowanej w przypadku pojazdów z silnikami spalinowymi. Projekt nie będzie próbą przystosowania pojazdu z silnikiem spalinowym do napędu elektrycznego. Zarówno podwozie, nadwozie, kabina, jak i wszystkie urządzenia pokładowe zostaną zaprojektowane od podstaw pod zasilanie elektryczne. Umożliwi to otrzymanie bardzo innowacyjnej konstrukcji, która w pełni wykorzysta przewagi napędu elektrycznego w stosunku do napędów tradycyjnych. Mowa tu o nisko położonym środku ciężkości, zdolności do dużych przyspieszeń i elastyczności momentu obrotowego, braku tradycyjnej skrzyni biegów itp.

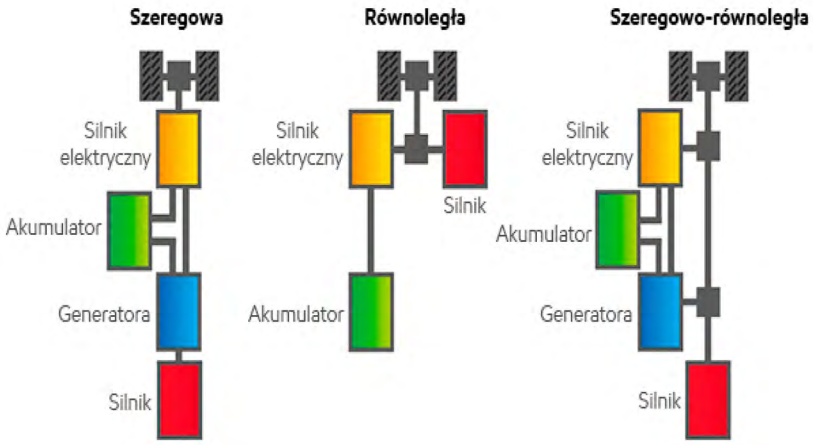
1.2.6. Inne cechy użytkowe

Pojazdy elektryczne nie emitują także hałasu. Zwiększenie zasięgu pojazdu do 150 km oraz wyposażenie w możliwość szybkiego ładowania pozwoli nie tylko na poruszanie się w obrębie miasta, ale także przejazdy na większe odległości. Pozwala to na zastosowanie pojazdu do przewozu przesyłek kurierskich oraz swobodne wykorzystanie w innych branżach – np.: w budowlanej. Do tej pory zasięg pojazdów elektrycznych stanowił istotną barierę. Napęd elektryczny jest rozwiązaniem pozwalającym na kilkakrotnie niższe koszty przejazdu niż pojazdami z silnikami spalinowymi, zasilanymi benzyną, olejem napędowym czy LPG. Różnica ta pozwala nie tylko na amortyzację wyższej ceny zakupu pojazdu elektrycznego, ale również na budowanie przewagi konkurencyjnej, związanej ze zmniejszeniem ceny przewozu towarów i osób w przeliczeniu na 1 km. Pojazdy elektryczne są również tańsze w eksploatacji. Brak silnika spalinowego oraz skrzyni biegów pozwala na wydłużenie przebiegu pojazdów pomiędzy przeglądami serwisowymi oraz ewidentne zmniejszenie związanych z nimi kosztów.

1.3. Napędy hybrydowe pojazdów

Patrząc na kryterium konstrukcyjne, napędy hybrydowe można podzielić na trzy grupy – szeregowy, równoległy i tak zwany szeregowo-równoległy [30]. Ich schematy przedstawiono na rysunku 1.1. W układzie szeregowym (S-HEV, *Serial Hybrid Electric Vehicle*) generator prądu, który jest napędzany silnikiem spalinowym, zasilanym paliwem, produkuje energię elektryczną. W układzie tym silnik spalinowy nie ma połączenia z osiami napędowymi samochodu. Napęd na koła przenoszony jest tylko i wyłącznie za pośrednictwem silnika elektrycznego. W układzie szeregowo-równoległym (SP-HEV, *Serial – Parallel Hybrid Electric Vehicle*) używa się sprzęgła łączącego silnik elektryczny z generatorem prądu. W tym przy-

padku napęd na koła może być przenoszony przez silnik elektryczny albo spalinowy. Natomiast równoległy układ hybrydowy (P-HEV, *Parallel Hybrid Electric Vehicle*) zbudowany jest z jednej maszyny elektrycznej, która w sposób mechaniczny połączona jest z wałem korbowym silnika. Dlatego też jednocześnie może pełnić funkcję zarówno generatora, jak i silnika elektrycznego. Tego rodzaju rozwiązanie pozwala na swobodne dodawanie momentu obrotowego od silnika elektrycznego lub spalinowego, przy jednoczesnym zachowaniu stałej prędkości obrotowej obu silników [3].



Rys. 1.1. Rodzaje hybrydowych układów napędowych [81].

Natomiast mając na uwadze udział napędów elektrycznych w samochodzie, można podzielić napędy hybrydowe na:

- **micro hybrid;** w pojazdach tego typu zastosowano tylko i wyłącznie układy start–stop, czyli zatrzymania oraz uruchamiania silnika spalinowego w danych warunkach ruchu,
- **mild hybrid** (łagodny napęd hybrydowy); napęd ten zawiera układ maszyny o charakterze elektrycznym, do którego należy wspomaganie pracy silnika benzynowego, a także odzyskiwanie energii w trakcie hamowania samochodem; ponadto napęd ten posiada także system start–stop,
- **full hybrid** (pełny napęd hybrydowy); jest to układ hybrydowy, w którym współpracują ze sobą silnik elektryczny oraz spalinowy; jednocześnie możliwy jest napęd jednym z wybranych silników [3].

Samochody hybrydowe pociągają za sobą konieczność używania wielu innowacji w aktualnie stosowanych technologiach, które mają zastosowanie w przemyśle samochodowym. Mowa tu na przykład o lżejszych, ale bezpieczniejszych nadwoziach, sprawniejszych silnikach spalinowych o niskiej emisji szkodliwych spalin, sprawniejszych silnikach oraz generatorach elektrycznych, a co najważniejsze, o bardziej wydajnych oraz odpornych na wstrząsy akumulatorach, jak również innych źródłach energii elektrycznej, jak wodorowe ogniwa paliwowe.

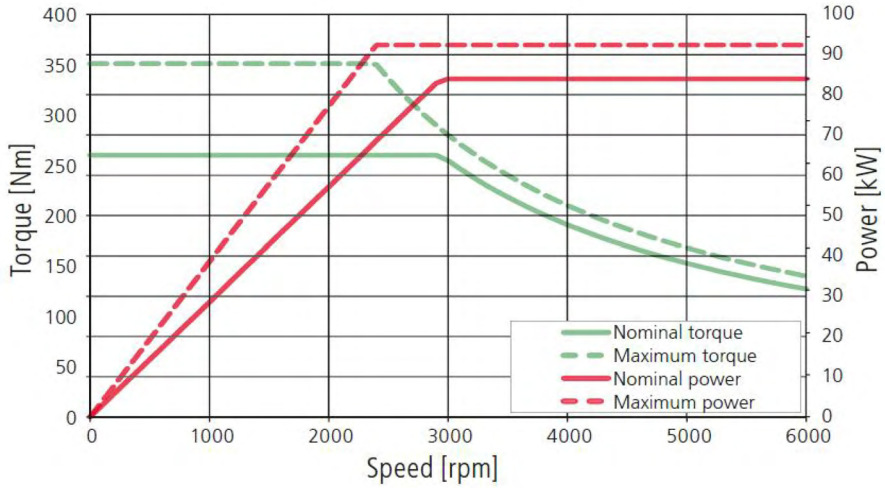
2. Silniki trakcyjne dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych

2.1. Wstęp

Zadaniem elektrycznego układu napędowego jest efektywne przekazywanie napędu na koła jezdne w każdych warunkach pracy pojazdu. W XXI wieku dostępnych jest wiele komponentów do zbudowania elektrycznego układu napędowego. Najważniejszą jego składową będzie silnik elektryczny, którego parametry będą decydować o przydatności do napędu pojazdów. Zgodnie ze światowymi i europejskimi trendami, zarówno w produkcji samochodów osobowych, dostawczych, jak i autobusów, powinien być to silnik synchroniczny z magnesami trwałymi (PMSM z ang. *Permanent-Magnet Synchronous Motor*). Silniki synchroniczne wzbudzane magnesami trwałymi posiadają wiele zalet w stosunku do silników asynchronicznych (indukcyjnych) [38]. Należą do nich między innymi duża sprawność oraz duży moment obrotowy dostępny od niskich prędkości obrotowych [9]. Konstrukcje te z pewnością można nazwać energooszczędnymi i niezawodnymi. Silniki elektryczne pojazdów dostawczych powinny być przystosowane do zmiennego obciążenia tych napędów, tzn. mieć niezmienną sprawność w dużym zakresie zmian obciążenia, pozwalającą na racjonalizację zużycia energii.

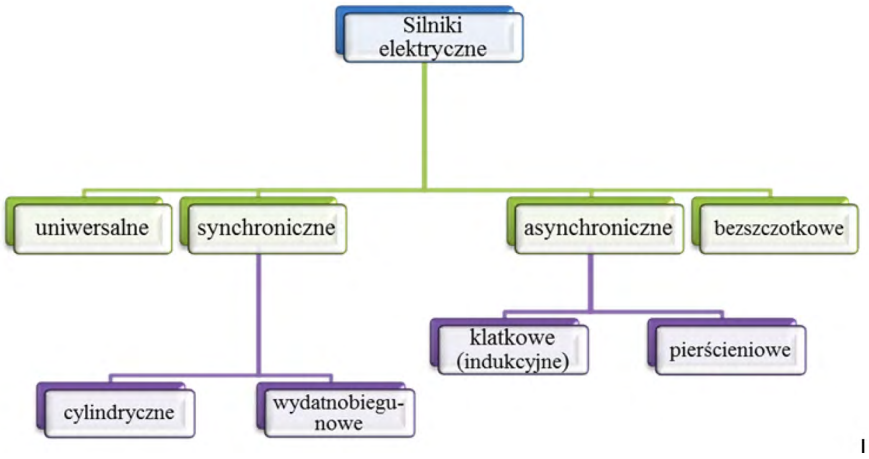
Niewątpliwie sercem samochodu elektrycznego jest jego silnik elektryczny. Porównując dzisiejsze silniki z silnikami z początku ery samochodów elektrycznych można powiedzieć, że jedynie nazwy komponentów zostały bez zmian, a resztę dzieli ogromna przepaść technologiczna. Dzisiejsze silniki mają lepsze parametry, pozwalają na szybszą jazdę oraz zajmują mniej miejsca. Wyróżniamy dwa typy silników: prądu stałego oraz prądu zmiennego. W starszych modelach stosowano silniki prądu stałego, są one montowane zarówno na przedniej jak i tylnej osi, w lekkich konstrukcjach również w piastach kół.

Przykładowa charakterystyka silnika elektrycznego typu PMSM została przedstawiona na rysunku 2.1. Zazwyczaj są to silniki o bardzo kompaktowej budowie w celu zajmowania jak najmniejszej ilości miejsca. W tego typu silnikach na osiągi nominalne, jak i szczytowe ogromnie wpływa efektywność chłodzenia silnika.



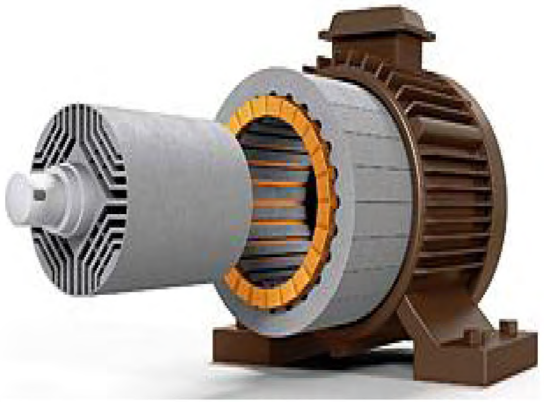
Rys. 2.1. Charakterystyka silnika typu PMSM [37].

Podział trakcyjnych silników elektrycznych, stosowanych do napędu pojazdów, przedstawiono na rysunku 2.2.



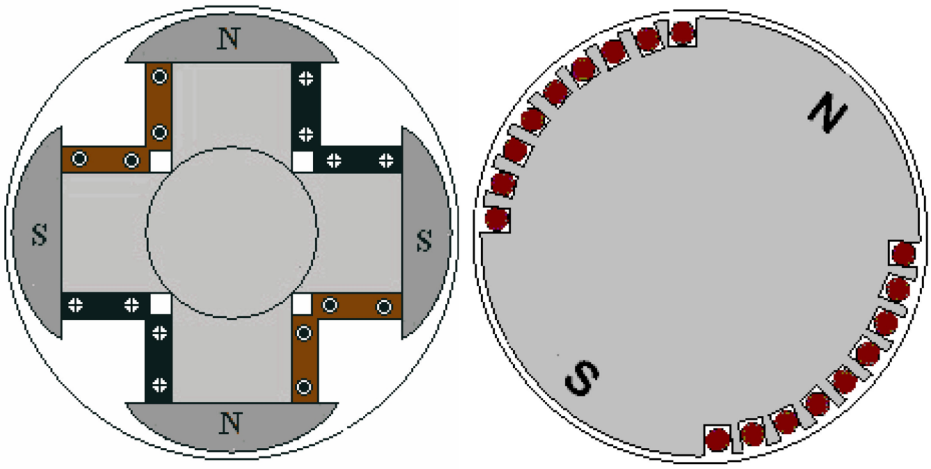
Rys. 2.2. Częściowy podział silników elektrycznych prądu przemiennego.

W nowoczesnych samochodach elektrycznych mamy do czynienia z silnikami synchronicznymi oraz asynchronicznymi (indukcyjnymi) prądu przemiennego. W silniku synchronicznym prędkość wirowania wirnika zsynchronizowana jest z prędkością wirowania pola magnetycznego. Silnik składa się z nieruchomego stojana oraz ruchomego wirnika (patrz rysunek 2.3). W stojanie nawinięte jest trójfazowe uzwojenie, dzięki któremu po przyłożeniu trójfazowego napięcia wytwarza kołowe pole wirujące. Podobna budowa stojana zastosowana jest również w silnikach asynchronicznych (indukcyjnych). Różnica między tymi silnikami tkwi w budowie wirników.



Rys. 2.3. Silnik elektryczny – model 3D [3].

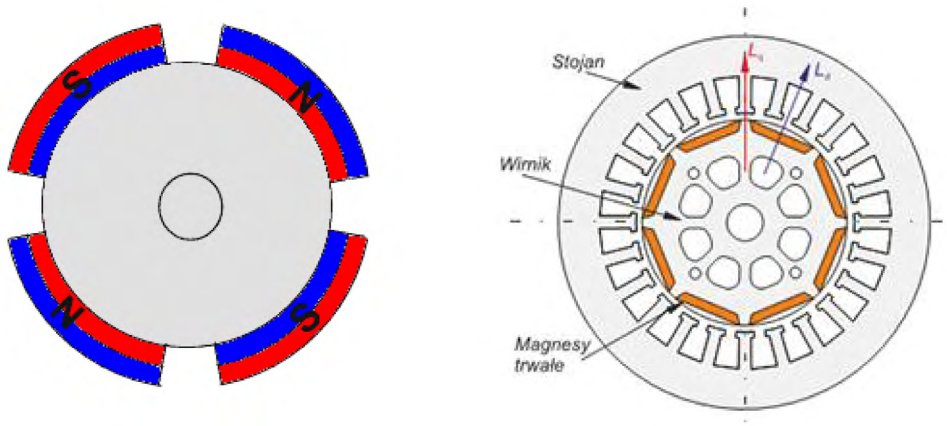
W silnikach budowanych technologią konwencjonalną na rdzeń wirnika nawinięte jest uzwojenie, które za pośrednictwem pierścieni ślizgowych połączone są ze szczotkami, do których przykładane jest źródło prądu stałego lub przemiennego. Rozróżniamy wirniki cylindryczne z biegunami jawnymi lub utajnionymi (rysunek 2.4). Na rdzeniu każdego bieguna nawinięte są odrębne uzwojenia. Dzięki odpowiedniemu kształtowi nabiegunników rozkład indukcji na obwodzie wirnika jest odpowiedni.



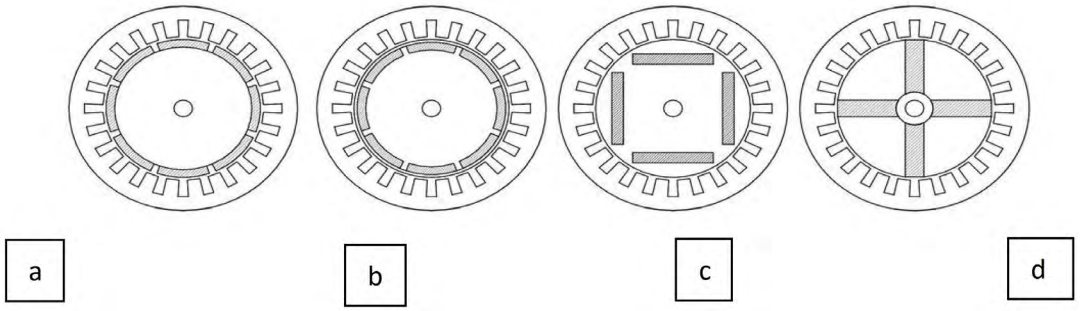
Wirnik z biegunami jawnymi Wirnik z biegunami utajnionymi

Rys. 2.4. Model wirnika silnika elektrycznego [9].

W silnikach ze wzbudzeniem magnetoelektrycznym rolę uzwojenia wirnika zastąpiły magnesy trwałe (rysunek 2.5). Rozróżniamy cztery sposoby mocowania magnesów w silniku (rysunek 2.6). Po przyłożeniu napięcia w uzwojeniu stojana wytwarza się wirujące pole magnetyczne, zjawisko to nie pozostaje obojętne na namagnesowany wirnik, który synchronicznie zacznie wirować z tym polem magnetycznym. W momencie gdy do wirnika zostanie przyłożony moment hamujący (obciążenie), spowoduje to nieznaczne spóźnienie wirnika. Siły, które działają między biegunami, wytworzą moment mechaniczny, który przeciwstawi się momentowi hamującemu. Nawet zmiana obciążenia wirnika nie spowoduje zmiany jego prędkości obrotowej, która jest synchroniczna do pola magnetycznego.



Rys. 2.5. Wirnik z magnesami trwałymi [9].



Rys. 2.6. Struktury mocowania magnesów: a) mocowane (klejone) na powierzchni wirnika, b) umieszczone tuż pod powierzchnią wirnika, c) zagłębione w wirniku, d) ułożone promieniowo [9].

2.1.1. Silniki asynchroniczne prądu przemiennego (indukcyjne)

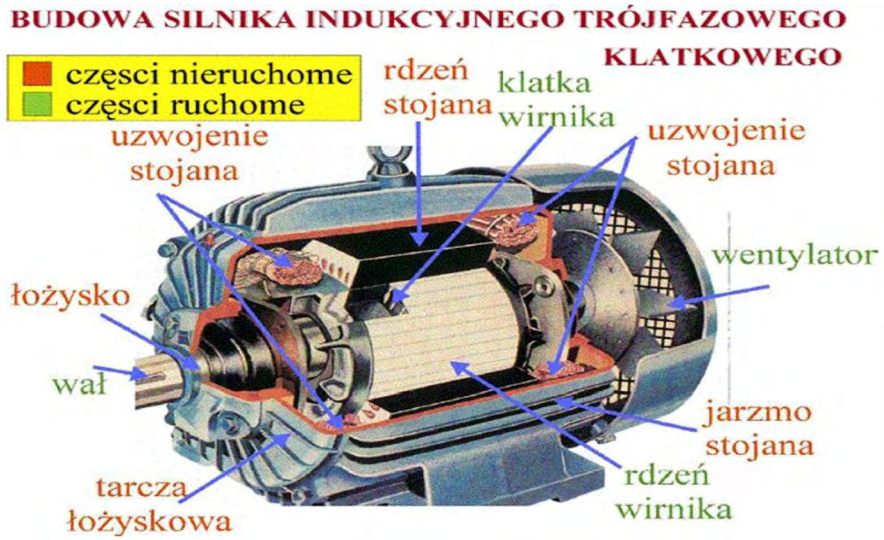
Aby dokładnie poznać najnowocześniejsze technologie stosowane w budowie i sterowaniu silnikami z magnesami trwałymi, warto odwiedzić strony producentów i dystrybutorów takich silników [104].

Jednym z najpopularniejszych typów silników elektrycznych do różnych zastosowań są silniki indukcyjne. Silniki te są nazywane także silnikami asynchronicznymi, ponieważ wirnik obraca się zawsze z prędkością niższą niż wirujące pole elektromagnetyczne, tworząc asynchroniczny silnik AC. Pracują z prędkością mniejszą niż prędkość synchroniczna. Silniki indukcyjne AC dzielą się na jednofazowe i wielofazowe. Jednofazowe układy zasilania są używane znacznie częściej niż trójfazowe w gospodarstwach domowych, handlu i niektórych zastosowaniach przemysłowych [104].

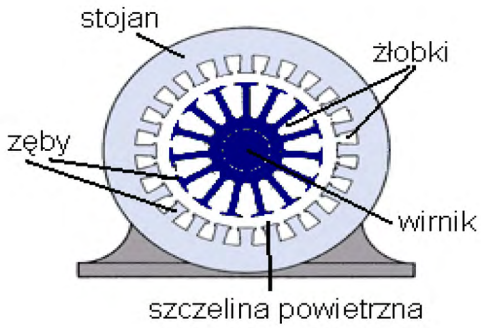
Stojan silnika składa się z nachodzących na siebie uzwojeń. W przypadku podłączenia uzwojenia pierwotnego lub stojana do źródła zasilania AC tworzy ono obracające się pole magnetyczne, które obraca się z prędkością synchroniczną. Teoretyczna prędkość wirnika w silniku indukcyjnym jest zależna od częstotliwości źródła zasilania AC oraz liczby cewek, które tworzą stojan. W przypadku braku obciążenia silnika jest to prędkość zbliżona do prędkości obracającego się pola magnetycznego. Silnik obraca się ze stałą prędkością, chyba że jest konstrukcją o zmiennej częstotliwości [104].

Największą zaletą silników indukcyjnych AC jest ich prostota. Zawierają tylko jedną ruchomą część – wirnik – dzięki czemu są tanie, ciche, trwałe i względnie bezawaryjne. Silniki indukcyjne mogą być stosunkowo ciężkie i duże ze względu na swoje uzwojenia. Trójfazowe silniki indukcyjne są stosowane powszechnie w napędach przemysłowych, dźwigach, żurawiach, tokarkach itp., ponieważ są trwałe, niezawodne i ekonomiczne. Silników indukcyjnych jednofazowych używa się z reguły w przypadku mniejszych obciążeń, takich jak urządzenia domowe – wentylatory, pompy, roboty kuchenne, zabawki, odkurzacze, wiertarki itp.

Silniki asynchroniczne (indukcyjne), tak jak synchroniczne, składają się z nieruchomego stojana i ruchomego (wirującego) wirnika (rysunek 2.7). Zarówno w stojanie, jak i w wirniku znajdują się specjalnie wyprofilowane żłobki, w których nawinięte jest uzwojenie. Wyprofilowany element między żłobkami ma kształt zęba (rysunek 2.8). Kształt oraz liczba żłobków i zębów w stojanie oraz wirniku mogą być różne.

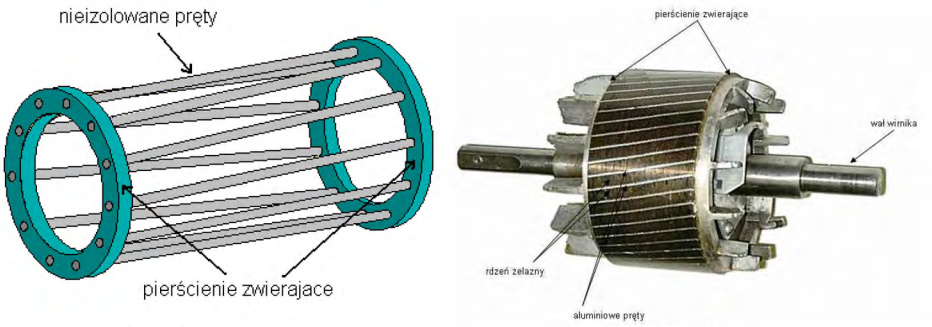


Rys. 2.7. Silnik elektryczny indukcyjny [9].



Rys. 2.8. Model silnika indukcyjnego [9].

Między wirnikiem a stojanem znajduje się niewielka przestrzeń powietrza. Uzwojenie stojana jest wykonane w taki sposób, aby na skutek wibracji nie uległo zniszczeniu, dodatkowo jest izolowane oraz impregnowane specjalnym lakierem izolującym. Do izolacji żłobków powszechnie stosowano papier typu preszpan. Budowa wirnika przypomina klatkę (rysunek 2.9), nieizolowane pręty połączone ze sobą za pomocą pierścieni po obu stronach tworzą zwartą konstrukcję. Wypełnienie stanowi pakiet blach z dodatkiem krzemu ułożonych jedna na drugiej wzajemnie od siebie izolowanych (rysunek 2.9).



Rys. 2.9. Wirnik silnika indukcyjnego.

Po przyłożeniu napięcia do uzwojenia stojana wytworzy się w nim wirujące pole magnetyczne, które, krążąc wokół wirnika, napotyka przeszkodę w postaci prętów klatki. W wyniku przecinania się pola przez pręty indukuje się w nich napięcie oraz zaczyna płynąć prąd. Dzięki tym zjawiskom powstaje siła elektrodynamiczna oraz moment elektrodynamiczny. Jeżeli moment obciążenia jest mniejszy od momentu elektrodynamicznego, wirnik zaczyna się obracać liniowo, zwiększając swą prędkość obrotową. To powoduje, że w prętach spada indukcja oraz przepływ prądu, momenty elektromagnetyczne oraz obciążenia równoważą się, wtedy wirnik zaczyna obracać się ze stałą prędkością obrotową. Podsumowując, w zależności od obciążenia prędkość wirnika będzie różna od prędkości wirowania pola magnetycznego stojana. Zjawisko to nazywane jest poślizgiem, które można zapisać w postaci wzoru (1):

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100\% \qquad (1)$$

n_1 – prędkość wirowania pola magnetycznego stojana,
n – prędkość wirowania wirnika,
s – poślizg.

Dużą wadą silników indukcyjnych jest wysoki prąd rozruchowy. Jest on kilka razy większy od prądu znamionowego. Aby zmniejszyć wielkość prądu rozruchowego, w początkowej fazie rozruchu silnika stosowano niegdyś przełączniki gwiazda trójkąt. W samochodach elektrycznych problem ten rozwiązał falownik (przedstawiony z silnikiem na rysunku 2.11). Jest to urządzenie, które przemienia napięcie stałe, płynące z baterii trakcyjnych, na napięcie przemienne trójfazowe o odpowiedniej częstotliwości. Falownik posiada wiele modułów zabezpieczających prawidłową pracę silnika. Rozwój technologii mikroprocesorowej pozwolił, aby w jednym, stosunkowo niewielkim, urządzeniu można było umieścić szereg układów scalonych oraz cyfrowych, które pozwolą szybciej, sprawniej i dokładniej odczytywać i przetwarzać dane.

2.1.2. Silnik synchroniczny z magnesem trwałym (PMSM)

Silnik synchroniczny z magnesem trwałym (PMSM) to silnik synchroniczny AC, w którym wzbudzanie pola zapewniają magnesy trwałe. Fale elektromagnetyczne mają kształt sinusoidalny. Konstrukcje PMSM to skrzyżowanie silnika indukcyjnego i bezszczotkowego silnika DC. Podobnie jak bezszczotkowe silniki DC są wyposażone w wirnik z magnesem trwałym oraz uzwojenie na stojanie. Jednak struktura stojana z uzwojeniem, zapewniająca sinusoidalną gęstość strumienia w szczelinie powietrznej urządzenia, przypomina silniki indukcyjne. Gę-

stość mocy tych silników jest wyższa niż w przypadku silników indukcyjnych o tej samej mocy znamionowej, ponieważ żadna część mocy stojana nie jest wykorzystywana do wytwarzania pola magnetycznego [104].

Dzięki magnesom trwałym silniki PMSM mogą generować moment obrotowy przy zerowej prędkości. Zazwyczaj do pracy wymagają falownika sterowanego cyfrowo. Silniki synchroniczne z magnesem trwałym są używane zazwyczaj w napędach o wysokiej sprawności i wydajności. Cechy charakterystyczne to płynny ruch obrotowy w całym zakresie prędkości obrotowej silnika, pełna kontrola momentu obrotowego przy zerowej prędkości, a także szybkie przyspieszanie i zwalnianie [104].

W celu zapewnienia odpowiedniego sterowania w silnikach PMSM stosuje się technologie sterowania wektorowego. Technologie sterowania wektorowego są nazywane często sterowaniem zorientowanym polowo (FOC). Podstawowa idea, stojąca za algorytmem sterowania wektorowego, to rozdzielenie prądu stojana na część generującą pole magnetyczne i część generującą moment obrotowy. Po rozdzieleniu oboma składnikami można sterować oddzielnie [104].

2.1.3. Silniki elektryczne w wybranych modelach pojazdów

Silnik elektryczny **renaulta twizy** został przedstawiony na rysunku 2.10. Wytwarza moment obrotowy o wartości 57 Nm od 0 do 2000 obr./min. Moc silnika wynosi 17 KM (12.5 kW). Przy dłuższej jeździe z pedałem wciśniętym w podłogę sprawność silnika spada o około 30%. Maksymalna prędkość wynosi 80 km/h. Przyspieszenie od 0 do 30 km/h wynosi 6,1 sekundy, a od 30 do 60 km/h 8,1 sekundy.

Rys. 2.10. Silnik elektryczny pojazdu renault twizy [26].

Silnik synchroniczny prądu przemiennego, który napędza **nissana leafa** (rys. 2.7), generuje moc 80 kW (109 KM) w przedziale 2730–9800 obr./min oraz moment obrotowy 280 Nm w przedziale od 0–2730 obr. /min. Umieszczony jest z przodu pojazdu. Gdy uniesiemy przednią maskę leafa, na pierwszy rzut oka wygląd silnika niczym nie różni się od tradycyjnych silników spalinowych. Silniki te były obudowywane oraz maskowane różnymi osłonami z tworzyw sztucznych. Jednak po dłuższym namyśle można dostrzec różnice. Nissan posiada tradycyjny akumulator (rysunek 2.11) o napięciu 12V, który zabezpiecza napięcie dla urządzeń pokładowych. W miejscu, gdzie zwykle znajduje się silnik, mieści się duża kwadratowa skrzynka (rysunek 2.11), do której dochodzą grube przewody elektryczne koloru pomarańczowego (rysunek 2.15).

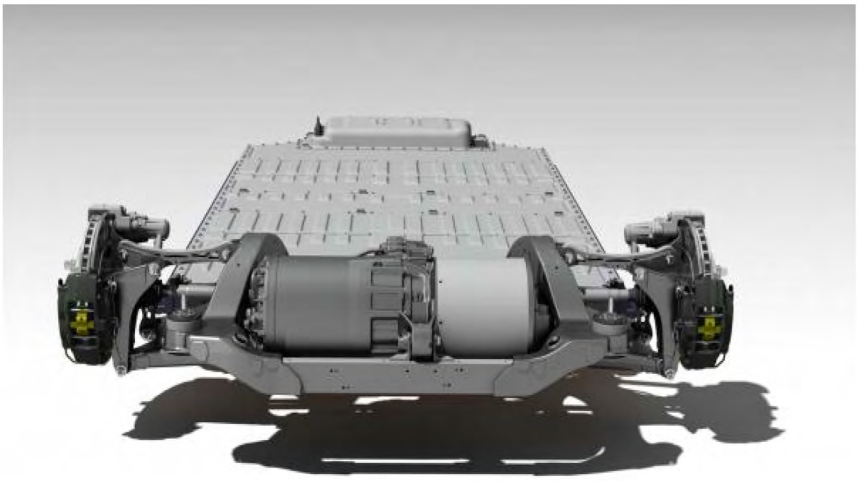
Rys. 2.11. Silnik elektryczny nissana leaf.

Falownik jest nierozłączną częścią przetwornicy, zamontowany bezpośrednio pod nią (rysunek 2.12). W nissanie przetwornica, a inaczej *Power Delivery Module* (PDM), czyli moduł zasilający, jest podłączona do falownika za pomocą szynoprzewodu. Technologia ta pozwala na wyeliminowanie zbędnych dodatkowych wiązek przewodów. Przewody elektryczne, które dochodzą do gniazd ładowania, również mają kolor pomarańczowy (rysunek 2.13), co oznacza wysokie napięcie. Sam silnik umieszczony jest centralnie pod falownikiem (rysunek 2.12). Z silnikiem na stałe połączony jest reduktor (rysunek 2.12), dzięki któremu przenoszony jest napęd na koła samochodu za pośrednictwem osi napędowych (rysunek 2.13).

Rys. 2.12. Silnik elektryczny pojazdu nissan leaf II [74].

Rys. 2.13. Konstrukcja pojazdu nissan leaf w przekroju.

Jednostka napędowa **Tesli model S** w opcji standardowej jest umiejscowiona w tylnej części pojazdu. Tworzy zintegrowany zespół silnik–falownik, a pomiędzy nimi znajduje się reduktor, który napędza półosie napędowe (rysunek 2.14). W odróżnieniu od nissana leafa Tesla użyła trójfazowego silnika asynchronicznego (indukcyjnego), który generuje moc 310 kW (416 KM) przy 5000–8600 obr./min.



Rys. 2.14. Silnik i zawieszenie tylne tesli model S – model 3D.

W 2017 roku model S przeszedł już modernizację i od tamtej pory Tesla w standardzie montuje podwójny napęd. Z tyłu pojazdu znajduje się nowoczesny silnik bezszczotkowy typu BLDC (*BrushLess Direct Current Motor*), a z przodu – znanej już konstrukcji silnik indukcyjny asynchroniczny (rysunek 2.15). Zastosowanie takiego układu znacznie poprawiło parametry trakcyjne tesli w każdych warunkach pogodowych. W momencie normalnej jazdy główny ciężar napędzania bierze na siebie tylny silnik, przedni odgrywa rolę pomocniczą. Gdy tylne koła

nagle zaczynają tracić przyczepność, przedni silnik bierze na siebie rolę głównego napędu, mimo różnicy częstotliwości prądu z obrotami silnika w danym momencie. Taka zasada działania przypomina trochę działanie mechanizmu Torsen, montowanego w pojazdach spalinowych marki Audi.

Rys. 2.15. Silnik i zawieszenie przednie tesli model X – wygląd rzeczywisty.

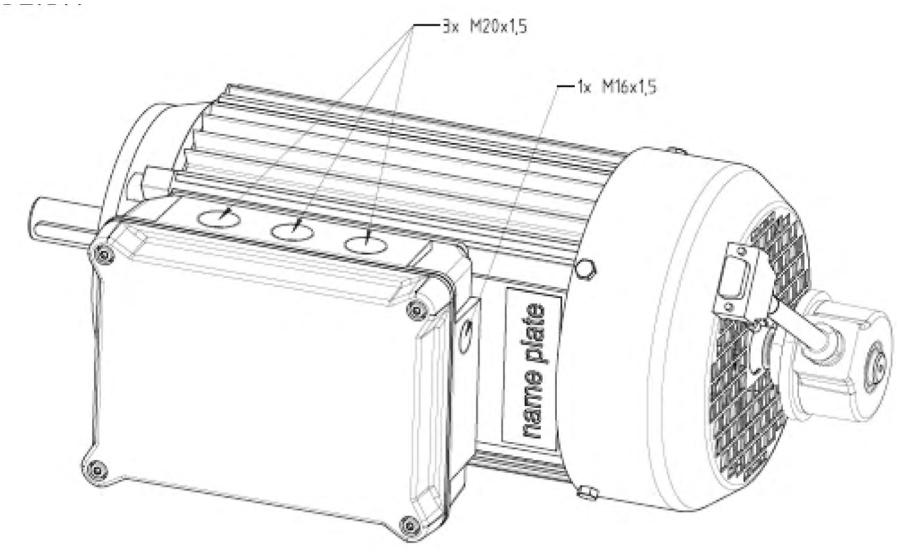
2.1.4. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów lekkich

Rozwój elektrycznego układu napędowego planowany jest z wykorzystaniem podejścia zwanego **Szybkim Prototypowaniem**. Na początku dokonuje się obliczeń trakcyjnych dla przykładowego pojazdu. Następnie spośród ofert rynkowych należy wybrać produkt najbardziej dopasowany pod względem parametrów użytkowych (moc, moment obrotowy, zakres prędkości obrotowych, waga itp.). Niejednokrotnie nie ma idealnych rozwiązań na rynku i producent silnika musi przygotować prototyp silnika dokładnie szytego na miarę naszych potrzeb i oczekiwań. Autor współpracuje w tym zakresie z firmą ABM Greiffenberger Polska sp. z o.o., mieszczącą się w Strefie Ekonomicznej w Lublinie. Oferuje ona ponad 1 800 rodzajów silników elektrycznych o mocy od kilku watów do 35 kW. Firma ABM jest jednym z najbardziej aktywnych członków Klastra Lubelska Wyżyna Motoryzacyjna i Maszynowa. Autor jest członkiem Rady Nadzorczej w fundacji zarządzającej klastrem.

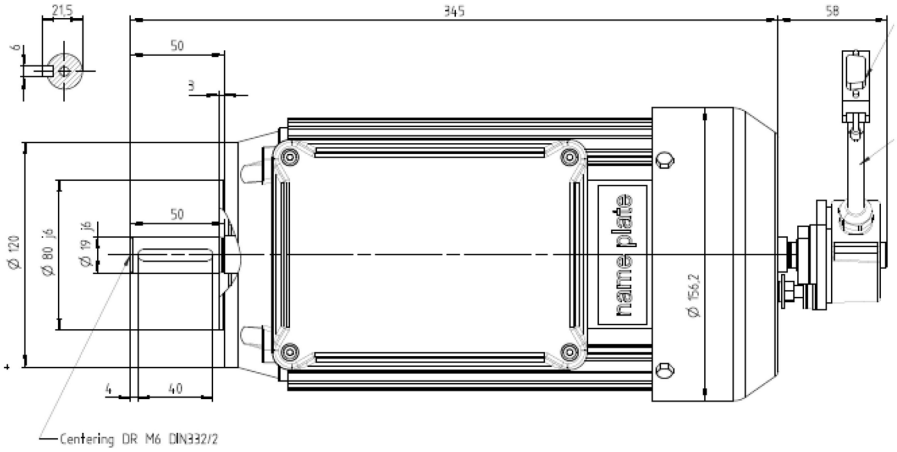
Dzięki bliskim kontaktom autora i inżynierów z ABM możliwy jest szybki rozwój silnika przez producenta silników, jak i rozwój całego układu napędowego do konkretnego zastosowania. ABM jest w stanie zaprojektować i wykonać silnik elektryczny wraz z reduktorem lub multiplikatorem.

Poniżej przedstawiono najnowszej generacji silnik elektryczny z magnesami trwałymi (PMSM) oferowany przez firmę ABM, który może być idealnym rozwiązaniem dla lekkich pojazdów ogrodniczych i sadowniczych. Silnik został zaprojektowany i jego prototyp wykonany na specjalne zamówienie w 2019 roku. Stanowi więc innowację produktową na poziomie międzynarodowym.

Silnik posiada kompaktowe wymiary, co widać na rysunkach 2.16 i 2.17.



Rys. 2.16. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wygląd zewnętrzny.



Rys. 2.17. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wymiary gabarytowe.

W tabeli 2.1 i 2.2 oraz na rysunku 2.18 przedstawiono charakterystyki rozwiniętego silnika.

Tabela 2.1. Dane finalne silnika

ABM Greiffenberger Antriebstechnik GmbH - Datenblatt / Data sheet 191689300

Typ / *type* :	4PMF80LW-4				
Teilenummer / *Partnumber* :	191689300	Revisionsstand / *Revision level* :	0003	Datum / *Date* :	27.08.2019
Sondernummer / *Special number* :	S16893	Maßzeichnung / *Scale drawing* :	74585		

Motordaten / Motor data: **4PMF80LW-4**

Leistung / *Power* :	4 kW			Schaltart / *Connection:*	D
Betriebsart / *Duty* :	S 1			Umgeb.temp. / *Ambient temp.* :	
Frequenz / *Frequency* :	86 Hz	Nennspannung / *Rated voltage* :	29 V EN60034-1		
Motordrehzahl / *Motor speed* :	2580 min-1				
Isoklasse / *Iso-class* :	F	Wicklungsschutz / *Motor protection* :	1TF PT1000	Zertifizierung / *Certification* :	
Klemmkastenlage / *Terminalbox pos.* :	A1	Klemmkastententyp / *Type of terminal box* :	Alu	Eta-Motor / *Efficency* :	
Anschluss / *Type of connection* :	Standard	FU-Betrieb / *Inverter use* :	Ja Yes	Eckfrequenz / *Cut-off freq.* :	
Lüftung / *Ventilation* :	Standard	Lüfterhaube / *Fan cover* :	Blech Metal sheet	UPM-max / *max. speed* :	
Fremdlüftung / *seperate fan* :	Nein No	Lage Fremdlüftung / *Pos. foreign cooling fan* :			

Getriebedaten / Gear data:

Untersetzung / *Ratio* :					
Abtriebsdrehzahl / *Output speed* :					
Abtriebsmoment / *Output torque* :		Betriebsfaktor / *Service factor* :		Eta-Getriebe / *Eta-gear* :	

Bremse / Brake:

Bremsmoment / *Brake torque* :		Spulenspannung / *Coil voltage* :		Anschl.spannung / *Supply voltage* :	
Gleichrichter / *Rectifier* :		Amp:		Anschluss / *Connection* :	
Lage Handlüftung / *Pos. manual lifting* :					

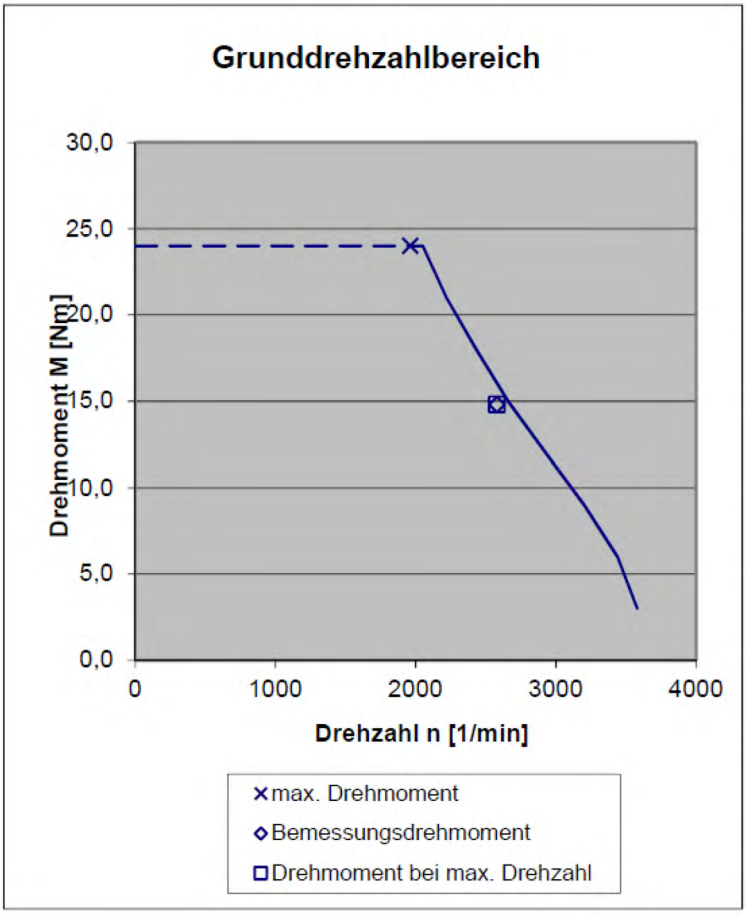
Allgemein / General:

Schutzart / *Protection class* :	IP54			Drehrichtung (auf Abtrieb gesehen) / *Direct. of rotation (seen on output sh.)* :	Rechtslauf clockwise
Bauform / *Design* :	B14	Flansch / *Flange* :	B14-120	Lage / *Mounting* :	
Welle / *Output shaft* :	Abtriebswelle Outputshaft	D x L:	Ø19 mm x 50 mm	Material / *Material* :	Standard
Sonderwelle / *special shaft* :	Ja Yes				
Lackierung / Painting:	UNLACKIERT Unpainted	RAL:		Grundierung / *Primer* :	
Typenschild / *Name plate* :	ABM	Kunden-Teilenummer / *Customer number* :			

Applikation / Application: **keine Applikationsdaten / no application data**

Ergänzungen / Special equipment:

Wuchtung: Balancing:	FU Inverter	Wuchtgüte / Quality:	B (DIN EN 60034)

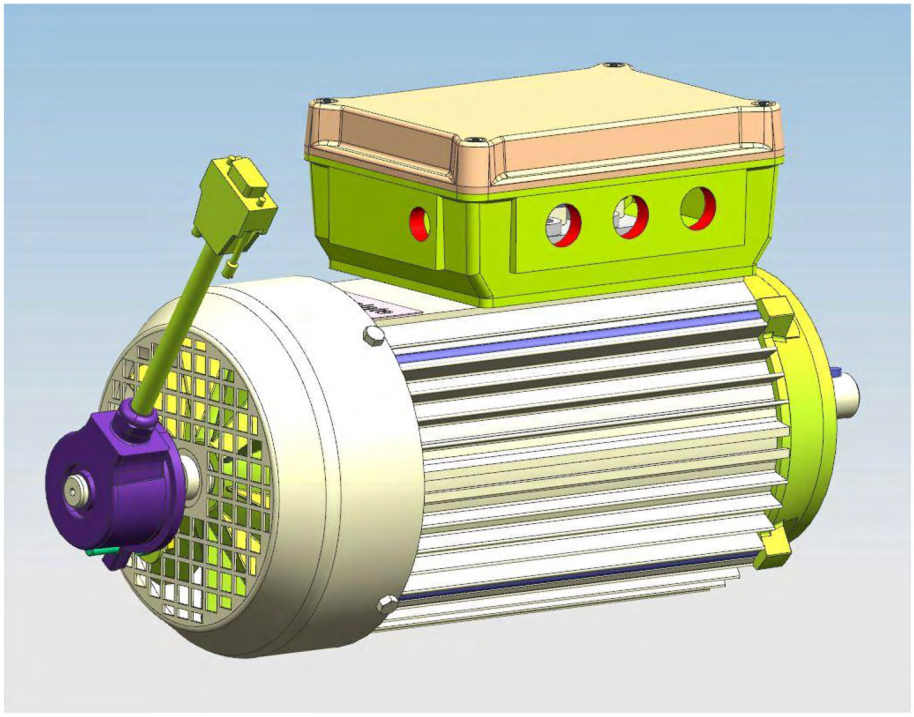


Rys. 2.18. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – charakterystyka momentu obrotowego.

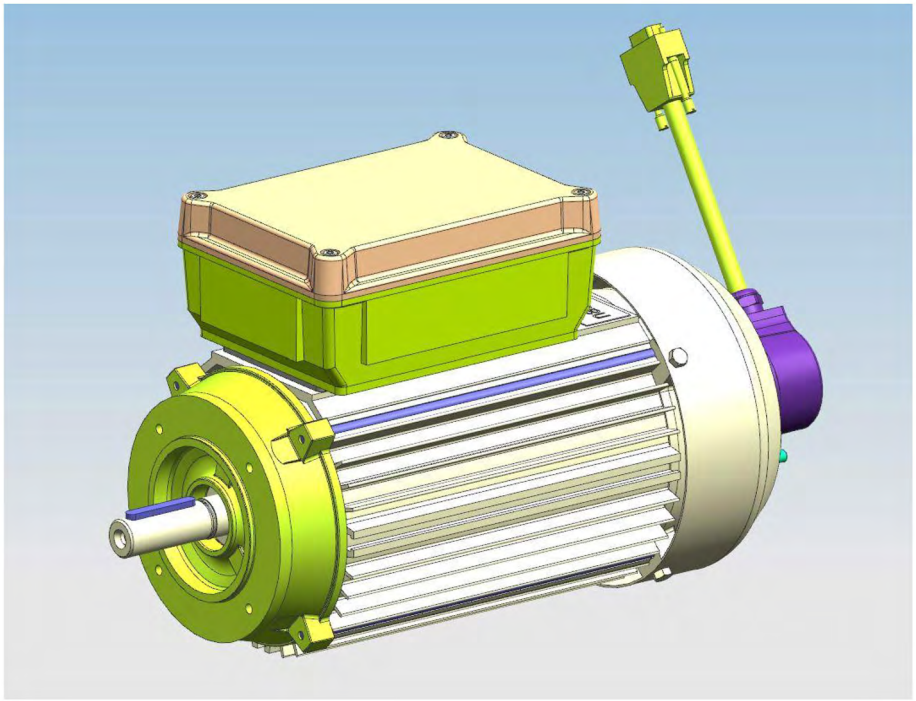
Tabela 2.2. Dane silnika

	U [V]	f [Hz]	n [min^{-1}]	M [Nm]	P_2 [kW]	η [%]	I [A]	Betriebsart
max. Moment	28	65	1960	24,0	4,9	83	153	S2-2 min
Bemessungsleistung	29	86	2580	14,8	4,0	88	103	S1
max. Drehzahl	29	86	2580	14,8	4,0	88	103	S1

Firma ABM, jeszcze przed wykonaniem finalnego zamówienia rzeczywistego silnika, przesyła zamawiającemu model 3D jego obudowy. Można zatem bez straty czasu zacząć projektować dalsze elementy układu napędowego. Model 3D silnika w formacie *.STP przedstawiono na rysunkach 2.19 i 2.20.

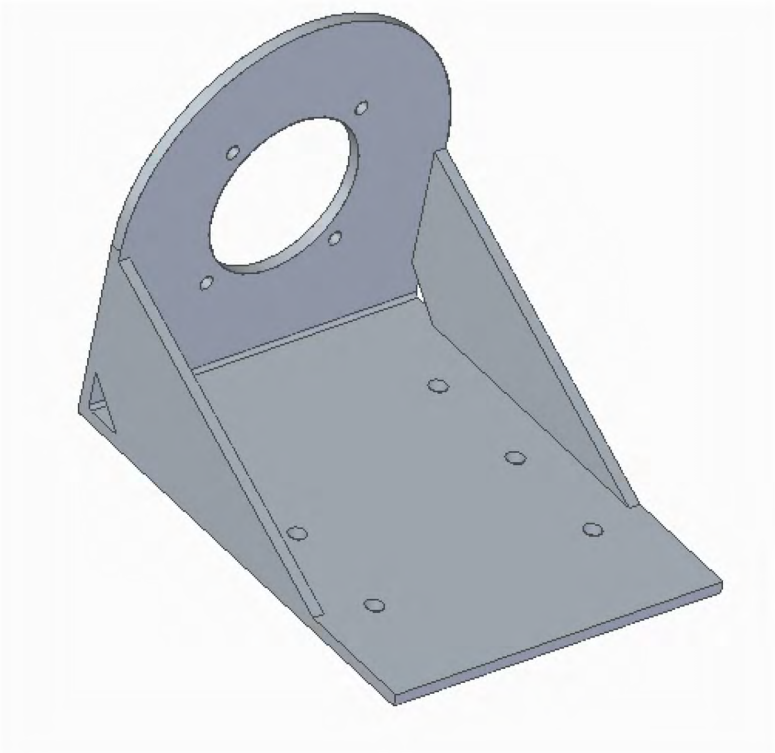


Rys. 2.19. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D.



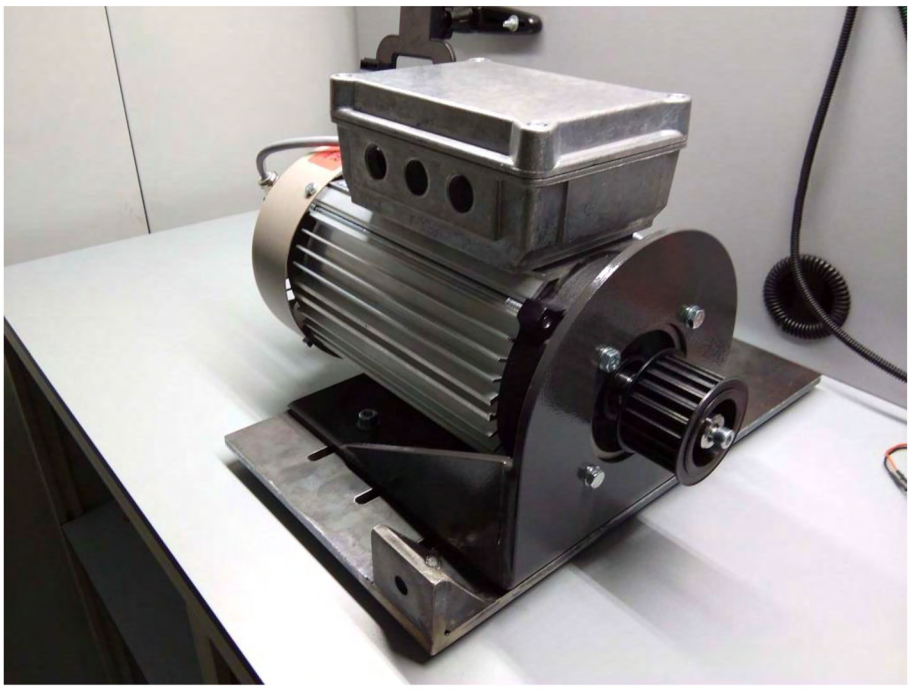
Rys. 2.20. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D.

Dzięki takiemu podejściu do chwili otrzymania silnika autor mógł zaprojektować i wykonać uchwyt mocujący silnika (patrz rysunek 2.21).



Rys. 2.21. Projekt uchwytu mocującego dla silnika – model 3D.

Finalna wersja uchwytu mocującego silnika, wraz z silnikiem została przedstawiona na rysunku 2.22 i 2.23.



Rys. 2.22. Złożenie rzeczywiste silnik – uchwyt – blacha mocująca.

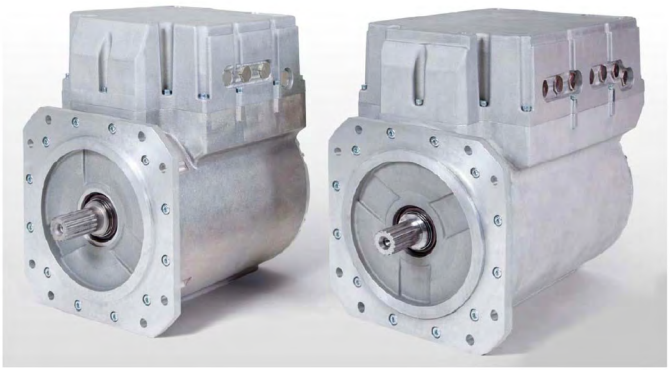
Rys. 2.23. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – badania laboratoryjne.

Napęd z silnika na inne układy lekkiego pojazdu może być przenoszony za pomocą przekładni na pasek zębaty. Szeroki wybór kół pasowych i samych długości pasków pozwala budować na bazie silnika układy napędowe z redukcją i multiplikowaniem prędkości obrotowej. Rozwinięty napęd elektryczny może być zastosowany zarówno do napędu samej maszyny, jak i urządzeń pokładowych. Wymaga źródła zasilania w postaci baterii trakcyjnych o napięciu 48 V DC.

2.1.5. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów cięższych

Za przykład cięższego pojazdu użytkowego posłuży prototypowy pojazd marki Ursus o nazwie ELVI. Jest to prototyp pojazdu o dopuszczalnej masie całkowitej 3,5 tony. ELVI to samochód dostawczy, który dzięki napędowi elektrycznemu gwarantuje niskie koszty eksploatacji. ELVI to najlepszy wybór dla firm przewoźniczych oraz dostawczych, szczególnie do transportu w dużych i średnich miastach. Parametry są następujące: zasięg do 150 km, prędkość maksymalna do 100 km/h, dopuszczalna masa całkowita (DMC) do 3,5 tony, ładowność 1500 kg, napęd na tylne koła, kabina dla 3 osób, możliwość szybkiego ładowania baterii, dostosowany do garaży podziemnych.

Napęd elektryczny nawet pojazdów dostawczych jest możliwy. Wykorzystywane są do tego silniki elektryczne prądu stałego z magnesami trwałymi (PMSM). Jednym z przykładów jest silnik Power Mela firmy Baumiller. Silnik przygotowano w dwóch wersjach mocy: 80 i 140 kW (patrz rysunek 2.24). Może być on wykorzystany do napędu głównego lub pomocniczego w wielu pojazdach, jak to przedstawiono za pomocą infografiki na rysunku 2.25.



Rys. 2.24. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW.

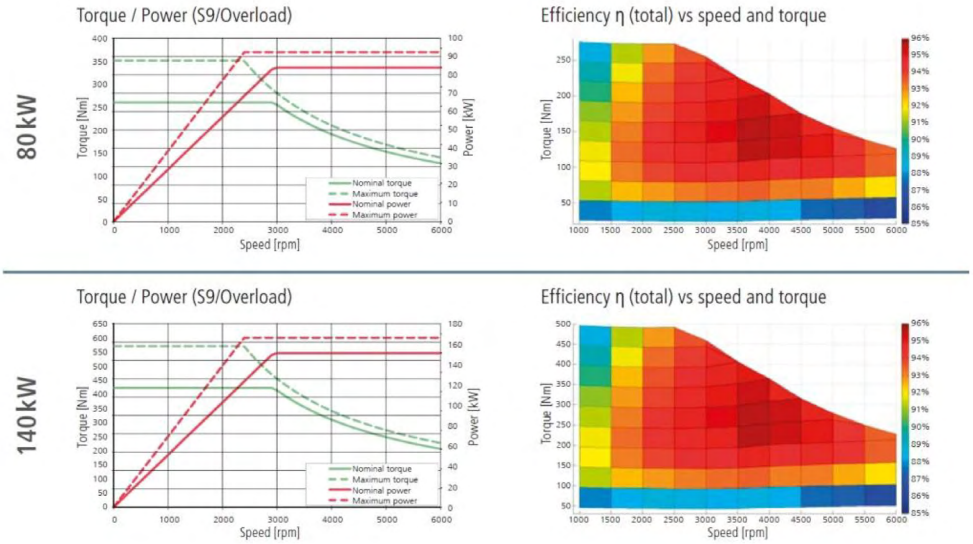
Rys. 2.25. Zastosowanie silników PMSM Mela 85 i 140 kW.

Silnik występujący w dwóch odmianach mocy jest w stanie pokryć bardzo szeroki zakres zapotrzebowania na moc i moment obrotowy. Ważne jest to, że silnik jest zespolony z inwerterem, dzięki czemu charakteryzuje się kompaktową budową, niewielką masą oraz niespotykanymi w tego typu silnikach osiągami. Było to możliwe dzięki zastosowaniu innowacyjnego układu chłodzenia silnika olejem transformatorowym. W danych charakterystycznych (tabela 2.3) można znaleźć informację, że wersja o mocy 140 kW jest dłuższą wersją silnika o mocy 80 kW.

Tabela 2.3. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW – dane charakterystyczne [105]

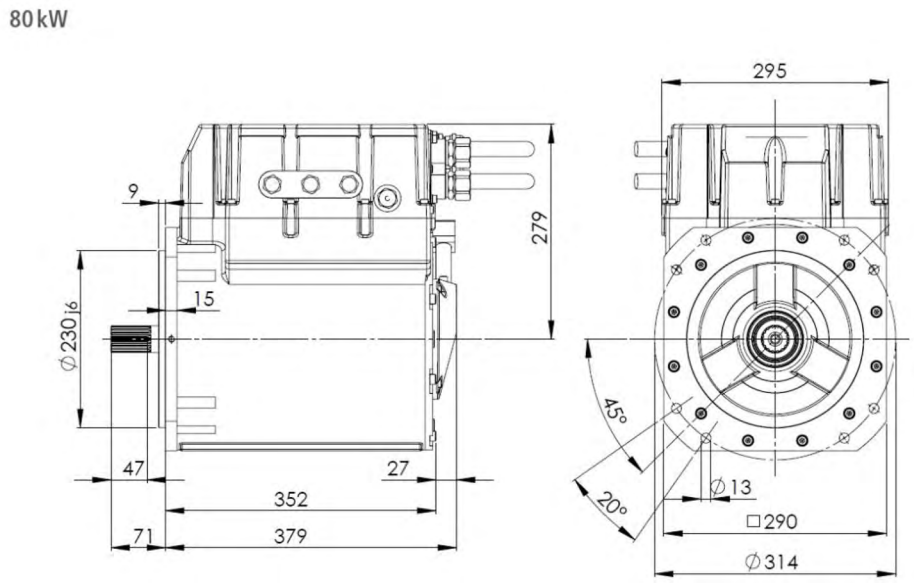
Size (rotor height/power)	[mm]/[kW]	132/80	132/140	
Phases		1 x 3	2 x 3	
Safety class		II	II	protective insulation
Protection class		IP6K9K	IP6K9K	shaft / flange IP65
Construction		flange	flange	
Operating data				
Nominal power	[kW]	80	140	@ 3000 RPM S9 mode
Traction net voltage	[V]	650	650	other voltage on request
Traction net current	[A]	132	229	
Nominal torque	[Nm]	250	450	
Nominal speed	[rpm]	3000	3000	
Maximum speed	[rpm]	6000	6000	
Maximum torque	[Nm]	338	608	for max. 15 seconds
Maximum power	[kW]	88	154	for max. 15 seconds
Efficiency	[%]	95,4	95,4	at nominal speed
Mechanical data				
Length without shaft	L1 [mm]	379	513	
Length with shaft	L2 [mm]	450	584	other dimensions on request *
Shaft diameter	d1 [mm]	35	35	DIN5480-W35 x 2 x 30 x 16 x 9 g
Weight	[kg]	90	147	
Rotor inertia	[kgm²]	0,0493	0,08	
Cooling connector		2	2	M26 x 1,5
Power connector		2	2	70mm² with 8mm cable lug
Communication connector		19-pol	19-pol	2 x CAN; I/O

Maksymalny moment dla obydwu wersji (80 i 140 kW) jest dostępny już od zerowej prędkości obrotowej i pozostaje stały do 2500 obr./min (patrz rysunek 2.26). praca silnika charakteryzuje się bardzo dużą sprawnością występującą w szerokim zakresie obrotów i obciążeń.

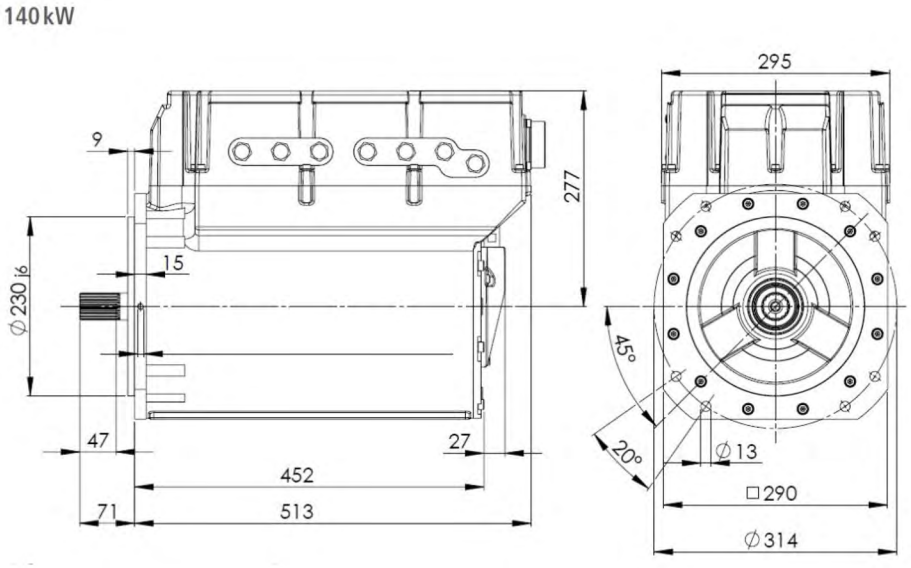


Rys. 2.26. Silniki PMSM Mela 85 i 140 kW – charakterystyki momentu i sprawności [105].

Wymiary gabarytowe silnika o mocy 80 kW przedstawiono na rysunku 2.27, a o mocy 140 kW na rysunku 2.28.

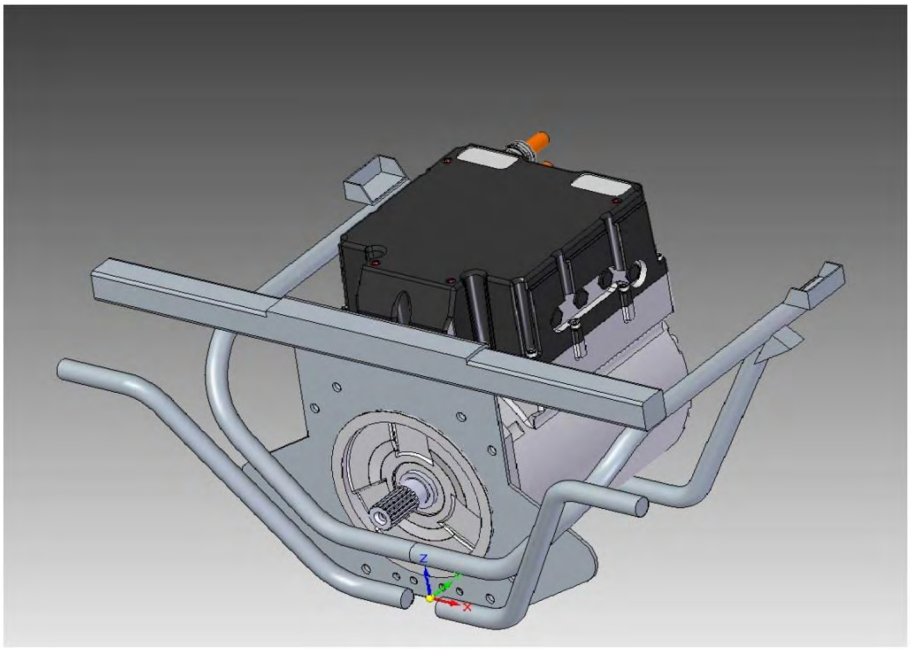


Rys. 2.27. Silnik PMSM Mela 85 – wymiary gabarytowe [105].

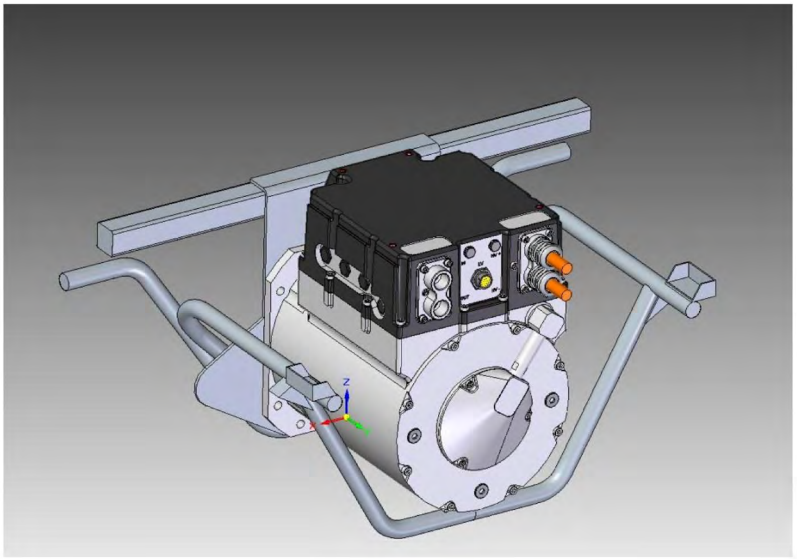


Rys. 2.28. Silnik PMSM Mela 140 – wymiary gabarytowe [105].

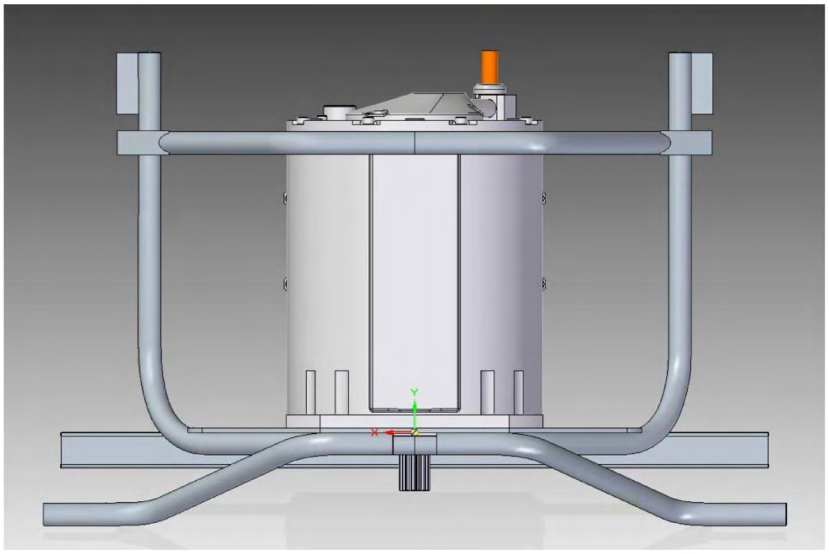
Metodami szybkiego prototypowania wykonano projekt oraz prototyp zamocowania silnika w pojeździe. Składa się on z płyty wyciętej metodą cięcia laserem oraz szeregu wsporników giętych z rury cienkościennej. Dzięki zastosowaniu takich rozwiązań mocowanie silnika jest lekkie i wytrzymałe. Konstrukcję zawieszenia silnika przedstawiono w różnych widokach na rysunkach 2.29 do 2.31.



Rys. 2.29. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika.



Rys. 2.30. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika.



Rys. 2.31. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika.

Również w tym przypadku producent najpierw dostarczył model 3D silnika jeszcze przed przysłaniem rzeczywistego egzemplarza prototypowego. Producent silnika dostarcza również inne komponenty potrzebne do zbudowania innowacyjnego układu napędowego dla maszyn ogrodniczych i sadowniczych, które zostały przedstawione na rysunku 2.32.

powerMELA®-WR C
(Inverter)

powerMELA®-BMS
(Battery Management System)

powerMELA®-BC
(Brake Chopper)

Rys. 2.32. Komponenty dodatkowe dla układów napędowych.

2.2. Pytania testowe

1. Skrót PMSM oznacza:
   a. Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi.
   b. Silnik asynchroniczny z magnesami trwałymi.
   c. Silnik bezszczotkowy prądu stałego.
2. Skrót PMAM oznacza:
   a. Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi.
   b. Silnik asynchroniczny z magnesami trwałymi.
   c. Silnik bezszczotkowy prądu stałego.
3. Skrót BLDC oznacza:
   a. Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi.
   b. Silnik asynchroniczny z magnesami trwałymi.
   c. Silnik bezszczotkowy prądu stałego.
4. Który z silników jest zasilany prądem stałym?
   a. BLDC.
   b. PMAM.
   c. PMSM.
5. Który z silników może być nazywany indukcyjnym?
   a. BLDC.
   b. PMAM.
   c. PMSM.
6. Który z silników jest zasilany prądem przemiennym?
   a. BLDC.
   b. PMSM.
   c. Bezszczotkowy.
7. Silnik PMSM w porównaniu z PMAM charakteryzuje się:
   a. Większą sprawnością.
   b. Niższą ceną.
   c. Mniejszą sprawnością.
8. Silniki z magnesami trwałymi posiadają magnesy umieszczone:
   a. Na wirniku.
   b. W stojanie.
   c. Na wirniku lub w stojanie.
9. Moment obrotowy silnika elektrycznego:
   a. Wzrasta wraz z prędkością obrotową.
   b. Jest stały w funkcji prędkości obrotowej.
   c. Maleje wraz z prędkością obrotową.

10. Czy wszystkie silniki napędowe pojazdów elektrycznych wymagają reduktora prędkości obrotowej?
    a. Tak.
    b. Nie.

11. Które silniki trakcyjne nie wymagają reduktorów prędkości obrotowej?
    a. Silniki synchroniczne.
    b. Silniki wolnoobrotowe o dużym momencie napędowym.
    c. Silniki asynchroniczne.

12. Pojazdy elektryczne w porównaniu z ich spalinowymi odpowiednikami o takiej samej mocy silnika charakteryzują się:
    a. Większym przyspieszeniem.
    b. Mniejszym przyspieszeniem.
    c. Mają takie same przyspieszenie.

13. Silniki trakcyjne w pojazdach elektrycznych są chłodzone:
    a. Tylko powietrzem.
    b. Tylko cieczą chłodzącą.
    c. Powietrzem, cieczą chłodzącą lub olejem transformatorowym.

14. W pojeździe elektrycznym nissan leaf II (produkowanym od 2017 roku) zastosowano:
    a. Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi.
    b. Silnik asynchroniczny z magnesami trwałymi.
    c. Silnik bezszczotkowy prądu stałego.

15. Głównymi zaletami silników elektrycznych do napędu pojazdów w porównaniu z silnikami spalinowymi są:
    a. Niewielkie wymiary i niewielka masa.
    b. Niewielki koszt i duża dostępność.
    c. Duża sprawność oraz duży moment obrotowy dostępny od niskich prędkości obrotowych.

16. Jednym z najbardziej znanych polskich producentów trakcyjnych silników elektrycznych jest:
    a. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Elektrotechniki w Warszawie.
    b. Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL w Katowicach.
    c. Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

17. Silniki elektryczne w porównaniu ze spalinowymi można nazwać:
    a. Energooszczędnymi i niezawodnymi.
    b. Małymi i tanimi.
    c. Silnymi i mocnymi.

18. Moment obrotowy silnika PMSM:
    a. Jest stały w zakresie od zera do nominalnej prędkości obrotowej a później maleje.
    b. Rośnie od zera do nominalnej prędkości obrotowej a później maleje.
    c. Rośnie od zera do nominalnej prędkości obrotowej a później jest stały.

19. Moc silnika PMSM:
    a. Jest stała w zakresie od zera do nominalnej prędkości obrotowej a później maleje.
    b. Rośnie od zera do nominalnej prędkości obrotowej a później maleje.
    c. Rośnie od zera do nominalnej prędkości obrotowej a później jest stała.

20. W prototypowym pojeździe dostawczym o napędzie elektrycznym Ursus ELVI zastosowano:
    a. Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi.
    b. Silnik asynchroniczny z magnesami trwałymi.
    c. Silnik bezszczotkowy prądu stałego.

21. Firma ABM Greiffenberger Polska sp. z o.o., produkująca silniki elektryczne, mieści się w:
    a. Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym.
    b. Strefie Ekonomicznej w Lublinie.
    c. Strefie Ekonomicznej w Poznaniu.

22. Firma ABM Greiffenberger Polska sp. z o.o., produkująca silniki elektryczne, jest spółką córką firmy:
    a. Niemieckiej.
    b. Francuskiej.
    c. Włoskiej.

23. Baumüller jest producentem silników elektrycznych, pochodzącym z:
    a. Niemiec.
    b. Francji
    c. Włoch.

24. Silnik PMSM produkcji Baumüller nosi nazwę handlową:
    a. Deutsche Power.
    b. powerMELA®.
    c. StreetScooter.

25. Czy producent silnika elektrycznego może przesłać model 3D silnika jeszcze przed ukończeniem jego budowy:
    a. Nie.
    b. Tak, jest to obecnie standardem.

26. Model 3D silnika elektrycznego przesyłany odbiorcy przez jego producenta zazwyczaj jest zapisany w formacie:
    a. *.asbl
    b. *.stp
    c. *.stl

27. Silniki PMSM są obecnie budowane jako:
    a. Jednofazowe.
    b. Trójfazowe.
    c. Pięciofazowe.

28. Zakłady Cegielskiego w Poznaniu pracują nad rozwojem:
    a. Silnika trójfazowego indukcyjnego.
    b. Silnika pięciofazowego indukcyjnego.
    c. Silnika pięciofazowego synchronicznego.

29. Rozwój innowacyjnego silnika przez Zakłady Cegielskiego w Poznaniu finansowany jest:
    a. Przez Narodowe Centrum Nauki.
    b. Przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.
    c. Ze środków własnych firmy.

30. Konkurs na rozwój innowacyjnych pojazdów elektrycznych finansowany z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju nosi nazwę:
    a. Polish Power.
    b. InnoMoto.
    c. Inno-Electric.

31. Czy układy napędowe oparte na silniku elektrycznym posiadają zazwyczaj skrzynię biegów?
    a. Nie.
    b. Tak.

32. Czy układy napędowe oparte na silniku elektrycznym posiadają zazwyczaj reduktor prędkości obrotowej?
    a. Nie.
    b. Tak.

33. Czy układy napędowe oparte na silniku elektrycznym posiadają zazwyczaj multiplikator prędkości obrotowej?
    a. Nie.
    b. Tak.

34. Które z silników trakcyjnych stosowane do napędu elektrycznych pojazdów użytkowych i dostawczych mogą nie posiadać reduktora prędkości obrotowej?
    a. Wszystkie PMSM.
    b. Wszystkie PMAM.
    c. Silniki wolnoobrotowe z wysokim momentem napędowym bez względu na typ.

35. Autobusy elektryczne Ursus Bus City Smile są wyposażone w silniki elektryczne:
    a. Kanadyjskiej firmy TM4.
    b. Niemieckiej firmy Baumüller.
    c. Polskiej firmy KOMEL.

36. Silnik powerMELA® produkcji Baumüller produkowany jest w dwóch wersjach mocy:
    a. 40 i 85 kW.
    b. 85 i 140 kW.
    c. 140 i 200 kW.

37. Silnik powerMELA® produkcji Baumüller posiada system chłodzenia wykorzystujący?
    a. Powietrze.
    b. Glikol.
    c. Olej transformatorowy.

38. Sprawność silnika powerMELA® produkcji Baumüller zawiera się w przedziale:
    a. 75–84%.
    b. 85–96%.
    c. 97–100%.

39. Mocowanie silników elektrycznych w pojazdach odbywa się za pomocą:
    a. Łap silnika.
    b. Flanszy silnika.
    c. Obejmy silnika.

40. Inwerter (falownik) w silniku elektrycznym odpowiada za:
    a. Przekształcanie prądu przemiennego na stały i stałego na przemienny.
    b. Tylko prostowanie prądu przemiennego.
    c. Ładowanie baterii trakcyjnych.

2.3. Ćwiczenia wraz z instrukcją

2.3.1. Ćwiczenie 1

Scharakteryzuj trakcyjny silnik elektryczny z wybranego pojazdu elektrycznego.

Charakterystyka powinna zawierać następujące dane:
- Rodzaj silnika wraz z opisem systemu chłodzenia.
- Parametry znamionowe silnika.
- Producenta silnika i miejsce jego produkcji.
- Sposób mocowania silnika w pojeździe.
- Charakterystyki silnika.

.....

.....

.....

2.3.2. Ćwiczenie 2

Dobierz silnik trakcyjny do pojazdu typu gokart

Praca powinna zawierać następujące składowe:
- Przybliżony dobór mocy i momentu silnika.
- Analizę rynkową silników oferowanych przez producentów polskich i zagranicznych (przynajmniej 5 ofert wraz z linkami do strony producenta i konkretnej oferty).
- Dobór przełożenia przekładni pasowej na pasek zębaty.
- Przybliżone obliczenia trakcyjne obejmujące obliczenie prędkości jazdy przy prędkości znamionowej silnika i przełożeniu redukującym 1:2.

.....

.....

.....

2.3.3. Ćwiczenie 3

Dobierz silnik trakcyjny dla małego pojazdu miejskiego klasy A

Praca powinna zawierać następujące składowe:
- Przybliżony dobór mocy i momentu silnika.
- Analizę rynkową silników oferowanych przez producentów polskich i zagranicznych (przynajmniej 5 ofert wraz z linkami do strony producenta i konkretnej oferty).
- Dobór przełożenia reduktora.
- Przybliżone obliczenia trakcyjne obejmujące obliczenie prędkości jazdy przy prędkości znamionowej silnika.

.....

.....

.....

2.3.4. Ćwiczenie 4

Dobierz silnik trakcyjny dla pojazdu dostawczego o DMC 3,5 tony

Praca powinna zawierać następujące składowe:

- Przybliżony dobór mocy i momentu silnika.
- Analizę rynkową silników oferowanych przez producentów polskich i zagranicznych (przynajmniej 5 ofert wraz z linkami do strony producenta i konkretnej oferty).
- Dobór przełożenia reduktora.
- Przybliżone obliczenia trakcyjne obejmujące obliczenie prędkości jazdy przy prędkości znamionowej silnika.

.....

.....

.....

2.3.5. Ćwiczenie 5

Wykonaj złożenie w programie do modelowania 3D klasycznego elektrycznego układu napędowego dla wybranego pojazdu.

Praca powinna zawierać:

- Odnalezienie w bibliotece modeli 3D producenta silników elektrycznych wybranego silnika elektrycznego i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Ewentualne modelowanie wybranego silnika elektrycznego na podstawie dokładnej specyfikacji technicznej z wymiarami gabarytowymi.
- Wybór wału napędowego ze strony producenta i ściągnięcie jego modelu 3D na dysk twardy komputera w formacie *.stp
- Zaprojektowanie flanszy łączącej silnik z wałem napędowym.
- Dokonanie złożenia wszystkich komponentów układu napędowego i przeniesienia napędu.

.....

.....

.....

3. Baterie trakcyjne dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych

3.1. Wstęp

Kolejnym kluczowym komponentem elektrycznego pojazdu są baterie trakcyjne [12]. Najbardziej ich rozpowszechnioną technologią, wykorzystywaną w motoryzacji, są baterie litowo-jonowe dostępne w wielu odmianach. Zdaniem autora, do zbudowania względnie taniego, ale bardzo niezawodnego systemu gromadzenia energii o dużej pojemności powinny posłużyć baterie litowo-jonowe typu NMC (*lithium nickel manganese cobalt oxide battery* – LiNiMnCoO2 lub NMC), które z powodzeniem stosowane są w elektrycznych autobusach, produkowanych przez wielu europejskich i światowych producentów autobusów [11]. Pakiet baterii o pojemności energetycznej 60 kWh zapewnia pojazdowi o DMC 3,5 tony zasięg od 150 do 200 km na jednym ładowaniu. System ładowania CCS Combo 2 umożliwia szybkie ładowanie baterii.

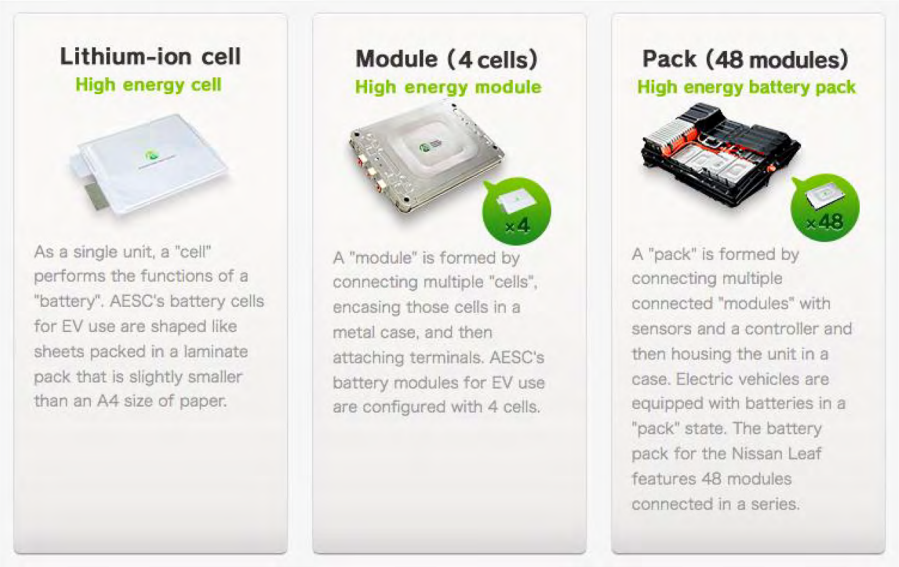
Pojazdy o napędzie elektrycznym mogą być ładowane prądem stałym za pomocą ładowarek zewnętrznych o mocy od 10 do 250 kW za pomocą gniazda CCS Combo 2, przedstawionego na rysunku 3.1 [2].

Rys. 3.1. Gniazdo ładowania prądem stałym i przemiennym CCS Combo.

3.2. Ogólna budowa baterii trakcyjnych

Budowa takiej baterii składa się z cel, modułów oraz pakietów połączonych ze sobą szeregowo-równolegle (rysunek 3.2). Oczywiście sam moduł (rysunek 3.3) nic nie znaczył bez ogniw (rysunek 3.4). W starszych bateriach używano ogniw niklowo-metalowo-

wodorkowych (Ni-MH), ale ze względu tzw. efektu pamięci w nowych rozwiązaniach zastąpiono je ogniwami litowo-jonowymi, które nie posiadają tej wady oraz są bardziej przyjazne dla środowiska.



Rys. 3.2. Pojedyncza cela, moduł i pakiet baterii nissana leaf 2012 [75].

Rys. 3.3. Moduł baterii nissana leaf 2012 [75].

Szeregowe łączenie ogniw zwiększa wartość napięciową, a równoległe – wartość pojemnościową. Budowę pojedynczego ogniwa baterii trakcyjnej pojazdu nissan leaf przedstawiono na rysunku 3.4.

Rys. 3.4. Pojedyncze ogniwo litowo-jonowe nissana leaf [75].

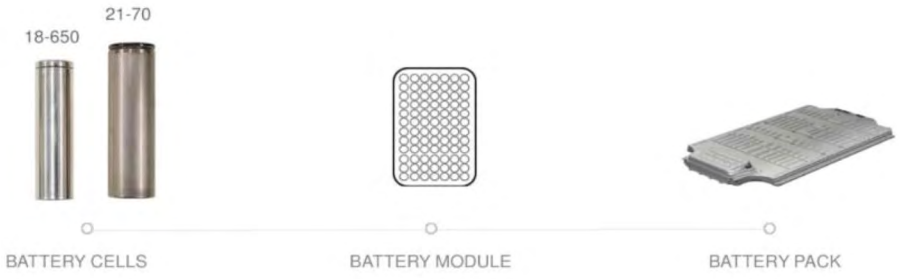
Cały pakiet baterii trakcyjnej, składający się z 48 modułów, przedstawiono na rysunku 3.5. Moduły są łączone w pakiecie w układy szeregowo-równoległe w celu uzyskania odpowiedniego napięcia na poziomie około 400 V DC.

Rys. 3.5. Pakiet baterii nissana leaf 2012 [75].

Na rysunku 3.6 przedstawiono porównanie modułów akumulatorów nissana leaf na przestrzeni lat. Moduł górny to taki, który znajduje się w pakietach akumulatorów 2011–2012. Należy zwrócić uwagę, że jest to szczelnie zamknięty pojemnik, który był czynnikiem szybkiej degradacji wczesnych modułów. Moduł środkowy to taki, który znajduje się w pakietach akumulatorowych o mocy 24 kWh, produkowanych na przestrzeni lat 2013–2016. Należy zwrócić uwagę, że ten moduł jest otwarty, co pozwala na lepszą cyrkulację konwekcyjną. Moduł dolny to taki, który znajduje się w zestawie akumulatorów o mocy 30 kWh (lata 2016 i 2017). Należy zwrócić uwagę, że ma 8 komórek. Zarówno środkowe, jak i dolne obrazy modułu mają przekrojowe modele.

Rys. 3.6. Moduły baterii nissana leaf 2011–2018 [74].

Firma Tesla w swoich bateriach zastosowała ogniwa o budowie cylindrycznej, które też zamknęła w modułach połączonych w układzie szeregowo-równoległym. W modelu S 85 zmontowano 16 modułów po 444 ogniwa w każdym, co daje sumę 7104 ogniwa w całej baterii. Rodzaj ogniwa użytego do budowy baterii trakcyjnej przedstawiono na rysunku 3.7.



Rys. 3.7. Ogniwa baterii trakcyjnej pojazdu tesla.

Porównanie parametrów baterii w nissanie leaf i tesli model S przedstawiono w tabelach 3.1 i 3.2.

Tabela 3.1. Dane techniczne modułu baterii nissana leaf

Rodzaj ogniwa	Litowo-jonowe (kształt zalaminowanej komórki)
Liczba ogniw	4 sztuki (połączone szer.-rów. w ukł. 2/2)
Napięcie znamionowe	7.6 V
Pojemność modułu	64 Ah
Wymiary dł./szer./wys.	300 mm/220 mm/35 mm
Waga modułu	3,8 kg

Tabela 3.2. Dane techniczne modułu baterii tesla

Rodzaj ogniwa	Litowo-jonowe (cylindryczne typ 18650)
Liczba ogniw	444 (połączone szer.-rów. w ukł. 6/74)
Napięcie znamionowe	22.4 V
Pojemność modułu	232 Ah
Wymiary dł./szer./wys.	660 mm/300 mm/80 mm
Waga	25.3 kg.

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 m.in. ochronę baterii przed uszkodzeniem podczas ładowania, wydłużenie jej żywotności oraz utrzymanie pożądanego stanu ogniw. System ten, gdy wychwyci jakiekolwiek sygnały przekraczające normę diagnostyczną, jest w stanie ograniczyć np. prąd ładowania lub nawet całkowicie odciąć 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 może to spowodować jeszcze większe uszkodzenie oraz stanowi zagrożenie pożarowe. Aby ocenić właściwie poprawność działania poszczególnych modułów baterii, można połączyć się z systemem BMS (ang. *Battery Management System*) w celu porównania poziomów napięć. Podobny poziom naładowania wszystkich modułów świadczy o dobrym 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).

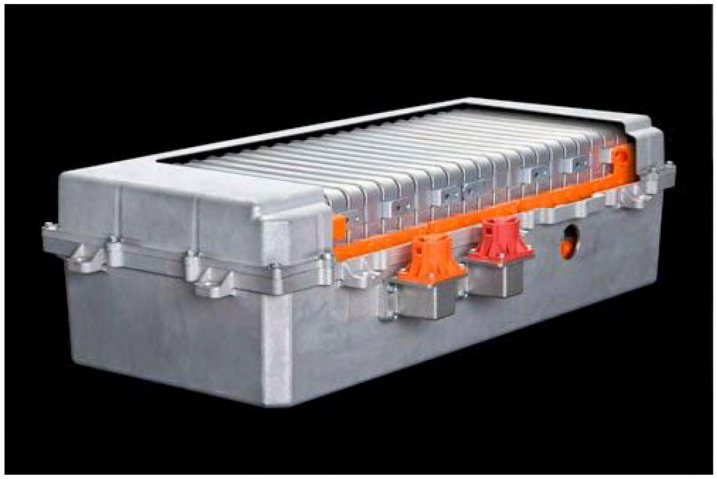
3.3. Umieszczenie pakietów baterii w pojazdach

W zależności od kategorii pojazdu pakiet lub pakiety baterii litowo-jonowych mogą zostać umieszczone w różnych miejscach pojazdu. Należy pamiętać, że pakiety baterii podlegają obowiązkowi homologacji zgodnie z europejskimi regulaminami. Oznacza to, że producent modułu lub producent pojazdu musi wystąpić o uzyskanie homologacji pakietu bateryjnego, montowanego w konkretnym pojeździe. Ze względu na duże koszty takiego procesu zazwyczaj partycypuje w nich zarówno producent pojazdu, jak i pakietu baterii. Jest to jednak inwestycja obowiązkowa i bez niej nie można myśleć o wprowadzeniu nowego pojazdu z napędem elektrycznym lub hybrydowym na rynek. Stanowi również barierę wejścia w nowy biznes. Tylko firmy posiadające duży kapitał początkowy oraz posiadające odpowiedni potencjał, by skomercjalizować rozwijany pojazd, mają szanse na powodzenie.

3.3.1. Renault twizy

Najczęściej pakiety baterii trakcyjnych umieszczane są w dolnej części pojazdu. Przykładem tu może być renault twizy, który jest jednym z najmniejszych pojazdów elektrycznych, oferowanych na rynku. Pakiet baterii w tym pojeździe posiada pojemność energetyczną 6,1 kWh. Jest produkowany przez koncern LG Chem, który posiada również swoje fabryki w naszym kraju. Wygląd pakietu baterii litowo-jonowych w renaulcie twizy przedstawiono na rysunku 3.8.

Pojazd został wprowadzony na rynek w 2012 r. Renault wybudowało specjalnie fabrykę w Hiszpanii w celu masowej produkcji tego modelu. Jednak w 2019 roku koncern zdecydował o jej przeniesieniu do Korei Południowej. Powodem takiej decyzji była optymalizacja kosztów produkcji. Pakiet baterii składa się z 13 modułów, które dają napięcie nominalne 57 V. Jak można zobaczyć na rysunku, obudowa pakietu została wykonana z odlewanego aluminium. W obudowie pakietu zamontowane zostały 2 złącza elektryczne. Jedno z nich odpowiada za ładowanie baterii oraz pobór z niej prądu. Drugie jest złączem komunikacyjnym w celu monitorowania napięcia i temperatury poszczególnych modułów. Są to podstawowe parametry pozwalające na stopień naładowania baterii oraz na jej diagnostykę. Renault twizy posiada przetwornicę pokładową o mocy 2 kW, która jest zasilana z gniazda jednofazowego 230 V. Ładowanie pakietu trwa ok. 3,5 godziny.



Rys. 3.8. Wygląd pakietu baterii w renaulcie twizy [94].

Pakiet baterii w renaulcie twizy jest umieszczony pod siedzeniem kierowcy i waży 105 kg. Miejsce umieszczenia akumulatora przedstawiono kolorem niebieskim na rysunku 3.9. Umieszczenie pakietu baterii pod siedzeniem kierowcy znacząco obniża środek ciężkości pojazdu i wpływa bardzo korzystnie na stabilność pojazdu podczas jazdy na zakrętach.

Rys. 3.9. Miejsce montażu pakietu baterii w renaulcie twizy [95].

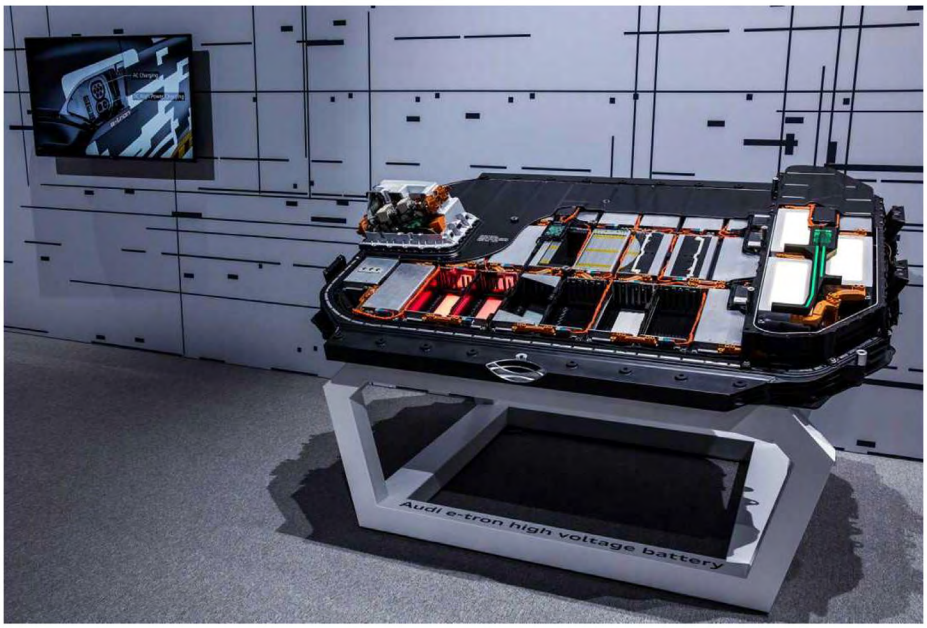
Przykładem większego pojazdu z napędem całkowicie elektrycznym z rodziny renault jest renault zoe. W zoe montowane są silniki elektryczne o mocy od 44 do 80 kW. Największy pakiet baterii ma pojemność 52 kWh i jest umieszczony w podłodze pojazdu, jak to przedstawiono na rysunku 3.10. Na rysunku można dostrzec, że pakiet baterii to nie tylko moduły bateryjne, ale także szereg urządzeń pomocniczych.

Rys. 3.10. Miejsce montażu pakietu baterii w renaulcie zoe [96].

Godną uwagi konstrukcją pojazdu elektrycznego jest BMW i3. Został on zaprojektowany od podstaw z uwzględnieniem wszelkich zalet, jakie posiadają pojazdy elektryczne. Podwozie zostało wykonane z aluminium, a nadwozie w technologii monokok. Dzięki temu konstrukcja jest niesamowicie lekka i wytrzymała. Inżynierowie w BMW uznali, że naturalnym miejscem do montażu baterii litowo-jonowej jest podłoga pojazdu, jak to widać na rysunku 3.11. Największe pakiety baterii o pojemności 42,2 kWh znajdują się w modelach boosts i3 oraz i3s.

Rys. 3.11. Miejsce montażu pakietu baterii w BMW i3 [97].

Jeden z największych w samochodach osobowych pakietów baterii znajduje się w elektrycznym SUV-ie audi e-tron (patrz rysunek 3.12). Pojemność baterii, wynosząca 95 kWh, jest wystarczająca, by zasilać w energię elektryczną niewielkie mieszkanie przez okres jednego miesiąca. Producenci pojazdów elektrycznych wykorzystują różne sposoby, aby zaciekawić potencjalnych klientów i skłonić do zakupu. Z tego względu bardzo często eksponują na przykład poszczególne moduły oraz pakiety baterii stosowanych w pojazdach, jak to ma miejsce na rysunku 3.12. Niejednokrotnie można zauważyć w salonach sprzedaży lub na targach przekroje całych pojazdów elektrycznych. Eksponowanie zaawansowanych technologii zwiększa świadomość klientów na temat ich działania i stanowi zachętę do testowania i zakupu.



Rys. 3.12. Wygląd pakietu baterii w audi e-tron [98].

Na przykład salon i autoryzowany serwis marki Nissan Odyssey w Lublinie eksponuje przekrój najnowszego nissana leaf (rysunek 3.13). Dokładnie widać na nim położenie głównych komponentów elektrycznego układu napędowego. Eksponat wzbudza bardzo duże zainteresowanie wśród klientów salonu. Ludzi bardzo interesują różnice pomiędzy budową tradycyjnego pojazdu z silnikiem spalinowym i innowacyjnego pojazdu w pełni elektrycznego. Warto zaznaczyć, że jest to eksponat interaktywny z działającymi systemami pokładowymi. Po zaciekawieniu klienta budową pojazdu elektrycznego jest on następnie zachęcany do odbycia jazdy testowej w celu poznania wszelkich zalet napędu elektrycznego.

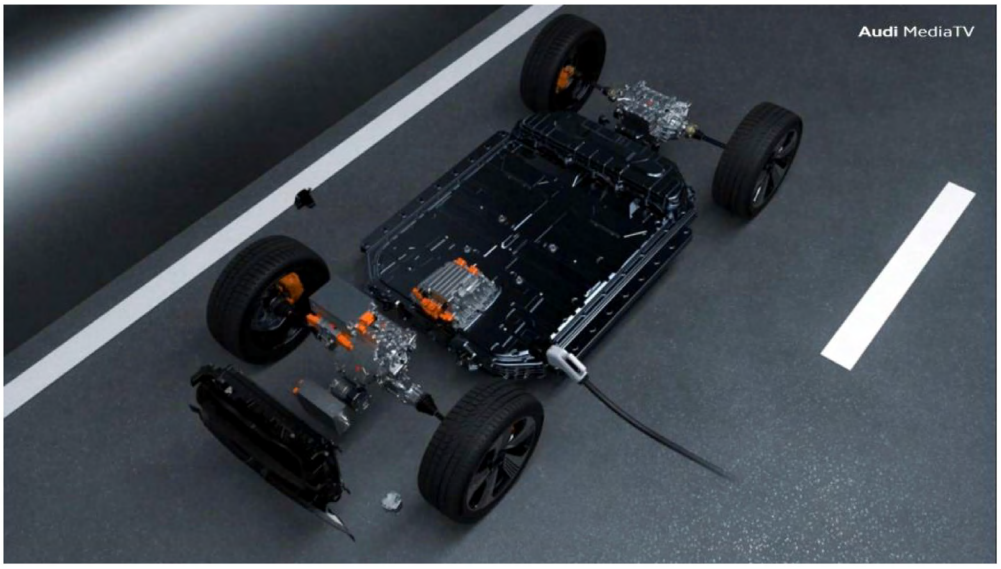
Rys. 3.13. Rzeczywisty przekrój elektrycznego nissana leaf.

Wspomniany przekrój ukazuje również miejsce montażu baterii litowo-jonowych. Na rysunku 3.14 można zobaczyć, że umieszczono je w podłodze dokładnie pod siedzeniami kierowcy i pasażera. Na przekroju dokładnie widać, że w prezentowanym modelu jest jeszcze sporo miejsca na rozbudowę pakietu baterii w celu zwiększenia zasięgu pojazdu. Największy pakiet baterii, znajdujący się obecnie w modelu leaf e+, ma pojemność energetyczną wynoszącą 62 kWh.

Rys. 3.14. Położenie baterii w nissanie leaf.

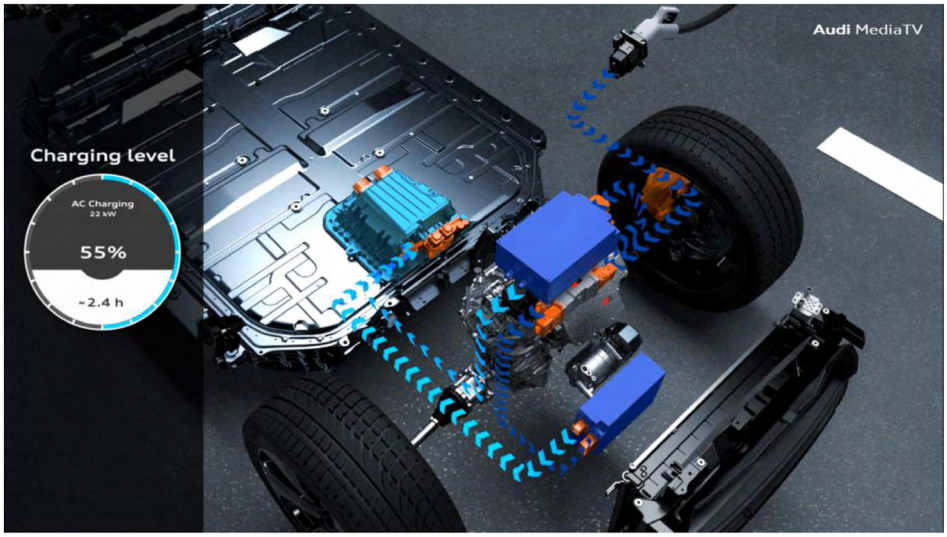
Producenci pojazdów wykorzystują także techniki modelowania 3D oraz animacji do celów promocji elektrycznych układów napędowych. Obecne systemy do modelowania CAD posiadają bardzo zaawansowane funkcje renderingu, które pozwalają osiągnąć bardzo

duże odwzorowanie rzeczywistości. Niejednokrotnie ludzie zastanawiają się czy patrzą na zdjęcie, czy na zrzut ekranu z programu CAD. Obydwie te techniki wykorzystał koncern Audi do promocji elektrycznego układu napędowego we flagowym modelu e-tron. Na rysunku 3.15 przedstawiono zrzut ekranu z kilkuminutowej animacji dostępnej na oficjalnej stronie producenta. Dowiemy się z niej, że pojazd jest napędzany za pomocą dwóch silników elektrycznych. Energia do ich napędu pochodzi z pakietu baterii, który zamontowany jest w całej podłodze pojazdu. Można zauważyć w tym miejscu różnicę w zajmowanej przez pakiet baterii przestrzeni w przypadku audi e-tron i nissana leaf, który posiadał baterię o pojemności 40 kWh.



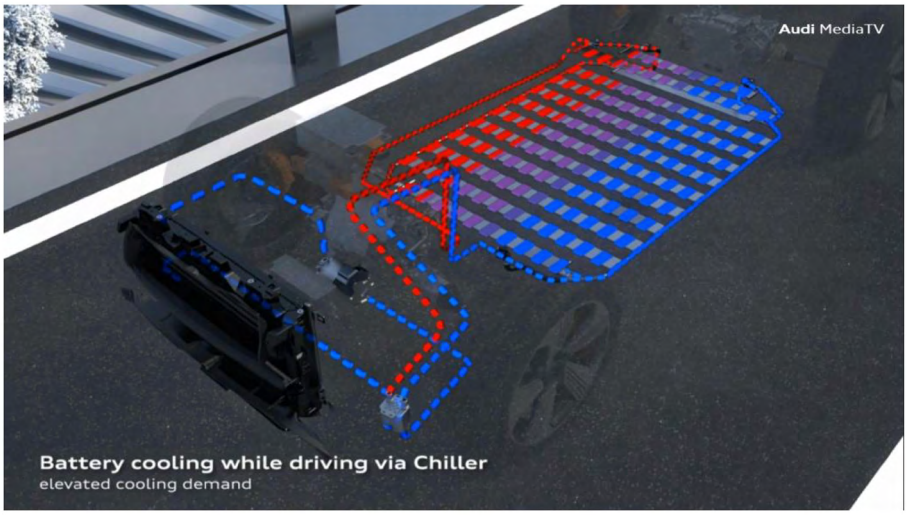
Rys. 3.15. Miejsce montażu pakietu baterii w audi e-tron [99].

Mając gotowe modele 3D całego pojazdu wraz z elementami elektrycznego układu napędowego bardzo łatwo tworzy się przekroje oraz nadaje transparentność wybranym komponentom. Dzięki temu zainteresowany może niejako zajrzeć do środka bez konieczności rzeczywistego przecinania pojazdu, jak to miało miejsce w przypadku prezentowanego powyżej nissana leaf. Na wybrane i wyświetlone w programie 3D komponenty elektrycznego układu napędowego bardzo łatwo jest również nanieść dodatkowe animacje. Na przykład na rysunku 3.16 przedstawiono animację przepływu energii podczas ładowania baterii w pojeździe audi e-tron. Z animacji można dowiedzieć się, gdzie są umieszczone główne komponenty systemu gromadzenia i przetwarzania energii elektrycznej. Zaliczamy do nich samą baterię, Battery Management System, falownik, ładowarkę pokładową oraz złącze ładowania CCS.



Rys. 3.16. Przepływ energii w audi e-tron podczas ładowania baterii [99].

Starannie wykonana animacja ma nie tylko zachęcić do zainteresowania potencjalnych klientów innowacyjną technologią. Ma za zadanie także upewnić ich, że technologia jest bezpieczna dla kierowcy i pasażerów, a także dla środowiska naturalnego. Stanowi także ważny element edukacyjny, związany z budową i eksploatacją innowacyjnych środków transportu. Materiały firmowe różnych marek są także podstawą edukacji uczniów i studentów na różnych poziomach nauczania. Animacja ma także za zadanie wykazać przewagi konkurencyjne produktów wybranej marki od ich rynkowych konkurentów. Przy przepływach prądu o dużym natężeniu i o dużej mocy magazyn energii musi być bardzo dobrze zaprojektowany. Przewody elektryczne muszą mieć odpowiednio duży przekrój, a piny w złączach i gniazdach są zazwyczaj złocone w celu zmniejszenia rezystancji. Warto zaznaczyć, że łączna moc systemowa w audi e-tron wynosi ponad 400 KM, a pojemność energetyczna baterii 95 kWh. Przy tak dużych mocach pobieranych z baterii podczas jazdy oraz dużych mocach ładowania, mobilny magazyn energii musi być chłodzony. Naukowcy już dawno stwierdzili, że duży komfort termiczny baterii litowo-jonowych wpływa na wydłużenie okresu poprawnej eksploatacji. Przepływ czynnika chłodzącego pakiet baterii podczas jazdy audi-e-tron przedstawiono na rysunku 3.17.



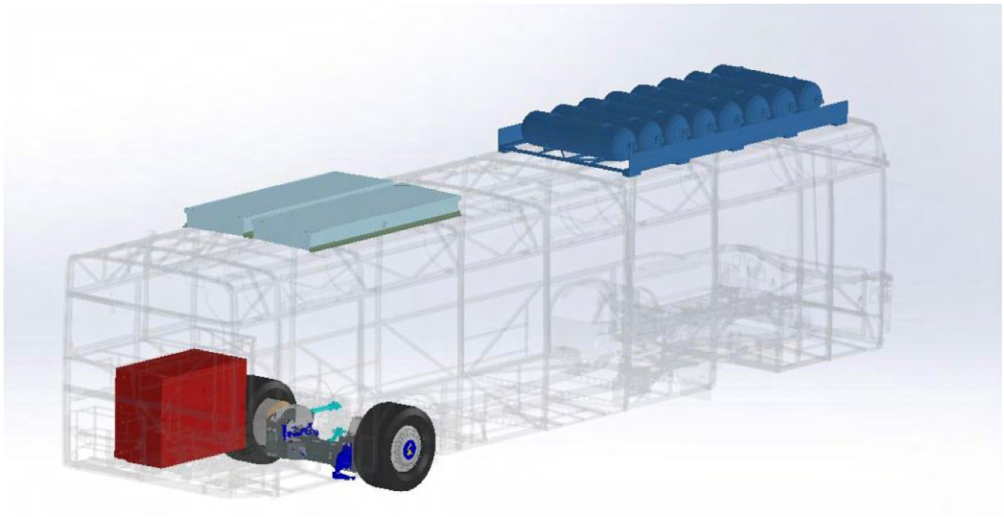
Rys. 3.17. Chłodzenie baterii w audi e-tron podczas jazdy [99].

Można zauważyć, że w tej części podręcznika moce oraz pojemności baterii rosną coraz bardziej. Wspomnę tylko, że przy ładowaniu baterii z mocą do 150 kW chłodzony jest tylko magazyn baterii. Przy mocach ładowania baterii w zakresie od 150 do 350 kW chłodzone już być muszą zarówno gniazda, jak i przewody elektryczne.

Przejdźmy teraz do elektrycznych pojazdów użytkowych. Konstruktorzy znajdą w nich trochę więcej miejsca do zabudowy pakietów baterii. Niektórzy producenci pojazdów wykorzystują w swoich autach dostawczych te same pakiety baterii, które służą do napędu samochodów osobowych. Pakiet baterii znany z renaulta zoe służy także do zasilania renaulta master Z.E. Podobnie jest w przypadku trakcyjnych silników elektrycznych. Rewolucja zwana **elektromobilnością** pozwoliła także na wejście nowych graczy w biznes produkcji samochodów elektrycznych. Deutsche Post i DHL wprowadziły na rynek nowy model auta dostawczego zwany street scooter. Jednak pomimo inwestycji wielu setek milionów euro w budowę fabryk oraz promocję pojazdu nie wytrzymał on rywalizacji rynkowej i produkcja upadła. Producenci aut dostawczych i ciężarowych o konstrukcji ramowej mają możliwość umieszczenia pakietów baterii pomiędzy podłużnicami ramy pojazdu, jak to przedstawiono na rysunku 3.18. Ze względu na masę własną oraz dopuszczalną masę całkowitą pojemności energetyczne pakietów baterii dla tych kategorii pojazdów muszą być odpowiednio większe.

Rys. 3.18. Miejsce montażu pakietu baterii w pojeździe ciężarowym [100].

Autobusy dysponują jeszcze większą ilością wolnego miejsca do montażu pakietów baterii niż pojazdy dostawcze. W autobusach część pakietów może zostać zabudowana na dachu pojazdu, jak to pokazano na rysunku 3.19. W autobusie elektryczno-wodorowym firmy Ursus na dachu zainstalowano pakiet baterii o pojemności 70 kWh. Oprócz tego można zobaczyć butle kompozytowe do magazynowania wodoru pod ciśnieniem 350 barów.



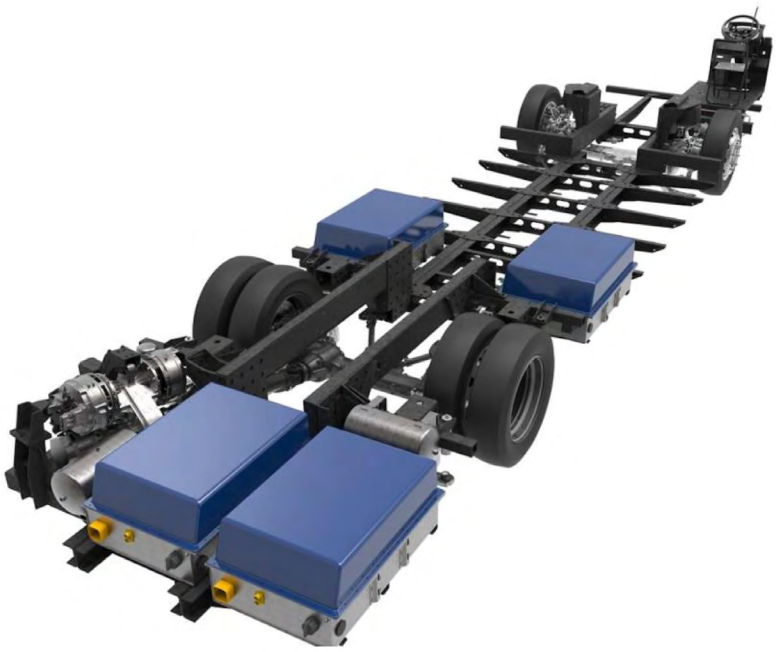
Rys. 3.19. Miejsce montażu pakietu baterii na dachu autobusu elektryczno-wodorowego ursus hydrogen demo bus [101].

W przypadku konwersji autobusów z silnikami spalinowymi na napęd elektryczny zazwyczaj baterie litowo-jonowe montowane są w przedziałach bagażowych autobusów (rysunek 3.20). Nie jest to jednak dla nich optymalne położenie ze względów bezpieczeństwa.

Rys. 3.20. Miejsce montażu pakietu baterii w luku bagażowym autobusu [102].

W przypadku autobusów o konstrukcji ramowej, pakiety baterii zazwyczaj mocuje się do ramy, tak jak w przypadku aut dostawczych. Jak można zauważyć na rysunku 3.21, jest tam dużo miejsca i można bez problemu zainstalować kilka pakietów baterii. Pakiety baterii

autobusowych zazwyczaj są skalowalne co 30 kWh pojemności. Warto wiedzieć, że pojawiły się na rynku firmy zdolne projektować elektryczne i hybrydowe układy napędowe dla różnego rodzaju pojazdów (rysunek 3.22).

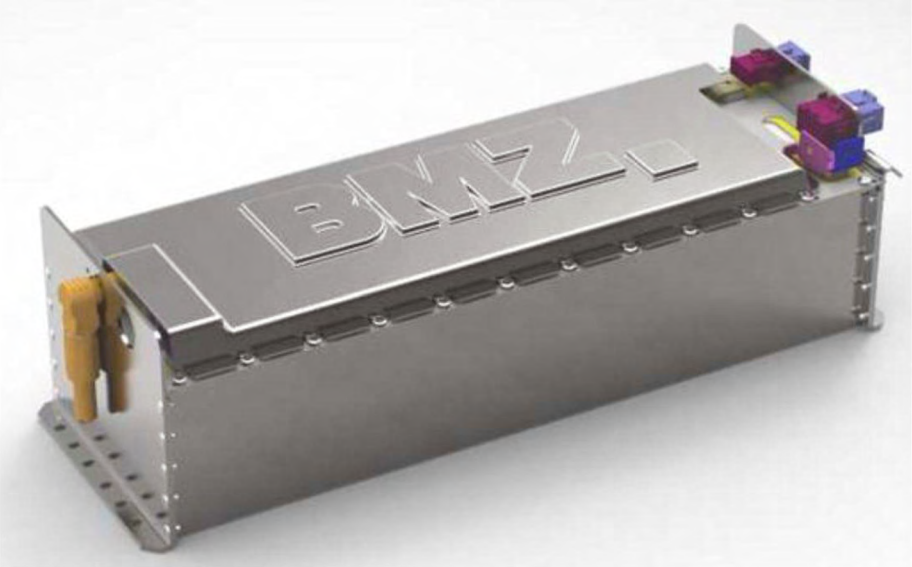


Rys. 3.21. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [103].

Rys. 3.22. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [103].

3.4. Projektowanie systemu magazynowania energii dla potrzeb pojazdów lekkich i ciężkich

Magazyny energii elektrycznej dla wszelkiego rodzaju pojazdów mogą być zaprojektowane i wykonane z modułów bateryjnych. Przykładem takiego modułu jest moduł bateryjny 12S01P firmy BMZ, który został przedstawiony na rysunku 3.8. W tabeli 3.3 przedstawiono jego charakterystyki prądowe.

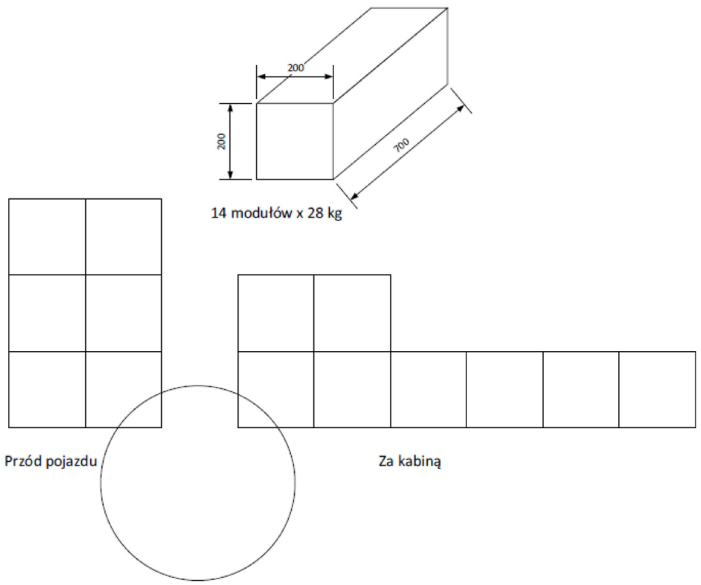


Rys. 3.23. Moduły bateryjny 12S01P firmy BMZ [63].

Tabela 3.3. Dane techniczne modułu baterii BMZ [63]

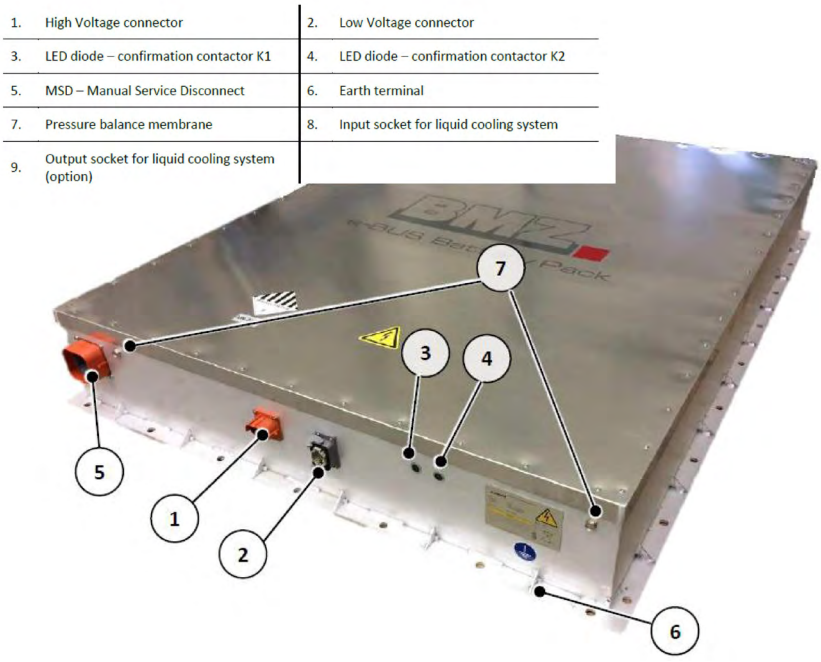
Energy [kWh]	4,15
Energy density [Wh/kg]	148
Dimensions H x W x L [mm]	171 x 199 x 603
Battery Chemistry	Li-ion - NMC (prismatic Samsung cell)
Nominal voltage [V]	44,2
Minimal voltage [V]	32,4
Maximum voltage [V]	49,8
Maximum continuous discharge current [A] @25 Celsius	230
Maximum continuous charge current [A] @25 Celsius	100
Capacity [Ah]	94
Cell temperature operating [˚C]	discharging: -25˚C to + 60˚C charging: -25˚C to + 55˚C
Storage temperature [˚C]	-30°C to +55 °C (10°C to 25°C recommended)
Weight [kg]	28
Configuration (cell connection)	12S01P
Cycle lifetime EOL80% / EOL70%	3200 / 5200 cycles or 5 years*
Additional equipment	Cell balancing wiring Cell temperature sensors
Developed according to	UN38.3, UE Directives

Znając zapotrzebowanie silnika elektrycznego w zakresie żądanego napięcia oraz wymogów dotyczących długości pracy pojazdu, można zaprojektować odpowiedni rozkład modułów bateryjnych, tworząc z nich pakiety, tak jak to przedstawiono na rysunku 3.9.

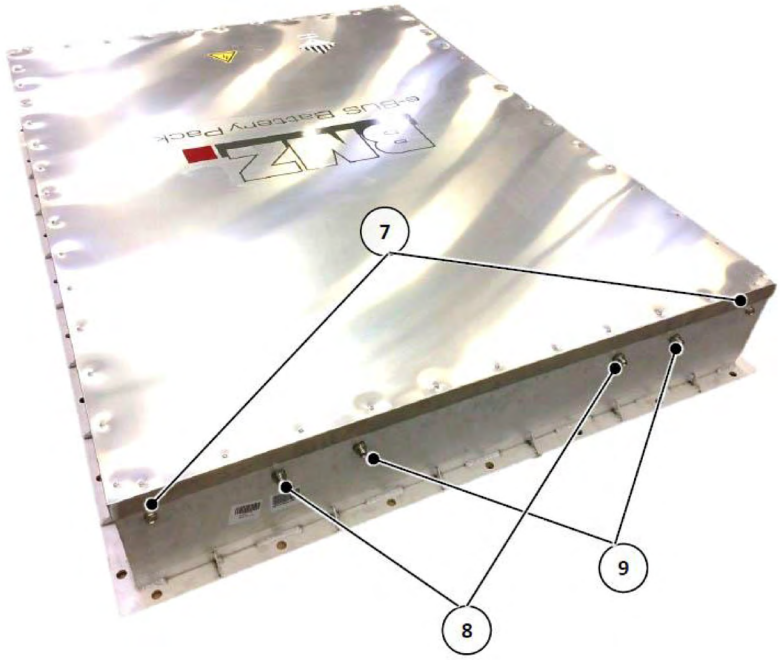


Rys. 3.24. Przykładowy rozkład modułów bateryjnych w projektowanym pojeździe.

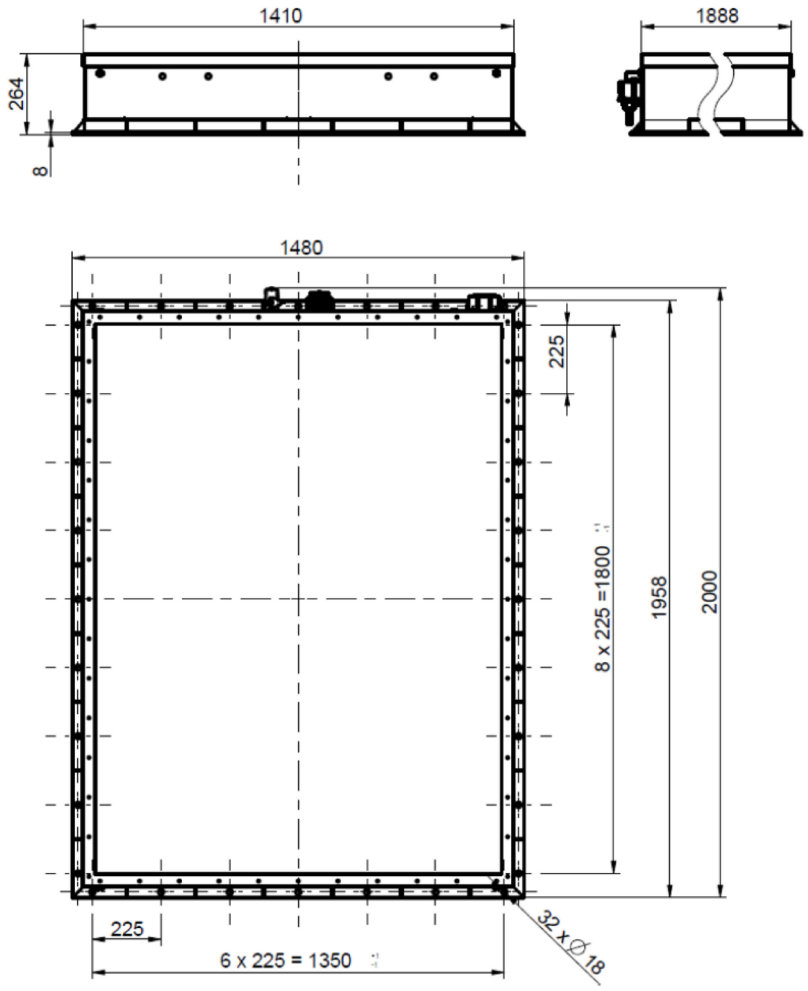
Oczywiście firma może zamówić jeden ze standardowych modułów baterii, które są przygotowane do montażu. Posiadają one homologację producenta i standardowe połączenia mechaniczne i elektryczne, potrzebne do zabudowania w pojeździe i połączenia z innymi komponentami układu napędowego. Pakiet taki o pojemności energetycznej 60 kWh przedstawiono na rysunkach 3.10 i 3.11, zaś jego wymiary gabarytowe na rysunku 3.12. System składa się z 14 modułów (z rysunku 3.8) połączonych, by otrzymać odpowiednie napięcie nominalne (600 V). Pakiet jest przystosowany do chłodzenia cieczą chłodzącą typu glikol.



Rys. 3.25. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ [11].



Rys. 3.26. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ [11].



Rys. 3.27. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ – wymiary gabarytowe [11].

3.5. Pytania testowe

1. Jakie jest średnie zużycie energii elektrycznej potrzebnej do przejechania osobowym samochodem elektrycznym 100 km:
   a. <10 kWh.
   b. 10–20 kWh.
   c. >50 kWh.
2. Największym komponentem baterii trakcyjnej pojazdu elektrycznego jest:
   a. Cela.
   b. Moduł.
   c. Pakiet.
3. Moc pobierana przez silnik z baterii trakcyjnej pojazdu mierzona jest w:
   a. kW.
   b. kWh.
   c. kWp.
4. Moc ładowania baterii trakcyjnej pojazdu mierzona jest w:
   a. kW.
   b. kWh.
   c. kWp.
5. Pojemność energetyczna baterii trakcyjnej pojazdu określana jest w:
   a. kW.
   b. kWh.
   c. kWp.
6. Pojemności energetyczne baterii trakcyjnych pojazdów elektrycznych wynoszą zazwyczaj:
   a. 1–10 kWh.
   b. 10–100 kWh.
   c. 100–1000 kWh.
7. Pojemności energetyczne baterii trakcyjnych pojazdów hybrydowych wynoszą zazwyczaj:
   a. 1–10 kWh.
   b. 10–100 kWh.
   c. 100–1000 kWh.
8. Baterie litowo-jonowe są ładowane prądem:
   a. Stałym.
   b. Przemiennym.
   c. Stałym lub przemiennym.
9. Baterie litowo-jonowe są źródłem prądu:
   a. Stałego.
   b. Przemiennego.
   c. Stałego lub przemiennego.

10. Pakiety baterii trakcyjnych są chłodzone cieczą chłodzącą w:
    a. Wszystkich pojazdach.
    b. Niektórych pojazdach.
    c. Chłodzenie baterii jest za drogie i nie występuje w pojazdach cywilnych.

11. Ładowanie baterii trakcyjnych pojazdów z mocami od 150 do 350 kW wymaga:
    a. Chłodzenia tylko pakietu baterii.
    b. Chłodzenia tylko przewodów wysokiego napięcia i złącza.
    c. Chłodzenia zarówno pakietu baterii, jak i przewodów wysokiego napięcia oraz złącza.

12. NMC oznacza baterie litowo-jonowe:
    a. Niklowo-magnezowo-kobaltowe.
    b. Niklowo-manganowo-kadmowe.
    c. Niklowo-manganowo-kobaltowe.

13. Prototyp dostawczego ursusa elvi posiadał baterie litowo-jonowe typu:
    a. NMC.
    b. LTO.
    c. PKO.

14. Prototyp dostawczego ursusa elvi posiadał gniazdo ładowania:
    a. Typ 2.
    b. CCS combo.
    c. Chademo.

15. Efekt pamięci w bateriach litowo-jonowych:
    a. Występuje.
    b. Nie występuje.
    c. Może występować w zimie.

16. Na trwałość baterii litowo-jonowych negatywnie wpływa:
    a. Przechowywanie w pełni naładowanych w niskich temperaturach.
    b. Przechowywanie w pełni rozładowanych w niskich temperaturach.
    c. Temperatura nie ma wpływu na własności tych baterii.

17. Na trwałość baterii litowo-jonowych negatywnie wpływa:
    a. Przechowywanie w pełni naładowanych w wysokich temperaturach.
    b. Przechowywanie rozładowanych w wysokich temperaturach.
    c. Temperatura nie ma wpływu na własności tych baterii.

18. BMS to skrót z języka angielskiego oznaczający:
    a. Battery Monitoring System.
    b. Battery Management System.
    c. Battery Monitoring Solution (opatentowany przez firmę Tesla).

19. Zadaniem BMS jest:
    a. Zarządzanie pracą baterii litowo-jonowych.
    b. Tylko ograniczanie prądu ładowania.
    c. Tylko zgłaszanie nieprawidłowości pracy baterii.

20. Podczas ładowania baterii pojazdu za pomocą złącza CCS zachodzi komunikacja:
    a. Jednostronna, ładowarki z pojazdem.
    b. Jednostronna, pojazdu z ładowarką.
    c. Dwustronna ciągła komunikacja ładowarki z pojazdem.

21. Podczas ładowania baterii pojazdu za pomocą złącza type 2 zachodzi komunikacja:
    a. Jednostronna, ładowarki z pojazdem.
    b. Jednostronna, pojazdu z ładowarką.
    c. Dwustronna ciągła komunikacja ładowarki z pojazdem.

22. Złącze type 2 rozwinęła i wprowadziła na rynek firma:
    a. Tesla.
    b. Mennekes.
    c. Nissan.

23. Cele baterii litowo-jonowych mają kształt:
    a. Płaski lub okrągły.
    b. Pryzmatyczny lub cylindryczny.
    c. Heptagonalny lub heksagonalny.

24. Pojazdy elektryczne nissan i renault posiadają pakiety baterii z celami:
    a. Cylindrycznymi.
    b. Pryzmatycznymi.
    c. Okrągłymi.

25. Pojazdy elektryczne tesla posiadają pakiety baterii z celami:
    a. Cylindrycznymi.
    b. Pryzmatycznymi.
    c. Okrągłymi.

26. Najpopularniejsza cela cylindryczna do budowania pakietów baterii litowo-jonowych ma wymiary:
    a. 18 x 65.
    b. 21 x 70.
    c. 30 x 100.

27. Cele w bateriach litowo-jonowych łączy się:
    a. Tylko szeregowo.
    b. Tylko równolegle.
    c. Szeregowo i równolegle.

28. BMZ jest firmą produkującą moduły i pakiety baterii litowo-jonowych pochodzącą z:
    a. Chin.
    b. USA.
    c. Niemiec, ale mającą fabryki w Polsce.

29. Największym polskim producentem ładowarek dla pojazdów elektrycznych jest:
    a. Ekoenergetyka Zielona Góra.
    b. Impact Warszawa.
    c. Ursus Lublin.

30. Najmniejszym komponentem baterii trakcyjnej pojazdu elektrycznego jest:

a. Cela.
b. Moduł.
c. Pakiet.

3.6. Ćwiczenia wraz z instrukcją

3.6.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj charakterystyki wybranego pakietu baterii litowo-jonowych, mającego zastosowanie w danym pojeździe.

Charakterystyka powinna zawierać następujące dane:
- Pojemność energetyczną pakietu wraz z opisem systemu chłodzenia.
- Parametry pojedynczego modułu.
- Parametry pojedynczej celi (rodzaj i wielkość) wraz z jej charakterystyką (pryzmatyczna lub cylindryczna).
- Producenta celi i pakietu.

.....

.....

.....

3.6.2. Ćwiczenie 2

Zaprojektuj magazyn energii dla małego pojazdu miejskiego klasy A z napędem elektrycznym o zasięgu 400 km.

Projekt powinien zawierać:
- Wstępne określenie wielkości pakietu, napięcia działania oraz sposobu jego ładowania.
- Wybór modułu bateryjnego i jego producenta.
- Określenie wymiarów pakietu i miejsce jego umieszczenia w pojeździe.

.....

.....

.....

3.6.3. Ćwiczenie 3

Zaprojektuj magazyn energii dla pojazdu dostawczego o DMC 3,5 z napędem elektrycznym o zasięgu 200 km.

Projekt powinien zawierać:
- Wstępne określenie wielkości pakietu, napięcia działania oraz sposobu jego ładowania.
- Wybór modułu bateryjnego i jego producenta.
- Określenie wymiarów pakietu i miejsce jego umieszczenia w pojeździe.

.....

.....

.....

3.6.4. Ćwiczenie 4

Zaprojektuj magazyn energii dla autobusu miejskiego z napędem elektrycznym o zasięgu 200 km.

Projekt powinien zawierać:
- Wstępne określenie wielkości pakietu, napięcia działania oraz sposobu jego ładowania.
- Wybór modułu bateryjnego i jego producenta.
- Określenie wymiarów pakietu i miejsce jego umieszczenia w pojeździe.

.....

.....

.....

3.6.5. Ćwiczenie 5

Dokonaj złożenia w programie do modelowania 3D magazynu energii opartego na module baterii litowo-jonowych.

Praca powinna zawierać:
- Odnalezienie w bibliotece modeli 3D producenta modułów baterii litowo-jonowych wybranego modelu i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Dobór BMS baterii i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Dobór gniazda ładowania baterii (typ 2 lub CCS) i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Dokonanie złożenia wszystkich komponentów we wspólnej obudowie.

.....

.....

.....

4. Silniki spalinowe dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych

4.1. Teoria

Poszukiwanie możliwości ograniczania zużycia paliwa oraz zmniejszenia emisji składników szkodliwych spalin powodują, że napędy pojazdów ulegają ciągłemu rozwojowi. Rozwój ten dotyczy zarówno samych silników spalinowych, jak również całych układów napędowych. Podejmowane obecnie działania, przyczyniające się do rozwoju silników spalinowych, dotyczą głównie:

- systemów spalania paliwa – dominacja układów bezpośredniego wtrysku paliwa zarówno w silnikach o zapłonie samoczynnym, jak i iskrowym,
- układów dolotowych i wylotowych wykorzystujących zmienne fazy rozrządu w celu uzyskania zwiększonego napełnienia cylindrów oraz zmiennego stopnia recyrkulacji spalin,
- stosowania nisko- i wysokociśnieniowego systemu recyrkulacji spalin w celu ograniczenia emisji składników szkodliwych,
- materiałów ograniczających straty tarcia w układach tłokowo-korbowych,
- możliwości zwiększenia sprawności cieplnej silnika przez odpowiednie zarządzanie układami chłodzenia,
- stosowania systemów oczyszczania spalin, ukierunkowanych głównie na obniżanie emisji liczbowej i masowej cząstek stałych.

Większość z przedstawionych działań jest elementem downsizingu silników spalinowych, określanego jako statyczny (dotyczący zmniejszenia pojemności skokowej silnika) lub dynamiczny (polegający na deaktywacji części cylindrów podczas pracy silnika). Rozwój napędów pojazdów ukierunkowany jest przede wszystkim na ograniczenie emisji dwutlenku węgla, co powoduje, że wszelkie prace prowadzące do ograniczenia wykorzystania silnika spalinowego są pożądane, szczególnie w aspekcie ograniczenia emisji CO_2 do poziomu 95 g/km, które weszło w 2020 roku. Oznacza to, że zwiększenie udziału napędów elektrycznych w pojazdach samochodowych jest kierunkiem, powodującym rozwój zarówno silników spalinowych, jak i elektrycznych.

W niniejszym rozdziale zostanie przedstawiony opis rozwoju technologii silników spalinowych w pierwszym produkowanym seryjnie pojeździe hybrydowym, jakim jest toyota prius. Zostaną dokładnie opisane kluczowe technologie, wpływające na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji spalin do atmosfery.

4.2. Rozwój silników spalinowych w toyocie prius

4.2.1. Silnik spalinowy toyoty prius – I generacji

W latach 1997–2000 produkowana była toyota prius I generacji z silnikiem spalinowym o pojemności skokowej równej 1497 cm^3. Silnik ten osiągał moc 58 KM przy 4000 obr./min. Maksymalny moment obrotowy wynosił 103 Nm przy 4000 obr./min [33].

Od 2000 do 2003 roku produkowany był prius I generacji z silnikiem benzynowym o pojemności skokowej 1497 cm^3. Silnik w tym modelu Toyoty osiągał moc 72 KM przy 4500 obr./min. Natomiast maksymalny moment obrotowy był równy 115 Nm przy 4200 obr./min [34]. Anglik, James Atkinson, w 1882 roku zbudował silnik, w którym poprzez układ popychaczy łączących tłoki z wałem korbowym suw sprężania był krótszy od suwu pracy. Dzięki takiemu rozwiązaniu w chwili rozpoczęcia suwu wydechu ciśnienie gazów o charakterze spalinowym było już praktycznie równe ciśnieniu atmosferycznemu, a co za tym idzie, ich energia była w pełni wykorzystana. Silnik, który pracuje w cyklu Atkinsona ma mniejszą moc, niż silniki, które pracują w cyklu Otto. Silnik toyoty prius I generacji jest czterosuwowy. W każdym suwie tłok pokonuje taką samą drogę. Suw pracy jest dłuższy niż suw sprężania, ponieważ opóźnione jest zamknięcie zaworu ssącego, zamykającego się zaraz po rozpoczęciu suwu sprężania. Dzięki temu część mieszanki paliwowo-powietrznej cofa się do kolektora o działaniu ssącym. W sytuacji, gdy zapotrzebowanie na moc jest nieduże, to silnik spalinowy toyoty prius I generacji pracuje w cyklu Atkinsona, zużywając przy tym niewielkie ilości paliwa. Jednak w momencie, gdy potrzebne są znacznie lepsze osiągi, praca silnika przechodzi w cykl Otto [31].

Rys. 4.1. Toyota prius I generacji – silnik spalinowy [32].

4.2.2. Silnik spalinowy toyoty prius – II generacji

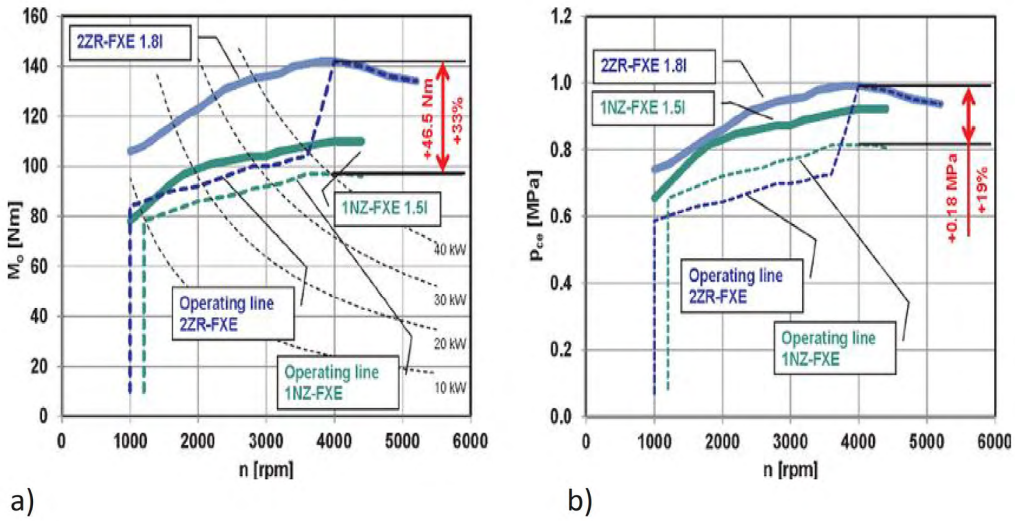
Silnik spalinowy toyoty prius II generacji, podobnie jak model poprzedni, działa według cyklu Atkinsona. Silnik ten wyposażony jest w cztery cylindry o średnicy 75 milimetrów każdy. Skok tłoka ma średnicę 84,7 milimetra. Pojemność skokowa tego silnika wynosi 1497 cm^3. Maksymalna moc silnika jest równa 57 kW przy 5000 obrotach na minutę. Paliwo jest wtryskiwane w sposób sekwencyjny oraz wielokanałowy EFI. Silnik priusa II ma system bezpośredniego zapłonu DIS. Układ rozrządu jest 16-zaworowy VVT-i [22].

Rys. 4.2. Toyota prius II generacji – silnik benzynowy [30].

Silnik benzynowy toyoty prius II generacji został wykonany ze stopów lekkich. Wyposażony został w pośredni wtrysk paliwa i rozrząd, który pracuje w układzie VVT-i. Dzięki ostatniemu rozwiązaniu umożliwiono zmianę momentu otwarcia zaworów dolotowych względem położenia wału korbowego, a także optymalizację pracy ze względu na warunki pracy. Szybkie osiąganie optymalnej temperatury pracy jest umożliwione dzięki cienkościennym katalizatorom trójfunkcyjnym o wysokiej gęstości [22].

4.2.3. Silnik spalinowy toyoty prius – III generacji

Silnik spalinowy toyoty prius III generacji, tak jak we wcześniejszych generacjach, pracuje w cyklu Atkinsona. Wykorzystuje on napęd full hybrid (szeregowo-równoległy). Moment obrotowy silnika 2ZR-FXE jest o wiele bardziej korzystny niż napędu hybrydowego toyoty prius I generacji, która miała silnik 1NZ-FXE, ponieważ uzyskiwał on większe wartości maksymalnego momentu o prawie 30 Nm (rysunek 4.3.a). Mając jednak na uwadze zwiększenie pojemności skokowej silnika – z 1,5 dm^3 do 1,8 dm^3 – wysilenie nowszej konstrukcji nie jest aż tak większe (rysunek 4.3.b) [27].



Rys. 4.3. Porównanie charakterystyk silników spalinowych kolejnych generacji napędów hybrydowych toyoty prius: a) momentu obrotowego, b) średniego ciśnienia użytkowego wraz z naniesionymi warunkami pracy tych silników w układach hybrydowych [28].

Silnik toyoty III generacji ma pojemność skokową równą 1,8 dm^3. Rozwija on moc 98 KM (73 kW), a przy wspomaganiu silnikiem elektrycznym 134 KM (100 kW). Zwiększona pojemność skokowa gwarantuje większy moment obrotowy, jak również pozwala zminimalizować prędkość obrotową silnika. W efekcie dochodzi do zmniejszenia zużycia paliwa podczas jazdy szosowej. Poprzez użycie elektrycznej pompy cieczy chłodzącej, silnik toyoty prius III generacji jako pierwszy seryjny silnik dla pojazdów osobowych nie używa pasków klinowych. Dzięki temu dodatkowo zmniejsza się zużycie paliwa [26].

4.2.4. Silnik spalinowy toyoty prius – IV generacji

W toyocie prius IV generacji jest 4-cylindrowy, rzędowy silnik spalinowy typu DOHC, który działa w cyklu Atkinsona. Jego pojemność skokowa wynosi 1,8 dm^3. Maksymalna moc silnika benzynowego toyoty IV generacji wynosi 98 KM przy 5200 obr./min. Natomiast maksymalny moment obrotowy jest równy 142 Nm przy 3600 obr./min [35].

Natomiast w toyocie prius plug-in jest silnik spalinowy 1.8 hybrid plug-in 122 KM e-CVT hybryda. Jego maksymalna moc wynosi 98 KM przy 5400 obr./min. Z kolei maksymalny moment obrotowy silnika jest równy 142 Nm przy 3600 obr./min [36].

W toyocie prius IV generacji wykorzystany jest benzynowy silnik VVT-i, jednak poprzez zmodyfikowanie go, udało się wysoką we wcześniejszych generacjach sprawność cieplną podnieść do rekordowego poziomu, który wynosił 40%. Nadrzędne zmiany obejmują użycie oleju, który ma mniejszą lepkość, niższe zużycie ruchomych elementów, jak również innowacyjne wprowadzenie podwójnego układu chłodzącego. Specjalny zawór, w momencie gdy jest niska temperatura powietrza, w automatyczny sposób zmienia obieg cieczy chłodzącej, tym samym umożliwiając szybsze rozgrzewanie się silnika bez zmniejszenia efektywności wentylacji kabiny. Dzięki takiemu układowi chłodzenia zużycie paliwa jest ograniczone w chłodne dni. Nowo zaprojektowane tłoki oraz kanały dolotowe gwarantują lepsze zawirowanie mieszanki w cylindrach. Ponadto została zwiększona ilość recyrkulowanych spalin, co dodatkowo poprawiło proces spalania [35].

4.3. Badania drogowe pojazdu hybrydowego

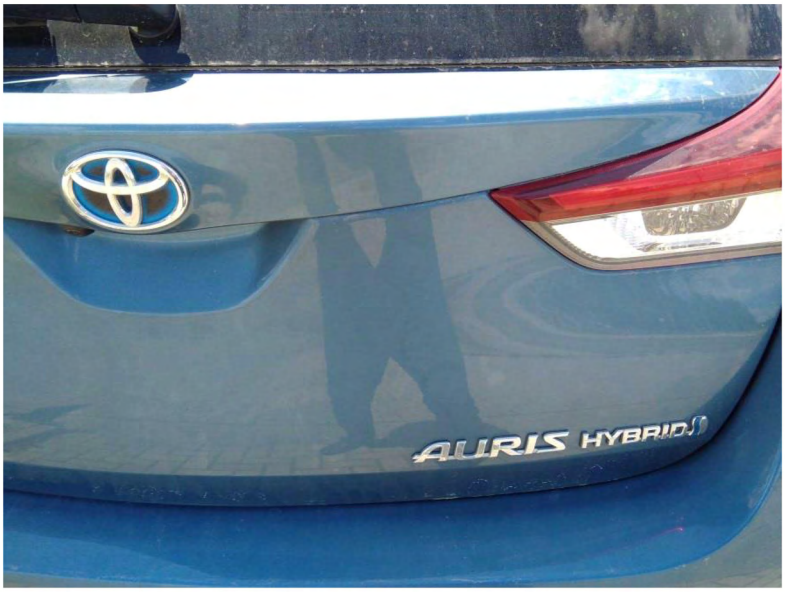
4.3.1. Badany obiekt – toyota auris hybrid

Badanym pojazdem była toyota auris hybrid z 2016 roku, przedstawiona na rysunku 4.4. Silnik spalinowy testowej toyoty auris to wolnossące 1.8 VVT-i o mocy 99 KM. Choć wygląda jak najzwyklejszy w świecie silnik o spalaniu wewnętrznym, to jednak pracuje w cyklu Atkinsona, a nie Otta, jak większość. Cykl Atkinsona wykorzystuje się przede wszystkim w generatorach zasilających maszyny stacjonarne. Wykazuje największą sprawność cieplną w zakresie średnich obrotów, a za tą sprawnością idzie mniejsze zapotrzebowanie na paliwo. Mniej energii mechanicznej, produkowanej przez silnik jest zamieniane na energię cieplną, czyli paliwo jest wykorzystywane bardziej efektywnie. Silnik pracujący w takich warunkach jest też o wiele bardziej trwały. No dobrze, ale zakres obrotów, w którym taki silnik „lubi" pracować, jest wąski. Powyżej i poniżej tego przedziału nie mamy z niego zbyt wiele pożytku. Trzeba więc mu jakoś pomóc.

W tym momencie zaczyna działać „silnik" elektryczny. Używam tu cudzysłowu celowo, bowiem pod tym pojęciem kryją się właściwie dwa silniki elektryczne – główny i pomocniczy. Te silniki będą się stale wymieniać zadaniami. Czasem to silnik pomocniczy będzie generował prąd dla głównego, czasem będzie odwrotnie. W skrócie – silnik pomocniczy odpowiada za rozruch silnika spalinowego, pełni funkcję alternatora ładującego baterie i na podstawie jego prędkości obrotowej i momentu obliczane jest aktualne przełożenie bezstopniowej skrzyni biegów. Silnik główny charakteryzuje się wyższym momentem obrotowym i będzie realizował takie zadania jak: hamowanie silnikiem, jazda do tyłu, a ogółem – wspomaga silnik spalinowy, zwiększając moment obrotowy, jaki trafia do układu przeniesienia napędu.

Rys. 4.4. Toyota auris w wersji hybrid.

Wszystkie toyoty z napędem hybrydowym jest bardzo łatwo odróżnić. Posiadają one napis HYBRID w tylnej oraz bocznej części pojazdu oraz niebieskie wypełnienia logo Toyoty (patrz rysunek 4.5).



Rys. 4.5. Toyota auris hybrid – oznakowanie.

4.3.2. Urządzenia pomiarowe

Podczas badań wykorzystano interfejs OBD, przedstawiony na rysunku 4.6. Na urządzeniu mobilnym w postaci smartphone zainstalowano aplikację Hybrisd Assyst, która łączyła się z interfejsem OBD za pomocą Bluetootha.

Rys. 4.6. Oryginalny bezprzewodowy interfejs ELM 327.

Urządzenie ELM 327 posiada wbudowany autowyłącznik, dzięki czemu nie rozładowuje akumulatora oraz funkcję autostart. Współpracuje z większością aut wyposażonych w interfejs OBD2.

W zestawie płyta z oprogramowaniem.
Interfejs umożliwia:

- Odczyt i kasowanie błędów OBD-II.
- Kasowanie lampki CHECK ENGINE.
- Odczyt kodów błędów oczekujących, kiedy lampka MIL jeszcze się nie pali.
- Odczyt kodów błędów zarejestrowanych, które spowodowały zapalenie lampki MIL.
- Odczyt kodów błędów ogólnych i charakterystycznych producenta.
- Podgląd zamrożonych ramek – FREEZE FRAMES.
- Monitorowanie parametrów pracy silnika w czasie rzeczywistym – LIVE DATA.
- Odczyt parametrów online.
- Sprawdzanie znaczenia kodów błędów.
- Pomiar mocy silnika (KM).
- Pomiar parametrów takich jak czas od 0–100 km/h.

4.3.3. Badania pojazdu hybrydowego w warunkach jazdy pozamiejskiej

Badania obejmowały przejazd z Lublina do Warszawy i z powrotem. Cały czas interfejs OBD przekazywał dane do aplikacji, która wysyłała je do chmury. Z danych zgromadzonych w chmurze generowany jest automatycznie raport zawierający wiele ciekawych informacji (patrz rysunek 4.7). Jednak do ich interpretacji potrzebna jest wiedza z poziomu studiów 2 stopnia w obszarze budowy i działania silników spalinowych oraz elektrotechniki.

Hybrid Assistant Report

Info	
Model samochodu	Auris MY13+
VIN	SB1MS3JE70E------
Licznik	28,630
Wygenerowano w	28/06/2019 12:20:15
Wersja	HA:244 HR:82

Rys. 4.7. Raport z systemu Hybrid Assistant.

Jak widać z rysunku 4.8 przejechany dystans wynosił ponad 355 km i zajął ponad 5 godzin. Ze względu na odbywające się roboty drogowe średnia prędkość wyniosła 70 km/h, zaś średnia prędkość z jazdy 75 km/h. Jazda obejmowała krótki postój w Warszawie. Badania odbywały się przy temperaturze otoczenia 8°C. Średnie zużycie paliwa wyniosło 5.924 l/100 km.

Czas	
Start	11/11/2018 13:26:45
koniec	11/11/2018 18:34:26

Podróż	Całkowity	EV	%	Bez paliwa	%
Dystans	355.14 km	39.29 km	11%	43.89 km	12%
Czas	5:07:40	1:29:59	29%	1:30:26	29%
W ruchu	4:47:34	1:03:13	22%	1:10:20	24%

Prędkość	
Średnia	70 km/h
Średnia z ruchu	75 km/h
Średnia EV	24 km/h
Max	168 km/h

Środowisko	
Start SOC	59.61%
Koniec SOC	62.35%
Średnia temperatura otoczenia	8°C

Paliwo	
Zużycie	5.924 L/100km
Stosowanie	21.040 L

Wartości podsumowania podróży są wyszczególnione według czasu, ruchu i EV.
Całkowity czas podróży.
Przenoszenie statystyk dotyczy tylko ułamka czasu, gdy samochód nie stoi w miejscu.
Statystyki EV są rozliczane tylko wtedy, gdy silnik benzynowy jest zatrzymany.
Brak paliwa Sumuje jazdę z napędem elektrycznym przy silniku benzynowym pracującym bez paliwa, np. Podczas jazdy z dużą prędkością lub zjazdu z pochyłości.

Rys. 4.8. Podstawowe dane z jazdy.

Aplikacja Hybrid Assyst jest w stanie dostarczyć wiele informacji na temat samego urządzenia mobilnego, jak i interfejsu OBD, co widać na rysunku 4.9.

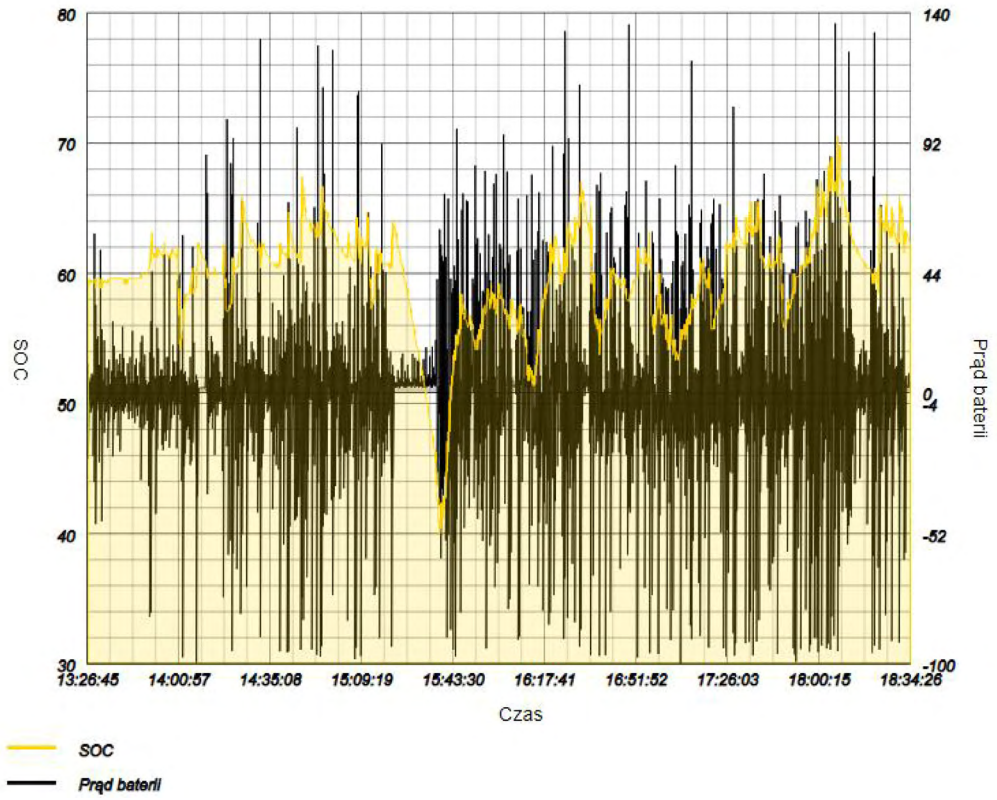
Telefon	
Producent	Xiaomi
Model	Redmi 4X
Produkt	santoni
Android SDK	25
Hostname	Redmi
Ekran	720x1280
Skala	2

OBD	
Rodzaj połączenia	Bluetooth
Model	Vgate iCar 1/G-EZTB-OBDDROID Goliton POWER2
MAC Address	00:1D:A5:1E:72:1B
Nazwa	ELM327 v2.1
Producent	OBDII to RS232 Interpreter
Firmware	?

Prób na sekundę	
Średnia	13
Start	20
Koniec	1
Delta	-19
Min	0
Max	24

Rys. 4.9. Dane wtyczki OBD i urządzenia mobilnego.

Na rysunku 4.10 przedstawiono przebieg w czasie stanu naładowania baterii SOC (*State Of Charge*) oraz prądu ładowania oraz rozładowywania baterii. Wartościami dodatnimi oznaczono pobór prądu, zaś ujemnymi prąd ładowania baterii podczas hamowania odzyskowego.



Rys. 4.10. SOC i prąd baterii.

Podczas testu średni stan naładowania baterii trakcyjnej SOC wynosił 59,8%. Twórcy aplikacji dokonują dokładnych obliczeń statystycznych, które przedstawiono na rysunku 4.11.

SOC	
Średnia	59.80%
Start	59.61%
Koniec	62.35%
Delta	2.75%
Min	40.00%
Max	70.59%
Odchylenie standardowe	4.05%

Wariacje	
Różnica w stosunku do optimum	-0.20%
SOC zyskał z hamowania	138.82%
SOC zyskał dzięki wybiegowi	96.47%
Łącznie SOC zyskał	235.29%
SOC naliczane przez ICE	69.80%

Rys. 4.11. Statystyka SOC.

Z danych przedstawionych na rysunku 4.12 wynika, że bateria trakcyjna pracuje na wysokim napięciu wynoszącym prawie 270 V. Bateria jest w stanie oddać i przyjąć moc wynoszącą ok. 65 kW. W czasie jazdy testowej z baterii pobrano energię wynoszącą prawie 6 kWh. Całkowita energia dostarczona do baterii jest większa niż pobrana i wyniosła 6,7 kWh.

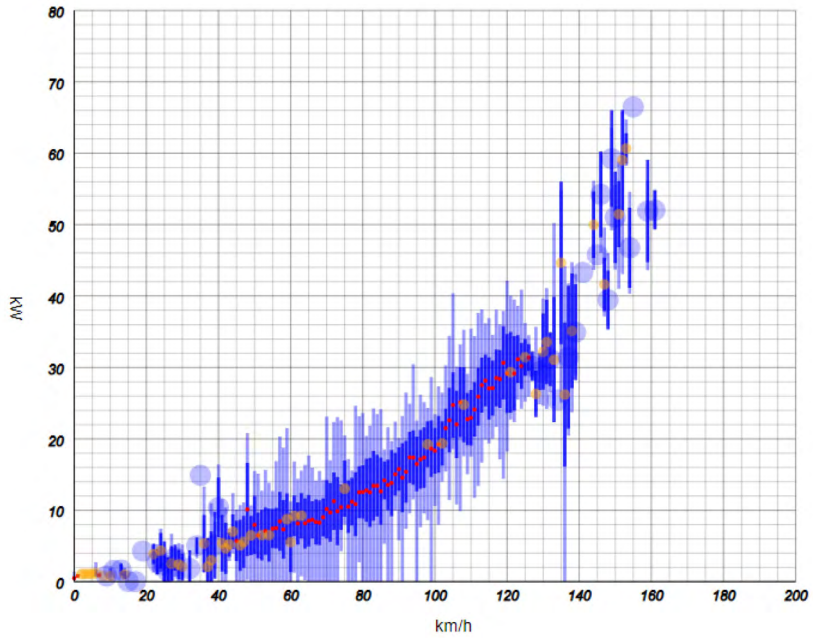
Poziomy		
	obecny	Napięcie
Średnia	-0.10 A	229.60 V
Min	-100.07 A	0.00 V
Max	136.13 A	267.00 V

Moc			
	Moc	Limit ładowania	Granica rozładowania
Średnia	-0.141 kW	-25.013 kW	20.972 kW
Start	0.666 kW	-25.000 kW	21.000 kW
Koniec	0.342 kW	-25.000 kW	21.000 kW
Min	-26.325 kW	-64.000 kW	-63.500 kW
Max	27.132 kW	-25.000 kW	21.000 kW

Energia	
Całkowita energia z baterii	5.946 kWh
Całkowita energia do baterii	6.708 kWh
Bilans energetyczny baterii	0.762 kWh
Średnie zużycie	0.623 kW

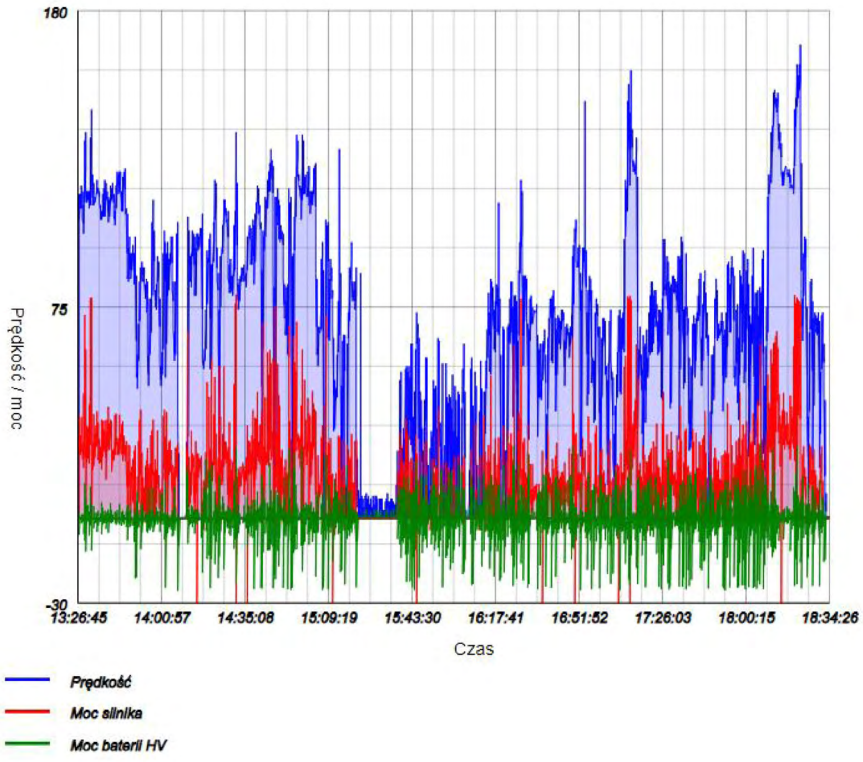
Rys. 4.12. Statystyki baterii HV.

Bardzo interesujące dane zostały wygenerowane automatycznie i przedstawione na rysunku 4.13. Widać na nim zależność średniego zużycia energii od prędkości jazdy. Kompaktowe auto, jakim jest toyota auris do jazdy miejskiej z prędkością 50 km/h potrzebuje ok. 7,5 kW mocy. Jednak do pokonania zwiększonych oporów powietrza przy prędkości autostradowej (140 km/h) potrzebuje już ok. 35 kW mocy. Podczas testu osiągnięto prędkość maksymalną 168 km/h z zapotrzebowaniem ponad 60 kW.



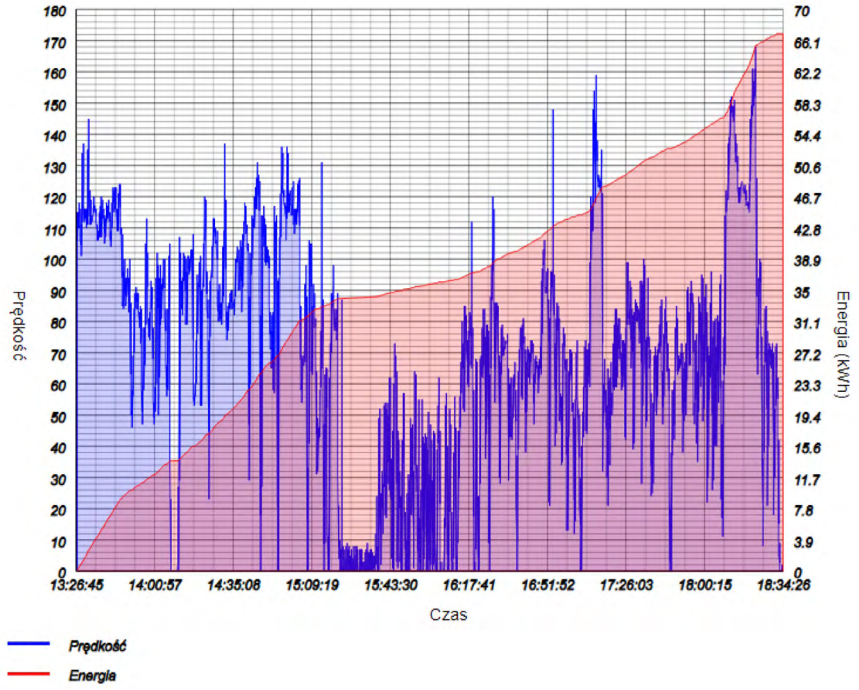
Rys. 4.13. Średnie zużycie energii.

Na rysunku 4.14 przedstawiono dystrybucję mocy w napędzie hybrydowym. Do napędu pojazdu moc jest pobierana z silnika spalinowego i z baterii wysokiego napięcia HV (*High Voltage*).



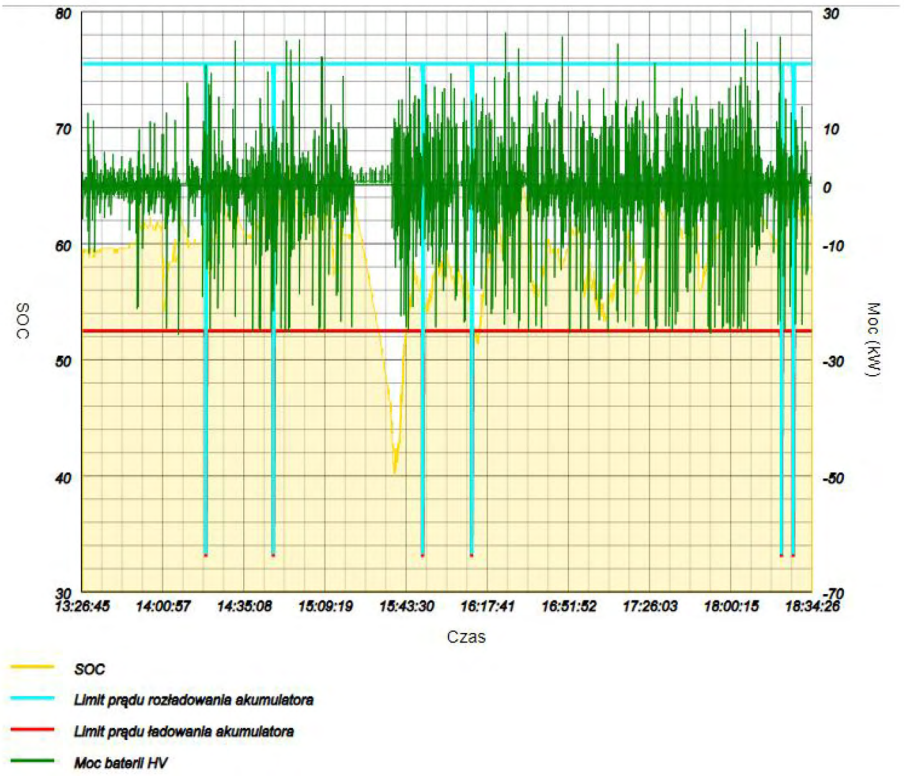
Rys. 4.14. Dystrybucja mocy.

Na rysunku 4.15 przedstawiony został bilans energetyczny z całej jazdy. Można zobaczyć, że jazda wymagała dostarczenia energii całkowitej wynoszącej ponad 66 kWh.



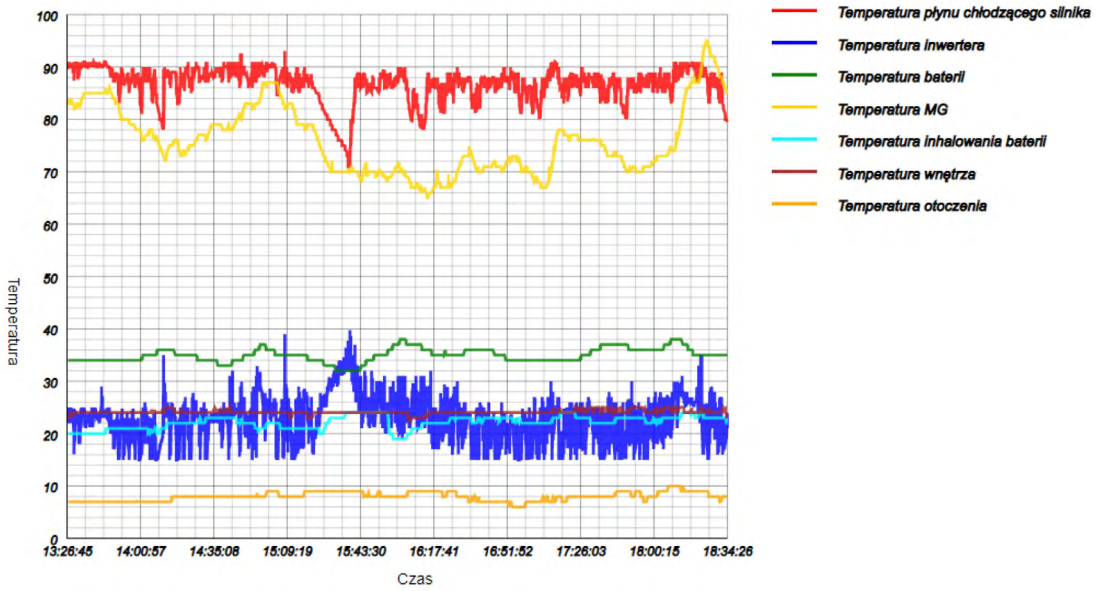
Rys. 4.15. Bilans energetyczny.

Raport obejmuje również mozliwość śledzenia i analizy bardziej zaawansowanych procedur sterowania systemem hybrydowym. Obejmuje on między innymi utrzymywanie limitów prądowych (rozładowania baterii), co widac na rysunku 4.16.



Rys. 4.16. SOC i limity prądowe.

Bardzo ważnym parametrem wpływającym na ilość zgromadzonej energii w bateriach trakcyjnych jest temperatura. Na rysunku 4.17 przedstawiono przebiegi temperatur w najważniejszych punktach systemu hybrydowego.



Rys. 4.17. Temperatura układu napędowego.

Temperatury można odczytać z wykresu (jak na powyższym rysunku) lub z tabel, jak na rysunku 4.18. Temperatura baterii trakcyjnej wynosi od 19 do 38°C.

Temperatura					
	Otoczenie	Wewnątrz	Płyn chłodzący	Inverter	MG
Średnia	8°C	24°C	86°C	23°C	75°C
Min	6°C	22°C	71°C	15°C	65°C
Max	10°C	25°C	93°C	41°C	95°C

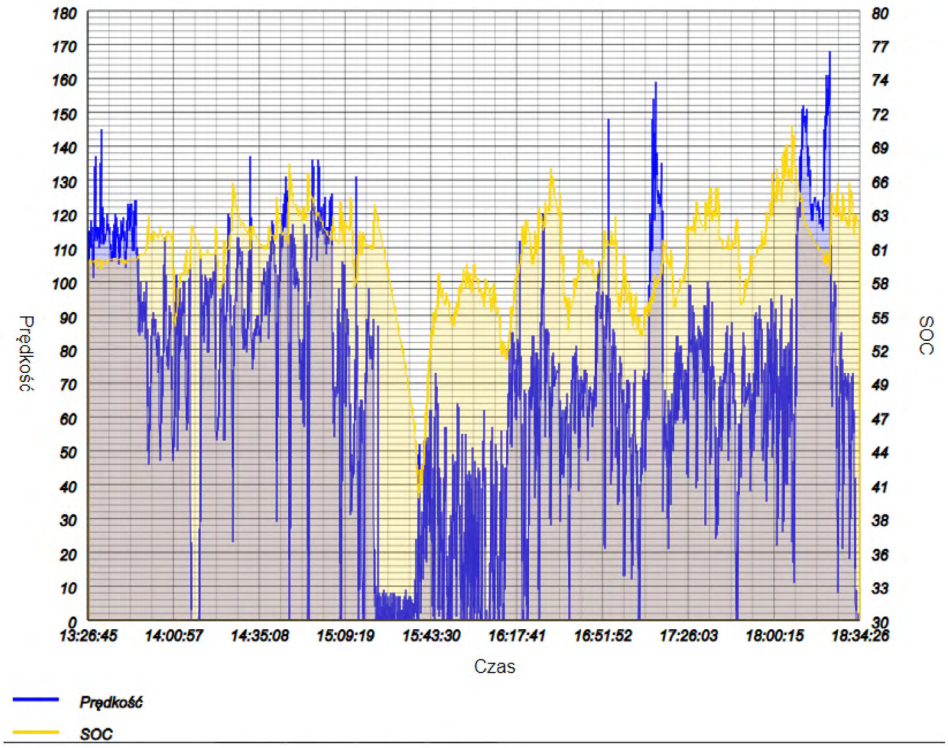
Czas osiągnięcia temperatury	
Temperatura płynu chłodzącego	Czas

Czujniki temperatury akumulatora HV				
Czujnik	W	1	2	3
% Max	-	10%	100%	0%
Max	24°C	38°C	38°C	36°C
Średnia	22°C	33°C	34°C	32°C
Min	19°C	30°C	32°C	30°C

Temperatury dla każdego komponentu samochodu.
Temperatura płynu chłodzącego silnika to temperatura wody, podczas gdy falownik i MG to rzeczywista temperatura podzespołów.
Dla falowników i MG pokazano tylko najbardziej znaczącą wartość spośród wszystkich komponentów.
Bateria HV ma wiele czujników: zazwyczaj te wewnętrzne są wyższe niż te zewnętrzne. % Max pokazuje procentowy czas, w którym określony czujnik był najwyższy z pakietu

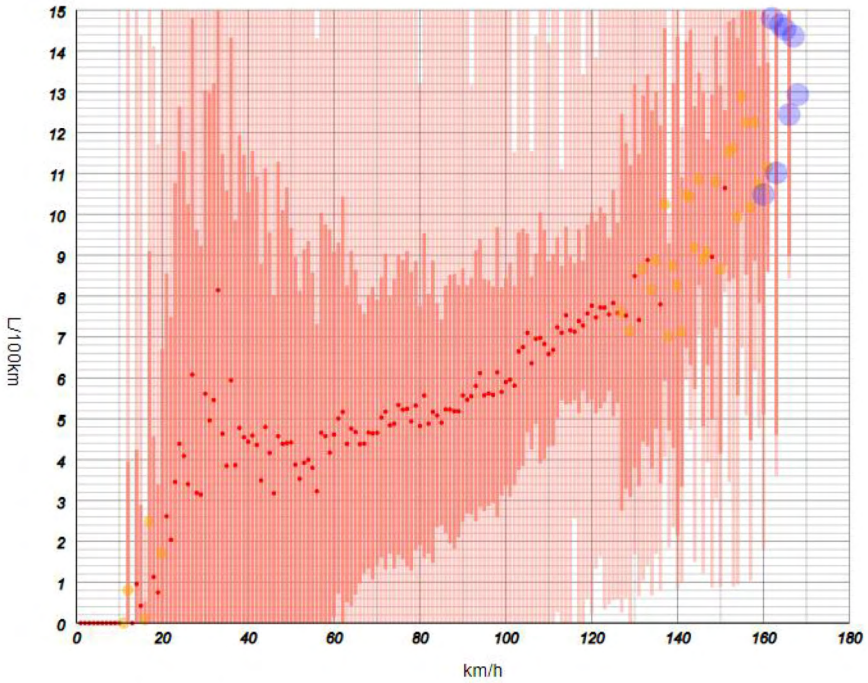
Rys. 4.18. Temperatury układu napędowego.

Na rysunku 4.19 przedstawiono przebieg SOC i prędkości jazdy w funkcji czasu.



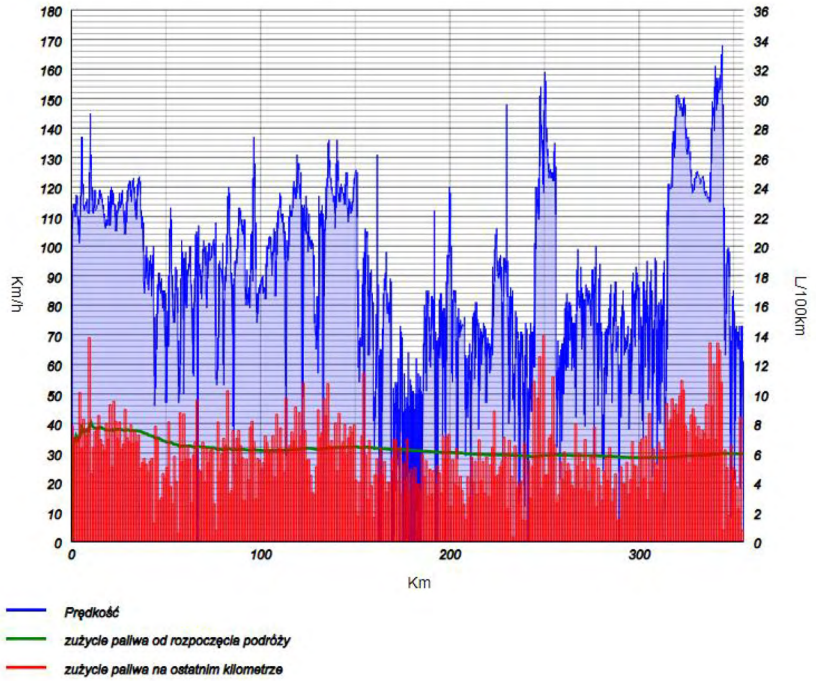
Rys. 4.19. Prędkość i SOC w funkcji czasu.

Aplikacja generuje również raporty dotyczące zużycia paliwa przez silnik spalinowy. Mapa zużycia paliwa w funkcji prędkości jazdy została przedstawiona na rysunku 4.20. Kompaktowe auto, jakim jest toyota auris, podczas jazdy miejskiej z prędkością 50 km/h zużywa ok. 4 l/100 km. Jednak do pokonania zwiększonych oporów powietrza przy prędkości autostradowej (140 km/h) potrzebuje już ok. 9 l/100 km. Podczas testu osiągnięto prędkość maksymalną 168 km/h z chwilowym zużyciem wynoszącym ponad 13 l/100 km.



Rys. 4.20. Mapa zużycia paliwa w funkcji prędkości jazdy.

Komputer pokładowy systemu hybrydowego oblicza średnie zużycie paliwa od czasu rozpoczęcia podróży oraz zużycie paliwa na ostatnim kilometrze, co widać na rysunku 4.21.



Rys. 4.21. Zużycie paliwa.

Podczas całej jazdy silnik benzynowy dostarczył prawie 68 kWh energii. Średnie zużycie energii wyniosło 18,87 kWh/100 km, jak to pokazano na rysunku 4.22.

Energia	
Energia z silnika benzynowego	67.77 kWh
Zużycie energii	18.87 kWh/100km
Zużycie paliwa	5.924 L/100km
Zużycie paliwa	21.040 L

Rys. 4.22. Energia z silnika benzynowego.

Statystyka obejmuje również czas jazdy na silniku spalinowym oraz czas jazdy na silniku elektrycznym, co przedstawiono na rysunku 4.23.

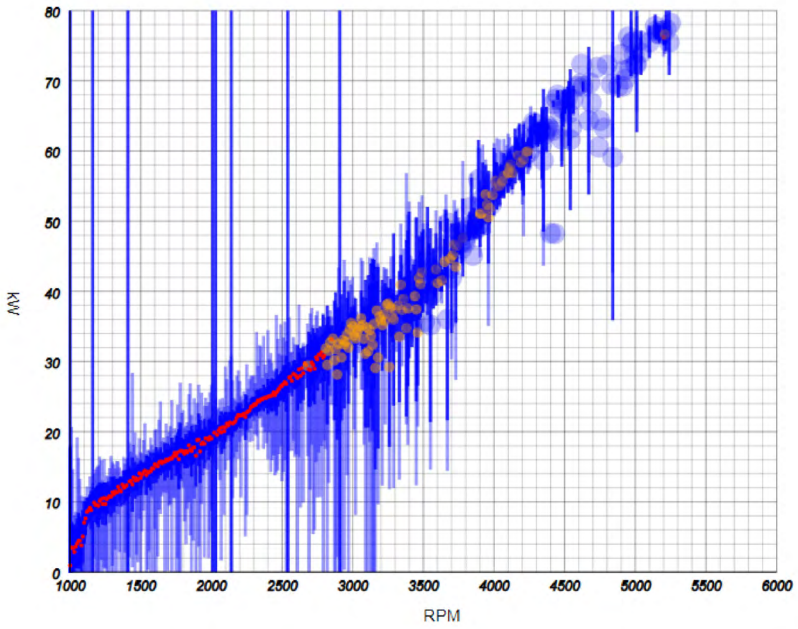
Silnik		
Stan	**%**	**Najdłuższy czas**
ICE uruchomiony	71%	23:33 sec
ICE szybka jazda	5%	0:30 sec
ICE wyłączony	33%	16:51 sec

Statystyki EV	
Długość podróży	355.14 km
Zakres EV	39.29 km
Nadmierne zdarzenia EV	241

Stany EV		
Stan	**%**	**Najdłuższy czas**
EV	29%	16:51 sec
Trakcja EV	10%	0:47 sec
Nadmierny EV	5%	0:31 sec

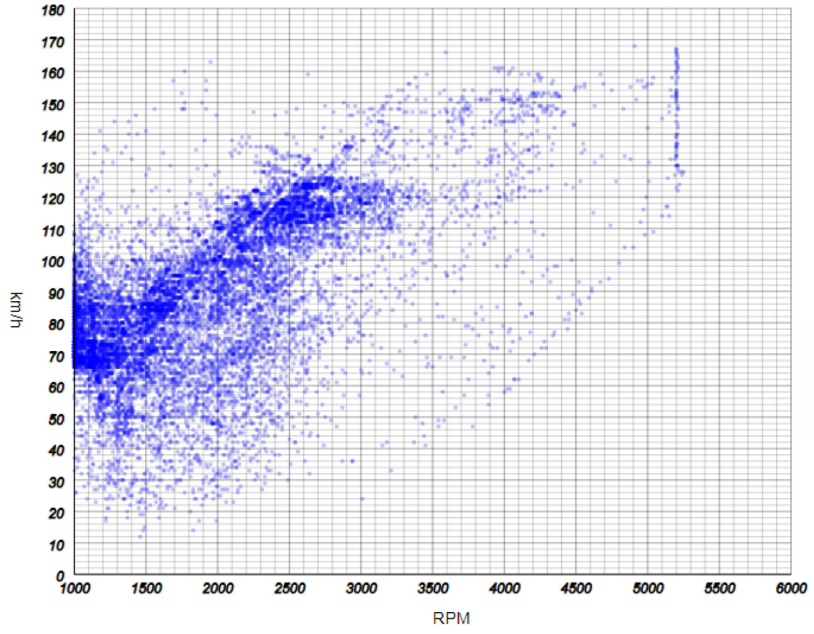
Rys. 4.23. Tryby jazdy.

Program jest również w stanie narysować przebieg mocy silnika spalinowego w funkcji prędkości obrotowej silnika (rysunek 4.24). Dane te potwierdzają wartości podawane przez producenta.



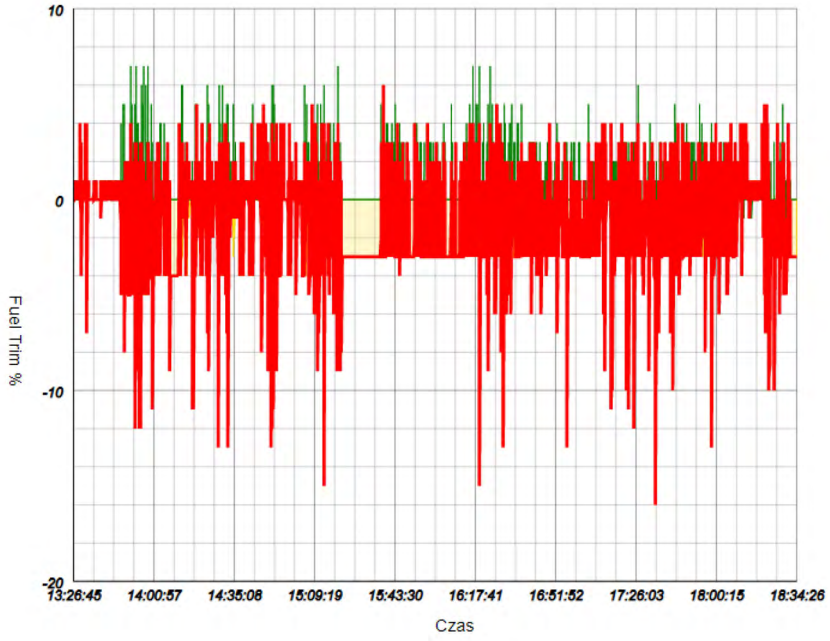
Rys. 4.24. Mapa mocy.

Na rysunku 4.25 przedstawiono rozrzut prędkości obrotowej silnika spalinowego od prędkości jazdy.



Rys. 4.25. Wykres rozrzutu obrotów.

Poprawność działania układu paliwowego może być oceniona za pomocą korekt czasu wtrysku paliwa. Jeśli mieszczą się one w granicach ± 10% oznacza to prawidłową pracę silnika, jak na rysunku 4.26.



Rys. 4.26. Przebieg korekt wtrysku paliwa.

4.3.4. Test baterii trakcyjnych

Ważnym komponentem systemu hybrydowego jest litowo-jonowa bateria trakcyjna. Pakiet baterii składa się z 14 bloków. Użytkownikom powinno zależeć na utrzymaniu w dobrym stanie baterii w jak najdłuższym czasie. Dla zweryfikowania poprawności pracy baterii można wykonać okresowy test (HV Check). Test taki trwa ok. 22 minut i jest w stanie dać odpowiedź o stanie baterii w pojeździe (rysunek 4.27).

Wysokie napięcie akumulatora

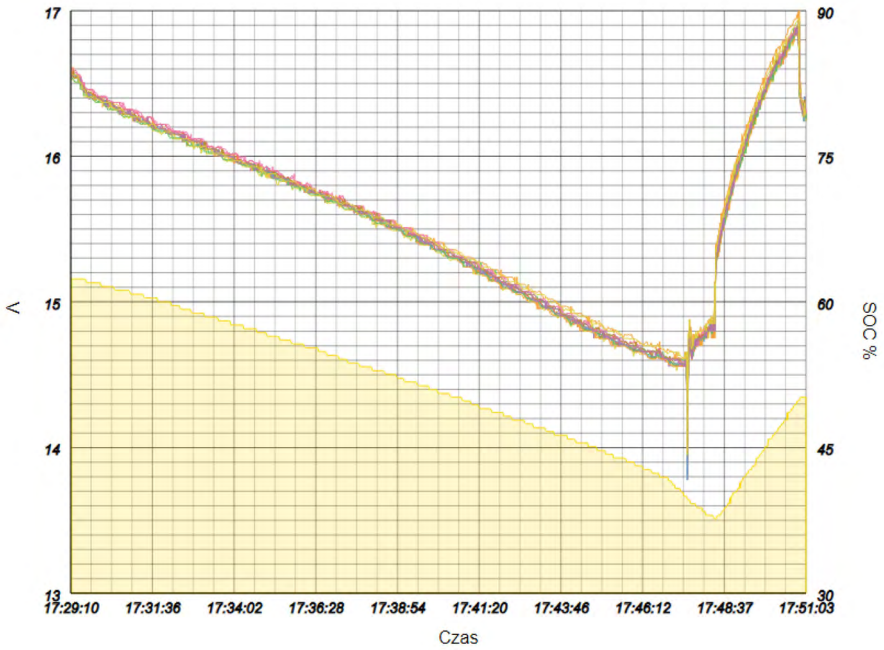
Pamiętaj, aby postępować zgodnie z wytycznymiHV Checkjak określono na oficjalnej stronie internetowej.

Note: Statistics from this paragraph are limited to the HV Check time span, not the whole trip

HV akumulator	
Liczba bloków	14
Liczba przykładów	2093
Średni czas próby	0.63
Godzina startu	26/11/2018 17:29:10
Godzina zakończenia	26/11/2018 17:51:03
Trwanie	21:53

Rys. 4.27. Próba baterii.

Test sprawdzający obejmuje rozładowanie i ponowne naładowanie baterii w określonym zakresie, jak to przedstawiono na rysunku 4.28.



Rys. 4.28. Napięcia każdego bloku baterii.

Podczas testu mierzymy wartość napięcia każdego bloku baterii. Blok zachowujący się inaczej od innych może wskazywać na zdegradowany element, który wpływa negatywnie na osiągi całego systemu (rysunek 4.29). Niektóre wartości min. i max zaznaczono na żółto. Oznacza to konieczność przeprowadzenia balansowania napięcia w baterii.

Definiuje się wartości napięcia minimalnego, maksymalnego i średniego.
Średnia wartość powinna być w połowie drogi między minimalną a maksymalną; odchylenie o jedną wartość może wskazywać na niezrównoważoną baterię.
Napięcie delta między najwyższym i najniższym blokiem jest również naniesione na dół wykresu.

Blokuje statystyki						
Zablokowane	Min	Max	% Czas @ Min. V	Średnie Bias	Max. Bias	Średnia Delta Lokalna
1	13.92	17.00	0.00	0.01	0.52	0.07
2	13.92	16.93	0.00	0.04	0.52	0.06
3	14.36	16.93	0.00	0.02	0.13	0.06
4	14.34	16.90	0.00	0.05	0.15	0.05
5	14.09	16.88	0.05	0.06	0.35	0.03
6	14.09	16.88	0.05	0.07	0.35	0.05
7	13.78	16.90	0.05	0.04	0.66	0.05
8	13.78	16.90	0.05	0.06	0.66	0.03
9	14.04	16.88	0.00	0.07	0.40	0.03
10	14.04	16.89	0.00	0.07	0.40	0.05
11	14.41	16.90	0.00	0.03	0.13	0.05
12	14.44	16.90	0.00	0.04	0.13	0.03
13	13.97	16.90	0.00	0.05	0.47	0.04
14	13.95	16.95	0.00	0.02	0.49	0.06

Rys. 4.29. Statystyki bloków baterii.

Statystyka dla każdego modułu baterii jest bardzo szczegółowa i obejmuje (rysunek 4.30):

- Min. minimalna obserwowana wartość.
- Max: maksymalna obserwowana wartość.
- % Czas @ Min. V: procentowa wartość danego modułu była najniższa z całej baterii; wysokie wartości mogą wskazywać na uszkodzony moduł.
- Różnica pomiędzy napięciem przedmiotowego modułu a modułem o największym napięciu.
- Lokalna Delta: o ile napięcie przedmiotowego modułu różni się od napięcia bezpośrednich sąsiadów.

Globalne statystyki	
Minimalne zaobserwowane napięcie akumulatora	197 V
Maksymalne zaobserwowane napięcie akumulatora	237 V
Minimalne zaobserwowane napięcie bloku	13.78 V
Maksymalne zaobserwowane napięcie bloku	17.00 V
Maksymalna Delta	0.66 V
Średnia Delta	0.08 V
Minimalny obserwowany prąd	-26.14 A
Maksymalny obserwowany prąd	9.28 A
Minimalne zaobserwowane SOC	37.6%
Maksymalne zaobserwowane SOC	62.4%
Delta SOC	24.7%
Energia	1.33Ah
Szacowana przepustowość	5.85Ah

Progi Delta	
Próg	Kolejne próbki
0.2	2
0.45	1
0.7	0
0.95	0
1.2	0

Rys. 4.30. Różnice w napięciu modułów baterii.

Maksymalna wartość delta między najwyższym i najniższym napięciem modułu jest najważniejszym parametrem dla stanu baterii: wysokie wartości delta sugerują zmęczoną baterię. Wartości delta są znaczące tylko wtedy, gdy są powtarzane przez długi czas: tabela zlicza kolejne próbki, w których wartość delta przekracza wskazany próg. Niskie liczby występowania tego symptomu nie są oznaką błędu, ale wysokie już mogą być. Przeprowadzony test wykazał, że bateria jest w dobrej kondycji, ale wymaga przeprowadzenia balansowania napięcia poszczególnych bloków.

4.4. Pytania testowe

1. Pojazd hybrydowy:
   a. Oznacza pojazd posiadający dwa źródła napędu.
   b. Oznacza pojazd posiadający dwa zbiorniki na różne paliwa.
   c. Odnosi się tylko do pojazdów marki Toyota (znak zastrzeżony).
2. Hybryda plug-in posiada możliwość:
   a. Jazdy tylko na napędzie elektrycznym.
   b. Ładowania baterii ze źródeł zewnętrznych prądu.
   c. Odzysku energii hamowania.
3. Pierwszym produkowanym na masową skalę pojazdem hybrydowym była:
   a. Toyota prius.
   b. Honda accord.
   c. Tesla model S.
4. Silnik spalinowy w hybrydowych toyotach pracuje w cyklu:
   a. Otto.
   b. Atkinsona.
   c. Mieszanym Otto i Diesla.
5. Pojazdy hybrydowe posiadają zazwyczaj baterie trakcyjne o pojemności energetycznej:
   a. 0–1 kWh.
   b. 2–10 kWh.
   c. 50–100 kWh.
6. Hybrydowe układy napędowe marki Toyota są produkowane w:
   a. Japonii.
   b. Polsce.
   c. Niemczech.
7. Fabryka hybrydowych układów napędowych marki Toyota w Polsce mieści się w:
   a. Gliwicach.
   b. Wałbrzychu.
   c. Lublinie.
8. Silnik spalinowy pracujący w cyklu Atkinsona w porównaniu z cyklem Otto charakteryzuje się:
   a. Większą mocą.
   b. Mniejszą mocą.
   c. Większym spalaniem.
9. Silnik spalinowy pracujący w cyklu Atkinsona w porównaniu z cyklem Otto charakteryzuje się:
   a. Większą mocą.
   b. Większą sprawnością.
   c. Mniejszą sprawnością.

10. Z zalet pojazdów hybrydowych można w pełni skorzystać podczas jazdy:
    a. W mieście.
    b. Na autostradzie.
    c. W terenie.

11. Odzysk energii hamowania przez układy hybrydowe:
    a. Stanowi istotny czynnik ekonomii jazdy zwłaszcza w mieście.
    b. Jest nieistotnym bajerem.
    c. Ważny jest podczas jazdy autostradą.

12. Software OBD dla pojazdów marki Toyota nosi nazwę:
    a. Hybrid Assist.
    b. Torque pro.
    c. Toyota CAN OBD.

13. Do komunikacji z gniazdem OBD software Hybrid Assist potrzebuje:
    a. Przewodu USB.
    b. Interfejsu diagnostycznego ELM 327.
    c. Łączności Bluetooth.

14. Hybrydowa toyota prius I generacji wykorzystuje silnik spalinowy o pojemności:
    a. 1300 $cm^{3.}$
    b. 1500 $cm^{3.}$
    c. 1800 cm^{3}.

15. Hybrydowa toyota prius II generacji wykorzystuje silnik spalinowy o pojemności:
    a. 1300 cm^{3}.
    b. 1500 cm^{3}.
    c. 1800 cm^{3}.

16. Hybrydowa toyota prius III generacji wykorzystuje silnik spalinowy o pojemności:
    a. 1300 cm^{3}.
    b. 1500 cm^{3}.
    c. 1800 cm^{3}.

17. Hybrydowa toyota prius IV generacji wykorzystywała silnik spalinowy o pojemności:
    a. 1300 cm^{3}.
    b. 1500 cm^{3}.
    c. 1800 cm^{3}.

18. Podstawową jednostką napędową hybrydowej toyoty auris jest silnik spalinowy:
    a. Turbodoładowane 1.8 VVT-i o mocy 150 KM.
    b. Wolnossące 1.8 VVT-i o mocy 99 KM.
    c. Valvematic 1.8 150 KM.

19. Układy hybrydowe Toyoty posiadają:
    a. Jeden silnik elektryczny i jeden spalinowy.
    b. Dwa silniki elektryczne (główny i pomocniczy) oraz silnik spalinowy.
    c. Dwa silniki spalinowe.

20. Silnik elektryczny pomocniczy w układach hybrydowych Toyoty odpowiada za:
    a. Rozruch silnika spalinowego oraz pełni funkcję alternatora ładującego baterie.
    b. Jazdę w trybie w pełni elektrycznym.
    c. Wspomaganie silnika spalinowego podczas intensywnego przyspieszania.

21. Silnik elektryczny główny w układach hybrydowych Toyoty odpowiada za:
    a. Rozruch silnika spalinowego.
    b. Pełni funkcję alternatora ładującego baterie.
    c. Wspomaganie silnika spalinowego podczas intensywnego przyspieszania.

22. Za odzysk energii hamowania w układach hybrydowych Toyoty odpowiada:
    a. Silnik elektryczny główny.
    b. Silnik elektryczny pomocniczy.
    c. Obydwa silniki elektryczne.

23. Za jazdę do tyłu w układach hybrydowych Toyoty odpowiada:
    a. Silnik elektryczny główny.
    b. Silnik elektryczny pomocniczy.
    c. Obydwa silniki elektryczne.

24. Pojazdy hybrydowe Toyoty można rozpoznać po:
    a. Napisie Hybrid Clean Power na klapie bagażnika.
    b. Napisie Hybrid na przednich błotnikach i klapie bagażnika oraz niebieskim wypełnieniu logo marki.
    c. Nie różnią się wizualnie niczym od pojazdów spalinowych.

25. Interfejs diagnostyczny OBD ELM 327 umożliwia:
    a. Wybór trybu jazdy ECO, NORMAL, SPORT.
    b. Monitorowanie parametrów pracy silnika w czasie rzeczywistym – LIVE DATA.
    c. Włączanie i wyłączanie hamowania odzyskowego.

26. Średnie zużycie paliwa przez pojazd hybrydowy w porównaniu z jego odpowiednikiem spalinowym w warunkach jazdy miejskiej jest:
    a. Mniejsze.
    b. Takie samo.
    c. Większe.

27. Średnie zużycie paliwa przez pojazd hybrydowy w porównaniu z jego odpowiednikiem spalinowym w warunkach jazdy autostradą jest:
    a. Mniejsze.
    b. Takie samo.
    c. Większe.

28. Zużycie klocków hamulcowych w pojeździe hybrydowym w porównaniu z jego odpowiednikiem spalinowym jest:
    a. Mniejsze.
    b. Takie samo.
    c. Większe.

29. Skrót SoC oznacza:
    a. Stan naładowania baterii (*State of Charge*).
    b. Stan rozładowania baterii.
    c. Ilość energii zgromadzonej w baterii wyrażonej w kWh.

30. Bateria hybrydowej toyoty auris pracuje na wysokim napięciu wynoszącym:
    a. Ok. 270 V.
    b. Ok. 500 V.
    c. Ok. 700 V.

31. Toyota auris do jazdy miejskiej z prędkością 50 km/h potrzebuje mocy:
    a. Ok. 7,5 kW.
    b. Ok. 35 kW.
    c. Ok. 60 kW.

32. Toyota auris do jazdy autostradowej z prędkością 140 km/h potrzebuje mocy:
    a. Ok. 7,5 kW.
    b. Ok. 35 kW.
    c. Ok. 60 kW.

33. Toyota auris do jazdy autostradowej z prędkością 168 km/h potrzebuje mocy:
    a. Ok. 7,5 kW.
    b. Ok. 35 kW.
    c. Ok. 60 kW.

34. Przejechanie dystansu 350 km pojazdem hybrydowym wymaga dostarczenia całkowitej energii wynoszącej:
    a. Ok. 30 kWh.
    b. Ok. 60 kWh.
    c. Ok. 100 kWh.

35. Battery Management System w pojeździe hybrydowym:
    a. Ma za zadanie zarządzanie pracą baterii trakcyjnej.
    b. Pełni rolę elektronicznej jednostki sterującej układu hybrydowego.
    c. Jest to inna nazwa Toyota Hybrid Synergy Drive.

36. W baterii trakcyjnej pojazdu hybrydowego system BMS monitoruje:
    a. Napięcie i temperaturę wszystkich modułów baterii.
    b. Napięcie i temperaturę wszystkich cel baterii.
    c. Napięcie i ciśnienie wszystkich modułów baterii.

37. Poprawność działania układu paliwowego silnika spalinowego może być oceniona za pomocą:
    a. Korekt czasu wtrysku paliwa.
    b. Podciśnienia w kolektorze dolotowym.
    c. Sondy lambda.

38. Pakiet baterii trakcyjnej hybrydowej toyoty auris składa się z:

a. 5 modułów.
b. 14 modułów.
c. 55 modułów.

39. Test baterii trakcyjnych w pojeździe hybrydowym obejmuje:

a. Pełne rozładowanie baterii.
b. Rozładowanie i ponowne naładowanie baterii w określonym zakresie.
c. Pełne naładowanie baterii.

40. O dobrej kondycji baterii trakcyjnej w układzie hybrydowym świadczą:

a. Małe różnice w napięciu poszczególnych modułów.
b. Duże różnice w napięciu poszczególnych modułów.
c. Brak dotychczasowych problemów z baterią.

4.5. Ćwiczenia wraz z instrukcją

4.5.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj analizy hybrydowego układu napędowego w wybranym modelu pojazdu.

Analiza powinna zawierać:
- Krótki opis pojazdu.
- Rodzaj i charakterystykę użytego silnika spalinowego.
- Rodzaj i charakterystykę użytego silnika elektrycznego.
- Schemat i sposób działania poszczególnych źródeł napędu.

.....

.....

.....

4.5.2. Ćwiczenie 2

Wykonaj badania drogowe pojazdu hybrydowego wraz z archiwizacją danych pomiarowych na dysku komputera lub w chmurze.

Badania powinny obejmować:
- Dobór pojazdu hybrydowego.
- Dobór modułu komunikacyjnego z systemem OBD i sposobu transmisji.
- Dobór oprogramowania do komunikacji z pojazdem hybrydowym.
- Wykonanie jazdy drogowej wraz z zapisem danych.
- Analiza danych za pomocą platformy internetowej lub specjalistycznego oprogramowania.

.....

.....

.....

4.5.3. Ćwiczenie 3

Dokonaj porównania klasycznego napędu hybrydowego spalinowo-elektrycznego z systemem hybrydowym typu plug-in.

.....

.....

.....

4.5.4. Ćwiczenie 4

Zaprojektuj hybrydowy układ napędowy dla autobusu miejskiego z napędem spalinowo-elektrycznym.

Projekt powinien zawierać:

- Wstępne określenie wielkości silnika spalinowego i elektrycznego, napięcia działania oraz sposobu ładowania baterii.
- Wybór silnika spalinowego i jego producenta.
- Wybór silnika elektrycznego i jego producenta.
- Wybór pakietu bateryjnego i jego producenta.
- Określenie miejsca umieszczenia komponentów w pojeździe.

.....

.....

.....

4.5.5. Ćwiczenie 5

Dokonaj złożenia w programie do modelowania 3D hybrydowego układu napędowego opartego na silniku spalinowym i silniku elektrycznym.

Praca powinna zawierać:

- Odnalezienie w bibliotece modeli 3D producenta silników spalinowych wybranego modelu i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Odnalezienie w bibliotece modeli 3D producenta silników elektrycznych wybranego modelu i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Odnalezienie w bibliotece modeli 3D producenta modułów baterii litowo-jonowych wybranego modelu i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Dobór gniazda ładowania baterii (typ 2 lub CCS) i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp w przypadku hybrydy plug-in
- Dokonanie złożenia wszystkich komponentów.

.....

.....

.....

5. Systemy ładowania baterii trakcyjnych w pojazdach elektrycznych i hybrydowych

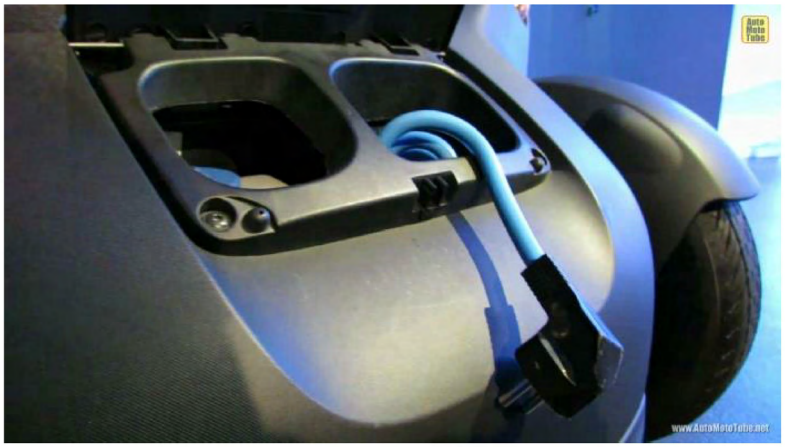
5.1. Typy wtyczek

W ciągu ostatnich kilku lat doszło do ustalenia pewnych standardów ładowania pojazdów elektrycznych. Standardy dotyczą zarówno samych ładowarek, jak i wtyczek. W podrozdziale tym dokonano usystematyzowania wiedzy w obszarze wtyczek ładowania pojazdów elektrycznych zarówno na prąd zmienny, jak i stały (patrz rysunek 5.1).

Rys. 5.1. Różne standardy i wtyczki ładowania pojazdów elektrycznych [7].

5.1.1. AC 230 V

Rodzaje wtyczek wynikają ze standardów sieci elektrycznej dostępnej w danym kraju. W Europie i w Polsce najpowszechniejsze są gniazda jednofazowe 230 V. Niektóre pojazdy posiadają wprost przewód z taką wtyczką. Przykładem jest opisany w poprzednim rozdziale renault twizy, którego przewód ładowania pokazano na rysunku 5.2. Oczywiście taki standard ładowania wymaga posiadania przez pojazd ładowarki pokładowej, umożliwiającej zamianę prądu przemiennego AC 230 V na prąd stały DC potrzebny do zasilenia baterii pojazdu elektrycznego. W przypadku renaulta twizy jest to napięcie stałe DC 57 V.



Rys. 5.2. Przewód ładowania z wtyczką 230 V.

Zaletą takiego systemu poboru energii elektrycznej jest powszechna dostępność (rysunek 5.3). Wadą takiego systemu jest ograniczona moc pobieranego prądu, która zazwyczaj wynosi 3,6 kW i wynika z maksymalnego prądu, jaki może być przesyłany.

Rys. 5.3. Gniazdko jednofazowe 230 V.

5.1.2. AC 230 V typ 1

AC 230 V typ 1 – czyli wtyczka i port zgodny ze standardem SAE J1772, stosowany głównie w Japonii i Stanach Zjednoczonych (rysunek 5.4). Wersja standardowa obsługuje wolne ładowanie (do 7,4 kW, poziom 1 lub 2) i instalacje elektryczne jednofazowe. Z złącza typu 1 korzystają lub korzystali m.in. Ford (elektryczny focus), Nissan (leaf, elektryczny NV200), Renault (elektryczne wersje kangoo czy fluence). W krajach europejskich już prawie wycofano ten standard.

Rys. 5.4. Standard ładowania typ 1 [7].

5.1.3. AC 400 V typ 2

Popularny w Europie standard AC 400 V typ 2 został rozwinięty przez niemiecką firmę Mennekes (VDE-AR-E 2623-2-2) (rysunek 5.5). Jest dedykowany do instalacji jedno- lub trójfazowych i pozwala na szybsze ładowanie samochodu z wykorzystaniem AC (3,6 kW na jednej fazie, do 44 kW na trzech fazach) [7]. Standard AC 400 V typ 2 wymaga od pojazdu posiadania pokładowej ładowarki zasilanej prądem przemiennym jedno- lub trójfazowym.

Rys. 5.5. Standard ładowania typ 2 [7].

5.1.4. DC 400 V typ 2 (supercharger Tesla)

Amerykańskie wersje Tesli korzystają z superchargerów z autorskimi złączami Tesli. Natomiast w przypadku europejskich modeli stosuje się nieco zmodyfikowany kabel typu 2 (przedstawiony na rysunku 5.6).

Rys. 5.6. Standard ładowania Tesla [106].

Zamiast zastosowanego w Ameryce Północnej dedykowanego złącza (do ładowania 1-fazowego oraz prądem stałym) Tesla zdecydowała się wykorzystać złącze kompatybilne ze standardem IEC 62196-2 Typ 2 (VDE-AR-E 2623-2-2). Nie jest to niestety standardowy port typ 2 spotykany w innych autach. Tesla Motors zaprojektowała wzmocnioną wersję portu i wtyczki typu 2. Została ona po prostu wykonana z lepszych i droższych materiałów w celu przekazywania większej mocy.

Jeśli dokonamy porównania parametrów pracy złącza typ 2 okazuje się, że bez stałoprądowego rozszerzenia Combo 2/CCS można przesyłać moc rzędu 43 kW (trójfazowo) lub 70 kW (prądem stałym). O ile moc trójfazowa jest akceptowalna, o tyle dla potrzeb amerykańskiego producenta, korzystającego w USA nawet ze 120 kW, moc 70 kW DC okazała się za niska. To było przyczyną podjęcia prac rozwojowych, które doprowadziły do modyfikacji standardu europejskiego.

Użycie coraz popularniejszego złącza typ 2 przez Teslę jest oczywiście doskonałym posunięciem, w wyniku którego pojazdy marki Tesla będą mogły w razie potrzeby korzystać z powszechnej już w niektórych krajach trójfazowej infrastruktury typ 2 oraz z superładowarek (Tesla supercharger) poprzez jedno i to samo złącze. W chwili obecnej Tesla model S w Europie posiada trójfazową ładowarkę pokładową o mocy około 10 kW lub opcjonalnie 20 kW.

5.1.5. DC 230 V CCS Combo 1

CCS Combo 1 oznacza standard ładowania zarówno prądem przemiennym, jak i stałym. Skrót CCS oznacza z ang. *Combined Charging System* – łączony system ładowania. Można zobaczyć w nim dobrze już znane złącze typu 1 rozbudowane o możliwość ładowania prądem stałym (2 dolne bolce na rysunku 5.7). Jednak, pomimo że jest to standard szybszy od typu 1 nie zyskał on popularności.

Rys. 5.7. Standard ładowania CCS Combo 1 [7].

5.1.6. DC 400 V CCS Combo 2

Skrót CCS oznacza z ang. *Combined Charging System* – łączony system ładowania. Można zobaczyć w nim dobrze już znane złącze typu 2 rozbudowane o możliwość ładowania prądem stałym (2 dolne bolce). Standard szybkiego (i nie tylko) ładowania wybrany przez większość europejskich i amerykańskich producentów samochodów. Łączy w sobie możliwość ładowania wolnego i szybszego prądem przemiennym, a także bardzo szybkiego prądem stałym (rysunek 5.8). Do tego likwiduje konieczność obecności dwóch gniazd ładowania w samochodzie.

Docelowo to właśnie ten system ma być stosowany na europejskich stacjach ultraszybkiego ładowania 350 kW.

Istnieje również amerykańska wersja systemu CCS, oparta na typie 1 (wcześniejszy opis). Obydwie wersje nazwane są również COMBO 1 (dla Stanów Zjednoczonych) i COMBO 2 (dla Europy).

Rozwiązanie to wybrało BMW oraz pojazdy elektryczne grupy VW.

Rys. 5.8. Standard ładowania CCS Combo 2 [7].

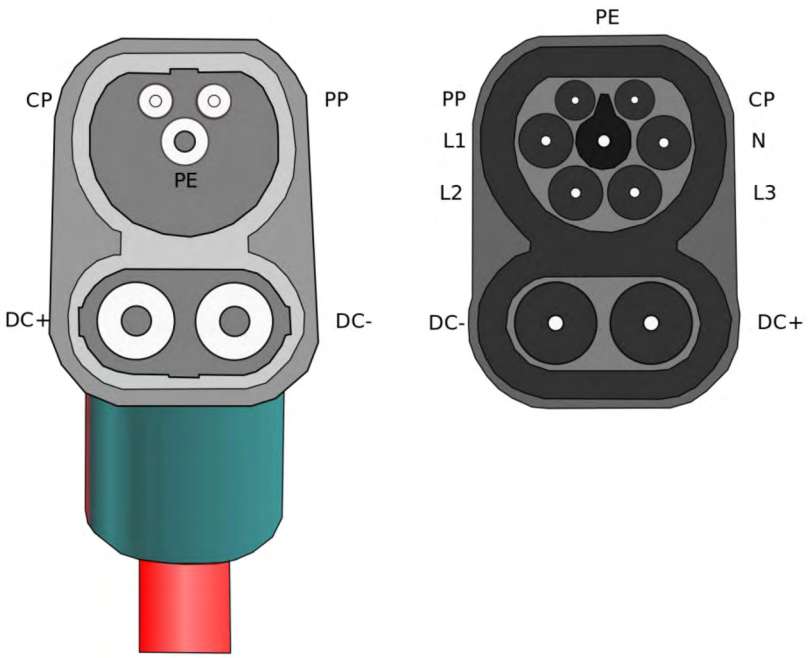
5.1.7. DC 400 V Chademo

Standard Chademo (przedstawiony na rysunku 5.9) został wybrany przez większość azjatyckich producentów samochodów elektrycznych. Tym standardem szybkiego ładowania można naładować m.in. nissana leaf i NV-200, hybrydowe mitsubishi outlander, toyotę IQ czy peugeota iOn. Skrót Chademo pochodzi od słów *charge de move*, co tłumaczy się z języka angielskiego „poruszaj się ładując" i jest także pewną grą słów, odnoszącą się do japońskiego stwierdzenia *o cha demo ikaga desuka*, które z kolei oznacza „napijmy się herbaty". Przyjęło się powszechne użycie tego sformułowania, ponieważ ładowanie baterii trwa mniej więcej tyle, co zaparzenie i wypicie tego napoju. Ładowarki pracujące z końcówkami Chademo posiadają maksymalną moc ponad 60 kW przy napięciu 450 V.

Rys. 5.9. Standard ładowania Chademo [7].

5.1.8. DC 700 V CCS Combo 2

W pojazdach elektrycznych producenci stosują baterie o coraz większej pojemności energetycznej. Ma to na celu uzyskanie większego zasięgu na jednym ładowaniu. Większość elektrycznych aut osobowych pracuje na napięciu ok. 400 V. Jest to za niskie napięcie w celu szybkiego ładowania na przykład baterii autobusu elektrycznego o pojemności ponad 200 kWh. Przy dużych mocach ładowania występowałyby duże prądy. Przy zachowaniu tej samej mocy i zwiększeniu napięcia do 700 V można dwukrotnie zmniejszyć prąd. A to wpływa na mniejszą grubość przewodów elektrycznych i koszty instalacji elektrycznej. Dlatego system CCS zmodyfikowano do przenoszenia wyższych napięć i większej mocy. Rozkład pinów we wtyczce przedstawiono na rysunku 5.10.



Rys. 5.10. Standard ładowania CCS Combo 2 [7].

5.2. Rodzaje ładowarek zewnętrznych

5.2.1. Przewody ładujące

Najprostszym i najtańszym sposobem ładowania jest wykorzystanie zewnętrznych przewodów ładujących. Służą do dostarczania prądu do ładowania pojazdów elektrycznych, zazwyczaj wewnątrz budynków. Ich zadaniem jest bezpieczny i szybki dostęp do odpowiedniego napięcia (230 lub 400 V) podanego przez odpowiednią wtyczkę (patrz poprzedni podrozdział). Przewody ładujące wymagają posiadania przez pojazd ładowarki pokładowej. Przykład przewodu ładującego ze złączem typu 1 przedstawiono na rysunku 5.11.

Rys. 5.11. Przewód ładujący [107].

Ładowarka przewodowa posiada następujące cechy:

- Przenośna ładowarka jednofazowa AC z opcją wyboru zasilania/prądu z zakresu 8÷32A.
- Ładuje kompatybilne pojazdy elektryczne do 5 razy szybciej niż standardowe ładowarki z zasilaniem z 110 V.
- Kompaktowa – zajmuje niewiele miejsca; posiada własny pokrowiec, dzięki czemu jest wygodna i łatwa w transporcie.
- Wytrzymała konstrukcja odporna na działanie w niemal każdych warunkach atmosferycznych i użytkowania.

5.2.2. Ładowarki naścienne

Ładowarki naścienne służą do dostarczania prądu do ładowania pojazdów elektrycznych zazwyczaj wewnątrz budynków. Instalowane są przez indywidualnych użytkowników pojazdów elektrycznych we własnych garażach. Ich zadaniem jest bezpieczny i szybki dostęp do odpowiedniego napięcia (230 lub 400 V) podanego przez odpowiednią wtyczkę (patrz poprzedni podrozdział). Ładowarki naścienne wymagają posiadania przez pojazd ładowarki pokładowej. Zazwyczaj posiadają również blokadę dostępu do ładowania oraz system pomiaru parametrów ładowania oraz pobranej energii. Przykład ładowarki naściennej ze złączem typu 1 przedstawiono na rysunku 5.12.

Rys. 5.12. Ładowarka naścienna typu wall box [17].

Ładowarka naścienna posiada następujące funkcje:

- Energooszczędna – z funkcją automatycznego wyłączenia – jeżeli po 12 godzinach pracy (ładowania) bateria ładowanego pojazdu przyjmuje mniej niż 0,5A przez godzinę ładowarka automatycznie kończy ładowanie.
- Funkcja zapamiętywania – jeśli podczas ładowania nastąpi przerwa w dostawie prądu, urządzenie zapamięta wartość sprzed awarii zasilania i powróci do ładowania.
- Ochrona przed przepływem wtórnym.
- Zabezpieczenie przed przepięciem wejściowym.
- Ochrona napięcia i ochrona przed przegrzaniem.

5.2.3. Słupki ładowania

Słupki ładowania stanowią zazwyczaj przykład infrastruktury zewnętrznej ładowania pojazdów elektrycznych. Są stawiane w centrach miast oraz w galeriach handlowych. Pozwalają na dostęp do sieci elektrycznej w obszarach zurbanizowanych. Ich zadaniem jest

bezpieczny i szybki dostęp do odpowiedniego napięcia (230 lub 400 V) podanego przez odpowiednią wtyczkę (patrz poprzedni podrozdział). Ładowarki naścienne wymagają posiadania przez pojazd ładowarki pokładowej. Zazwyczaj posiadają również blokadę dostępu do ładowania oraz system pomiaru parametrów ładowania oraz pobranej energii. Są bardziej odporne na warunki otoczenia, jak i na zniszczenie niż ładowarki naścienne. Słupki ładowania zazwyczaj nie posiadają przewodów ładujących. Ich posiadanie jest po stronie posiadacza pojazdu elektrycznego. Ceny słupków ładujących zaczynają się od kilku tysięcy złotych. Przykłady słupków ładujących z różnymi typami złączy przedstawiono na rysunku 5.13.

Rys. 5.13. Słupki ładujące [17].

5.2.4. Ładowarki mobilne

Ładowarki mobilne stanowią już przenośne przetwornice napięcia zmiennego z sieci energetycznej na napięcie stałe potrzebne do ładowania baterii pojazdu elektrycznego. Nie wymagają posiadania przez pojazd ładowarki pokładowej. Ich ciężar zależy od mocy modułów energetycznych. Należy podkreślić, że w tych typach ładowarek komunikują się one z systemem zarządzającym bateriami w pojeździe. Komunikacja wynika z wprowadzonych standardów i dotyczy stopnia naładowania baterii oraz parametrów prądowych i napięciowych. Przykłady ładowarek przenośnych przedstawiono na rysunkach 5.14 i 5.15. Takie ładowarki nazywane są ładowarkami przyspieszonego ładowania. Ceny ładowarek przenośnych zaczynają się od 20 tysięcy złotych.

Rys. 5.14. Ładowarka mobilna 20 kW [108].

Rys. 5.15. Ładowarka mobilna 50 kW [108].

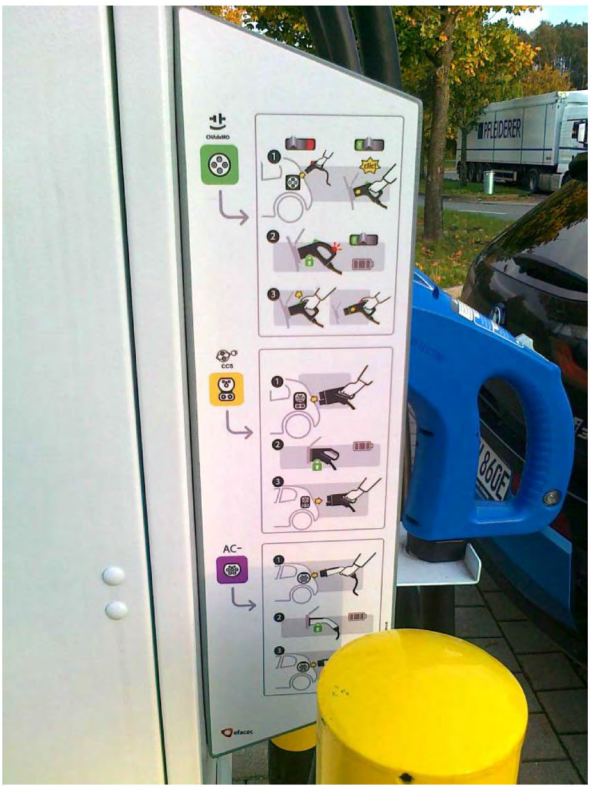
5.2.5. Ładowarki stacjonarne

Ładowarki stacjonarne stanowią już przetwornice napięcia zmiennego z sieci energetycznej na napięcie stałe, potrzebne do ładowania baterii pojazdu elektrycznego. Nie wymagają posiadania przez pojazd ładowarki pokładowej. Ich ciężar i wymiary zależą od mocy modułów energetycznych i posiadanych standardów ładowania. Przykład stacjonarnej ładowarki przedstawiono na rysunku 3.16. Takie ładowarki nazywane są ładowarkami przyspieszonego lub szybkiego ładowania w zależności od ich mocy. Zazwyczaj posiadają kilka systemów ładowania z kilkoma rodzajami wtyczek. Ceny ładowarek stacjonarnych zaczynają się od 50 tysięcy złotych. W celu ich zamontowania potrzebne jest wydzielenie terenu pod zabudowę z dostępem do napięcia o odpowiedniej mocy. Należy podkreślić, że w tych typach ładowarek komunikują się one z systemem zarządzającym bateriami w pojeździe. Komunikacja wynika z wprowadzonych standardów i dotyczy stopnia naładowania baterii oraz parametrów prądowych i napięciowych.

Rys. 5.16. Ładowarka stacjonarna [109].

Producenci ładowarek wraz z koncernami motoryzacyjnymi zapowiadają szybki rozwój infrastruktury ładowania prądem stałym o mocy 150 kW, a nawet 350 kW. Ma ich powstać do końca 2020 roku w Europie ponad 10 000. Umożliwiają one pełne naładowanie pojazdu elektrycznego w czasie krótszym niż 30 minut.

Wiele ładowarek stacjonarnych posiada kilka standardów ładowania z różnymi wtyczkami. Przykład pokazano na rysunku 5.17.



Rys. 5.17. Rodzaje wtyczek ładowania w ładowarce stacjonarnej.

5.2.6. Pantografy

Pantografy stanowią źródło najszybszego ładowania pojazdów elektrycznych. Ich dodatkową zaletą jest automatyczne podłączenie do źródła prądu bez udziału człowieka. Zazwyczaj rozwiązania takie stosowane są dla autobusów elektrycznych. Autobus Ursus EKO VOLT ładowany z pantografu został przedstawiony na rysunku 5.18.

Rys. 5.18. Autobus ładowany pantografem.

5.3. Pytania testowe

1. Jaki jest średni czas ładowania akumulatorów o pojemności 30 kWh w warunkach domowych?
   a. <3 godziny.
   b. 8–10 godzin.
   c. >12 godzin.
2. Końcówka ładowania typu 1 jest przeznaczona do zasilania pojazdu prądem elektrycznym o następujących parametrach:
   a. AC 230 V.
   b. AC 400 V.
   c. DC 400 V.
3. Końcówka ładowania typu 2 jest przeznaczona do zasilania pojazdu prądem elektrycznym o następujących parametrach:
   a. AC 230 V.
   b. AC 400 V.
   c. DC 400 V.
4. Końcówka ładowania typu CCS jest przeznaczona do zasilania pojazdu prądem elektrycznym o następujących parametrach:
   a. AC 230 V.
   b. AC 400 V.
   c. DC 400 V lub DC 700 V.
5. Czy pojazdy elektryczne wyposażone w złącze typu CCS posiadają ładowarkę pokładową:
   a. Nie.
   b. Tak.
   c. Mogą, ale nie muszą.
6. Standard ładowania prądem stałym DC zwanych CHAdeMO występuje w:
   a. Wszystkich pojazdach elektrycznych produkowanych w Europie.
   b. Pojazdach elektrycznych produkowanych w Japonii.
   c. tylko w pojazdach marki Tesla.
7. Spotykane w Polsce szybkie ładowarki prądem DC mają zazwyczaj moce:
   a. < 10 kW.
   b. 40–50 kW.
   c. 100–150 kW.
8. Supercharger to nazwa ładowarki firmy:
   a. Mercedes.
   b. Tesla.
   c. Nissan.

9. Superchargery mają moc ładowania:
   a. 10–50 kW.
   b. 100–150 kW.
   c. powyżej 150 kW.

10. Najmocniejsze na świecie ładowarki mają moc ładowania:
   a. 10–50 kW.
   b. 100–150 kW.
   c. 150–350 kW.

5.4. Ćwiczenia wraz z instrukcją

5.4.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj charakterystyki komercyjnego słupka ładowania pojazdów elektrycznych.

Charakterystyka powinna zawierać:
- Wybór konkretnego modelu wraz ze specyfikacją techniczną.
- Link do strony producenta wraz z danymi kontaktowymi.
- Określenie ceny produktu.

.....

.....

.....

5.4.2. Ćwiczenie 2

Dokonaj charakterystyki mobilnej ładowarki do ładowania pojazdów elektrycznych o mocy 20 kW.

Charakterystyka powinna zawierać:
- Wybór konkretnego modelu wraz ze specyfikacją techniczną.
- Link do strony producenta wraz z danymi kontaktowymi.
- Określenie ceny produktu.

.....

.....

.....

5.4.3. Ćwiczenie 3

Dokonaj charakterystyki stacjonarnej ładowarki do ładowania pojazdów elektrycznych o mocy powyżej 100 kW.

Charakterystyka powinna zawierać:
- Wybór konkretnego modelu wraz ze specyfikacją techniczną.
- Link do strony producenta wraz z danymi kontaktowymi.
- Określenie ceny produktu.

.....

.....

.....

5.4.4. Ćwiczenie 4

Przedstaw porównanie ładowania różnymi rodzajami ładowarek i wtyczek procesów ładowania pakietu pojazdu elektrycznego o pojemności energetycznej 60 kWh.

Porównanie powinno obejmować:
- Ładowanie pakietu prądem przemiennym jednofazowym 230 V.
- Ładowanie pakietu prądem przemiennym trójfazowym 400 V.
- Ładowanie pakietu prądem stałym 500 V.

.....

.....

.....

5.4.5. Ćwiczenie 5

Dokonaj złożenia w programie do modelowania 3D gniazda i wtyczki ładowania w wybranym typie.

Praca powinna zawierać:
- Odnalezienie w bibliotece modeli 3D producenta gniazd wybranego modelu i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Odnalezienie w bibliotece modeli 3D producenta wtyczek wybranego modelu i zapisanie go na dysku twardym w formacie *.stp
- Dokonanie złożenia wszystkich komponentów w programie CAD.

.....

.....

.....

6. Ładowanie baterii pojazdów elektrycznych i hybrydowych

6.1. Wstęp

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. Odpowiedzią naukowców i inżynierów mają być nowe baterie LTO, które są zdolne przyjmować dużo większe prądy ładowania. Poligonem badawczym do tego typu testów są autobusy elektryczne, posiadające pakiety bateryjne o pojemności energetycznej często większej niż 200 kWh. Dla takich zastosowań ciągle rozwijane są systemy ładowania pokładowego baterii (AC), szybkie ładowarki zewnętrzne (DC) oraz bezobsługowe ładowanie za pomocą pantografu (DC).

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). Chłodzenie i podgrzewanie cieczą pakietów bateryjnych przyczynia się ewidentnie do kondycjonowania stanu termicznego baterii podczas ładowania oraz ułatwia rozpoczęcie pracy w warunkach zimowych poprzez możliwość większego obciążenia prądowego baterii.

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, musiałyby 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 [110]. Te ostatnie muszą posiadać chłodzone cieczą zarówno gniazda ładowania, jak i przewody wysokiego napięcia.

Ale jak wdrażać na rynku ładowarki dużej mocy, kiedy brak infrastruktury sieci energetycznej, zapewniającej 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?

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. Niektóre z nich myślą nawet o budowie kolejnych placówek. 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.

6.2. 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 6.1.

Rys. 6.1. 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 6.2. 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 systemem 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. 6.2. Elektryczny nissan leaf II [82].

W tej części podręcznika zostanie przedstawiona szczególnie tematyka nauki i dydaktyki w zakresie systemów gromadzenia energii w pojazdach. 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 doborem komponentów do budowy pojazdów elektrycznych. Ze względu na dostępność, autor wielokrotnie używa przedmiotowego stanowiska badawczego, pojazdów renault twizy, nissana leaf i prototypowego pojazdu dostawczego ursus elvi do przeprowadzania praktycznych zajęć w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

6.2.1. 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 są ściśle określone w międzynarodowych normach i standardach.

Dla potrzeb stanowiska zakupiono system gromadzenia energii w postaci baterii litowo -jonowej MLS 12/390 produkcji Mastervolt (patrz rysunek 6.3).

Rys. 6.3. 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 modułem cel pryzmatycznych w technologii $LiFePO_4$. Akumulatory litowo-żelazowo-fosforowe (LiFePO4 lub LFP) uchodzą za najbezpieczniejsze akumulatory spośród 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 zbytniego 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 6.1 przedstawiono porównanie wybranych parametrów kilku rodzajów baterii litowo-jonowych. Na przykładzie pakietów bateryjnych 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 6.1 dołączono 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.

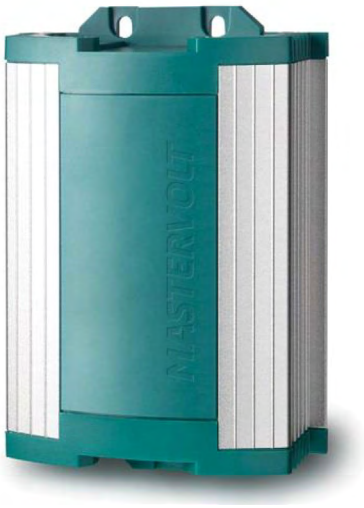
Tabela 6.1. Porównanie wybranych parametrów modułów baterii

	Leaf I (2010)	**Leaf II (2018)**	**MLS 12/390**	**Ursus ELVI**
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 ogniw 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.

6.2.2. Systemy ładowania baterii trakcyjnych pojazdów

Na wyposażeniu stanowiska znajduje się system ładowania baterii litowo-jonowej chargermaster 12/10 produkcji Mastervolt (patrz rysunek 6.4). 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 wynoszącą 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. 6.4. Ładowarka do baterii litowo-jonowych chargemaster 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 6.5). 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÷3680 W oraz dokładność: ±2%. Oznacza to, że za jego pomocą można mierzyć zużycie energii podczas ładowania pojazdów elektrycznych z jednofazowego gniazdka domowego (nazywane w literaturze schuko).

Rys. 6.5. Watomierz z kalkulatorem energii.

W pojazdach elektrycznych wykorzystywane są różne systemy ładowania baterii trakcyjnych. Najprościej można 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 6.6). Warto zaznaczyć, że z gniazda typ 2 można pobierać prąd przemienny jedno- i trójfazowy.

Rys. 6.6. 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÷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 renaulta twizy. Należy w tym celu wykonać adapter, przedstawiony na rysunku 6.7. Dzięki zabudowanemu we wtyczce typ 2 prostemu układowi elektronicznemu z dwoma przełącznikami możliwe jest uzyskanie zasilania ze słupka ładowania.

Rys. 6.7. Adapter elektryczny z gniazda typ 2 na gniazdko schuko.

Umiejscowienie 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. Autor zaznajamia studentów z takim rodzajem literatury. Na przykład podczas ćwiczeń studenci musieli odnaleźć szczegóły przedmiotowej komunikacji w odpowiednich źródłach. Biblioteka uczelni zakupiła w tym celu odpowiednie normy SAE i DIN.

6.2.3. 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 6.8), działający w trybie stałego prądu (6 mA ÷ 60 A), napięcia (3÷60 V) lub rezystancji (50 mΩ ÷ 1 kΩ). Liczba 300 w oznaczeniu odnosi się do mocy pobieranej przez urządzenie, która wynosi 1÷300 W. Moduł PEL-300 posiada możliwość programowania zmiennego cyklu obciążenia, które można zapisać w pamięci.

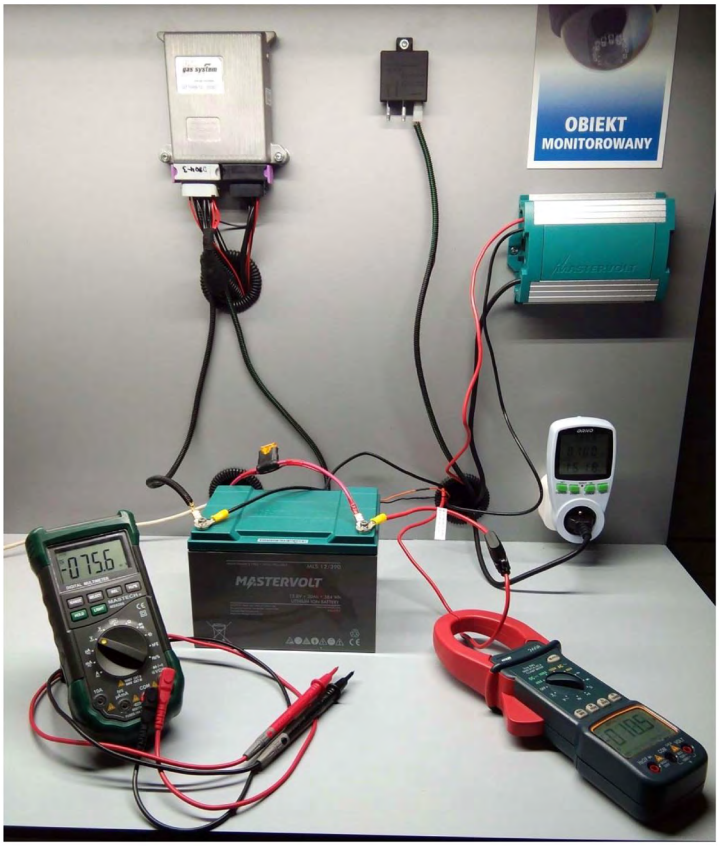
Rys. 6.8. Obciążenie elektroniczne GW Instek PEL-300.

6.3. 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 30ºC 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 m.in. ochronę baterii przed uszkodzeniem podczas ładowania, wydłużenie jej żywotności oraz utrzymanie odpowiedniego stanu ogniw. System ten, gdy wykryje jakiekolwiek 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).

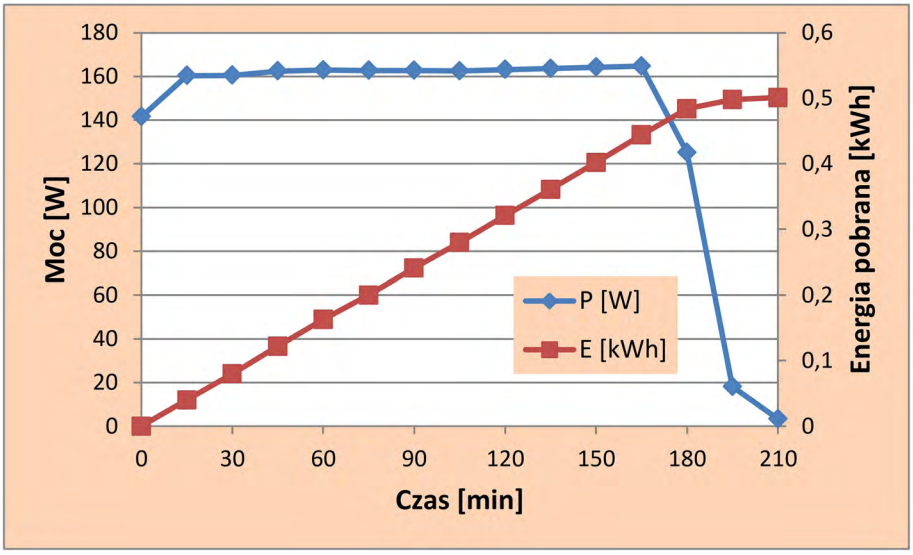
Prezentowane stanowisko badawcze bardzo często jest wykorzystywane w dydaktyce (rysunek 6.9). Przykładem jest laboratorium z fizyki, obejmujące doświadczenia z pomiarów w obwodach prądu stałego i przemiennego. Podczas procesu ładowania baterii litowo-jonowej studenci mogą się zapoznać z teorią i praktyką 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. 6.9. Stanowisko podczas badania ładowania baterii.

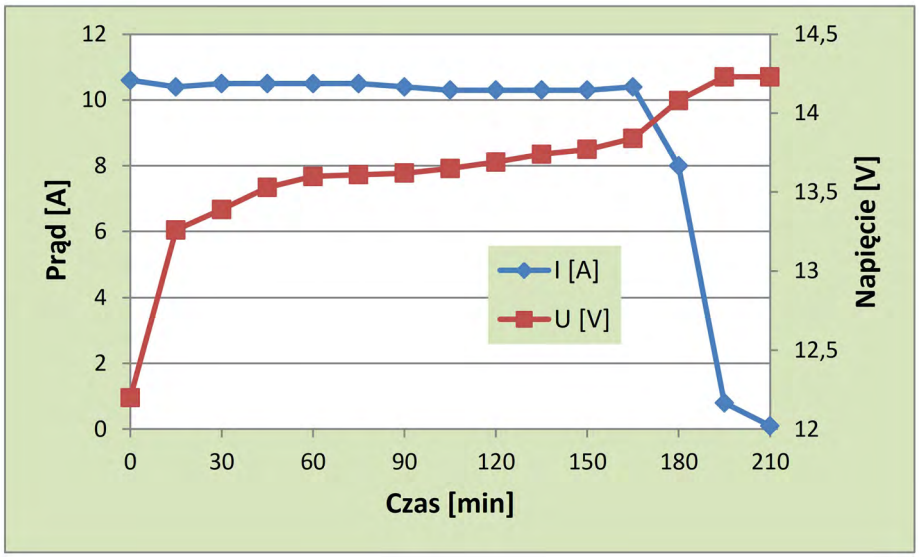
Do przeprowadzenia pomiarów w zakresie pełnego procesu ładowania baterii litowo-jonowej wykorzystano prezentowany wcześnie watomierz z kalkulatorem energii. Z jego pomocą dokonano pomiaru chwilowej mocy, pobieranej z sieci energetycznej przez ładowarkę oraz ilości pobranej energii, co zostało przedstawione na wykresach na rysunku 6.10. 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 godziny. 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. 6.10. 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 dostarczanej do baterii) maleje w wyniku ograniczenia mocy ładowania. Wynika to ze strategii ładowania baterii prądem stałym o niezmiennym natężeniu wynoszącym ok. 10,4 A (±0,1 A) podczas pierwszych 3 godzin ładowania. Widać to dokładnie na wykresie przedstawionym na rysunku 6.11. 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. 6.11. Przebieg prądu i napięcia ładowania baterii litowo-jonowej.

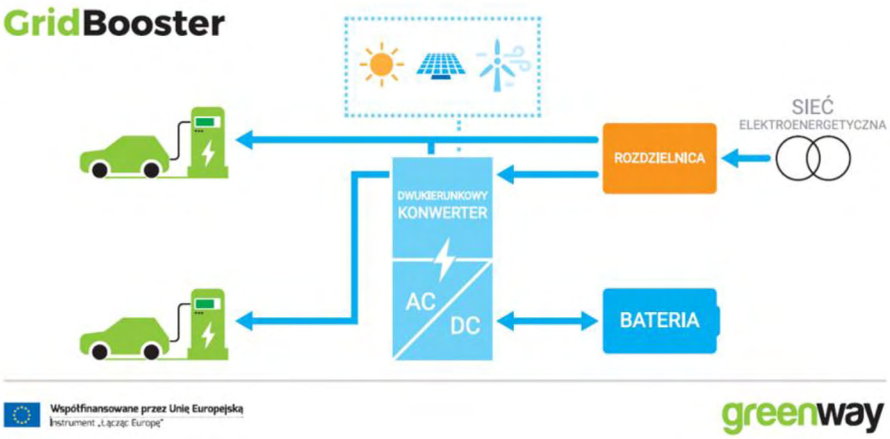
Najlepszym sposobem na zdobycie praktycznych umiejętności w zakresie pomiarów w obwodach prądu stałego i przemiennego jest wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych na prezentowanym stanowisku. Przeprowadzenie pełnego procesu ładowania baterii litowo-jonowej pomaga studentom zrozumieć strategie ładowania, występujące w ładowarkach dużej mocy baterii trakcyjnych pojazdów. Warto zaznaczyć, że komponenty stanowiska zostały dobrane o bezpiecznym napięciu nominalnym 12 V.

6.4. Pozyskiwanie energii do ładowania pojazdów elektrycznych

Rozwój rynku pojazdów elektrycznych w poszczególnych krajach, a nawet w poszczególnych stanach USA, silnie uzależniony jest od infrastruktury ich ładowania. Infrastrukturę taką stanowią obecnie szybkie ładowarki do ładowania prądem stałym DC o mocach od 40 do 150 (z wtyczką typu CCS) kW oraz punkty zasilania trójfazowego, zazwyczaj o mocach do 22 kW (z wtyczką typu 2). Pierwsze z nich przeznaczone są do pojazdów z pakietami baterii trakcyjnych o dużych pojemnościach energetycznych. Pojazdy te nie muszą być wyposażone w ładowarki pokładowe. Słupki z wtyczką typu 2 przeznaczone są do dostarczenia prądu trójfazowego 400 V do pojazdów z zabudowaną ładowarką.

Warto przypomnieć, że do dostarczenia mocy 20 kW potrzebne jest gniazdo trójfazowe o prądzie max 32 A. Jest to poziom mocy ogólnie dostępny w Polsce. Jednak już do ładowarki o mocy 40 kW potrzebne jest gniazdo trójfazowe o prądzie max 63 A. Jest to poziom mocy rzadko spotykany w Polsce i występujący zazwyczaj w dużych zakładach przemysłowych, mających wewnętrzne przyłącza do sieci energetycznej z transformatorami. Europa Zachodnia już od dłuższego czasu przystosowuje sieć energetyczną do zasilania coraz większych ilości pojazdów elektrycznych.

Pierwsza w Europie Środkowej stacja ładowania samochodów elektrycznych zintegrowana z magazynem energii – GridBooster – została uruchomiona w Bratysławie [83]. Rozwiązanie stanowi część sieci Greenway, która jest także rozbudowywana w Polsce. Stanowi dobrze zaplanowaną sieć ładowania samochodów elektrycznych z ujednoliconymi zasadami pobierania opłat. Do 2020 roku Greenway planuje zainstalować w naszym kraju 10 takich magazynów, wspierających nie tylko zasilanie samochodów, ale też funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego. Schemat funkcjonalny zintegrowanej stacji ładowania przedstawiono na rysunku 6.12.



Rys. 6.12. Schemat funkcjonalny zintegrowanej stacji ładowania [83].

Energia elektryczna do ładowania pojazdów elektrycznych w różnych krajach pochodzi z różnych źródeł. W krajach Europy Zachodniej od wielu lat inwestuje się w produkcję energii elektrycznej z OZE.

W Polsce na koniec 2017 roku, według danych URE, moc zainstalowana elektrowni na OZE wyniosła 8563,826 MW i była większa o 148,285 MW niż na koniec 2016 roku. To wzrost o niespełna 2% i nie jest to efekt wyłącznie przyrostu nowych mocy, ale też aktualizacji decyzji koncesyjnych. Pod względem mocy zainstalowanej największy udział miały elektrownie wiatrowe (68,4%), na drugim miejscu były źródła biomasowe (16%), a na trzecim – elektrownie wodne (11,6%). Bardzo skromny udział mają w statystykach farmy fotowoltaiczne. Jak wynika z danych GUS w Polsce w 2016 roku jedynie 11,3% energii elektrycznej pochodziło z OZE.

Największy wzrost odnotowano w energetyce wiatrowej – o 19%, kolejno w fotowoltaice – o 8%, a w energetyce biomasowej już tylko o 3%. To wystarczyło do wytworzenia energii w ilości większej niż ta, którą wyprodukowały europejskie elektrownie węglowe. Kluczowa dla tego wyniku była generacja ze źródeł wiatrowych, biomasowych i fotowoltaicznych w Niemczech, która w 2017 r. miała wynieść 30%, a także w Wielkiej Brytanii (28%). Rekordzistami okazali się jednak Duńczycy, którzy w ubiegłym roku z tych trzech źródeł pokryli aż 74% krajowego wytwarzania energii elektrycznej [84].

6.5. Badania procesu ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego

6.5.1. Charakterystyka pojazdu elektrycznego

Do badań wykorzystano dwuosobowy pojazd miejski o napędzie elektrycznym renault twizy. Pojazd wszedł do produkcji w 2012 roku i do tej pory sprzedano ponad 30 000 egzemplarzy [85]. Szczególnym powodzeniem cieszy się w krajach śródziemnomorskich (Hiszpania, Włochy) ze względu na półotwartą kabinę pojazdu. Należy podkreślić, że otwierane do góry drzwi stanowią dodatkową opcję przy zakupie pojazdu. Podstawowy model sprzedaży tego pojazdu obejmuje zakup pojazdu bez baterii trakcyjnych, które podlegają dzierżawie na określony czas. Od roku 2018, zarówno w Polsce jak i innych krajach europejskich, można kupić renault twizy wraz z bateriami trakcyjnymi.

Pojazd ceniony jest przez użytkowników za niezwykłą zwinność poruszania się w ruchu miejskim, wynikającą z małego promienia skrętu oraz szerokości wynoszącej tylko 120 cm. Pojazd potrzebuje niewiele miejsca na parkowanie (patrz rysunek 6.13), a w wielu miastach europejskich, w tym także w Lublinie, jest zwolniony z opłaty w strefach płatnego parkowania jako pojazd ekologiczny.

Rys. 6.13. Pojazd elektryczny renault twizy.

Podstawowe dane techniczne pojazdu renault twizy, mające wpływ na użytkowanie pojazdu, jak i przeprowadzenie badań, przedstawiono w tabeli 6.2.

Tabela 6.2. Dane renaulta twizy [85]

Dane	Wartość
Masa własna	405 kg
Dopuszczalna masa całkowita	690 kg
Prędkość maksymalna	85 km/h
Typ silnika	Elektryczny – asynchroniczny
Moc silnika	13 kW (17 KM)
Typ baterii trakcyjnych	Litowo-jonowy
Pojemność baterii trakcyjnych	6,1 kWh
Zasięg w cyklu NEDC	100 km
Emisja CO_2	0 g/km
Znormalizowane zużycie prądu (od gniazda do koła)	63 Wh/km
Zasilanie ładowarki pokładowej	Gniazdko 230 V

6.5.2. Charakterystyka minicarportu fotowoltaicznego

W celu realizacji praktycznych zajęć laboratoryjnych w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie wykonano minicarport fotowoltaiczny. Fundusze na budowę pozyskano z grantu wewnętrznego Wydziału Transportu i Informatyki WSEI. Projekt oraz realizacja zostały wykonane w ramach zajęć dydaktycznych z projektu zespołowego na drugim roku kierunku Mechanika i budowa maszyn. Jest to już kolejna konstrukcja carportu opracowana przez autora [12].

Konstrukcja nośna carportu składa się z dwóch nóg wykonanych ze spawanych profili stalowych. Elementy stalowe zostały zabezpieczone antykorozyjnie poprzez cynkowanie.

Kolejną częścią carportu jest konstrukcja nośna paneli fotowoltaicznych. Konstrukcja dachowa została wykonana z anodowanych profili aluminiowych. Została ona poddana obliczeniom wytrzymałościowym ze względu na masę własną, dodatkowe obciążenie zalegającym w okresie zimowym śniegiem oraz podmuchy wiatru.

Założeniem projektowym było wykonanie konstrukcji kompaktowej, mającej znaczenie użytkowe. Carport ma generować energię elektryczną, potrzebną do ładowania samochodów elektrycznych. W przypadku braku odbioru energii przez pojazd, zostaje ona przekazana do sieci energetycznej. Dodatkową funkcją carportu ma być zdolność wystawiennicza w celu promocji idei elektromobilności, jak i samej uczelni, na różnego rodzaju seminariach, wystawach, pokazach i targach. By spełnić tę funkcję carport musi być w łatwy i szybki sposób montowalny i demontowalny. Wygląd wersji finalnej carportu wraz z podłączonym pojazdem elektrycznym przedstawiono na rysunku 6.14.

Ze strony elektrycznej carport składa się z czterech paneli fotowoltaicznych o łącznej mocy szczytowej 1 kWp. Zakupiono panele fotowoltaiczne, wykonane w technologii polikrystalicznej, polskiej produkcji. Do konwersji uzyskanej ze słońca energii elektrycznej na prąd przemienny, płynący w sieci energetycznej, wykorzystano inwerter o mocy 1 kW. Inwerter został podłączony do sieci energetycznej, zasilającej uczelnię w celu synchronizacji z siecią i oddawania do niej wytwarzanej energii. Zatem jest to połączenie systemu fotowoltaicznego typu on-grid.

Rys. 6.14. Pojazd elektryczny podczas ładowania baterii z minicarportu fotowoltaicznego.

System fotowoltaiczny carportu został podpięty do sieci energetycznej za pomocą inwertera. Został on dodatkowo zabezpieczony po stronie prądu stałego (DC) i prądu przemiennego (AC) za pomocą urządzeń zabezpieczających, umieszczonych w skrzynce bezpiecznikowej (patrz rysunek 6.15). Dodatkowo na konstrukcji nośnej carportu zainstalowano 3 gniazda 230 V w celu zasilania odbiorników zewnętrznych, w tym pojazdu elektrycznego.

Rys. 6.15. Układ elektryczny minicarportu.

6.5.3. Analiza procesu ładowania

W celu naładowania baterii trakcyjnych pojazdu elektrycznego został on podłączony do jednego z gniazd 230 V minicarportu za pomocą zwijanego przewodu o długości 3 m, będącego na wyposażeniu pojazdu (patrz rysunek 6.16).

Rys. 6.16. Podłączenie pojazdu elektrycznego do carportu celem ładowania baterii.

Postanowiono zbadać cały proces ładowania baterii pojazdu od całkowitego rozładowania do pełnego naładowania. Pełne rozładowanie polegało na jeździe pojazdem aż do momentu zatrzymania się, czemu towarzyszyło wskazanie poziomu naładowania baterii 0% (SOC = 0%). Taki stan baterii nazywany jest głębokim rozładowaniem i pojazd nie powinien długo przebywać w tym stanie.

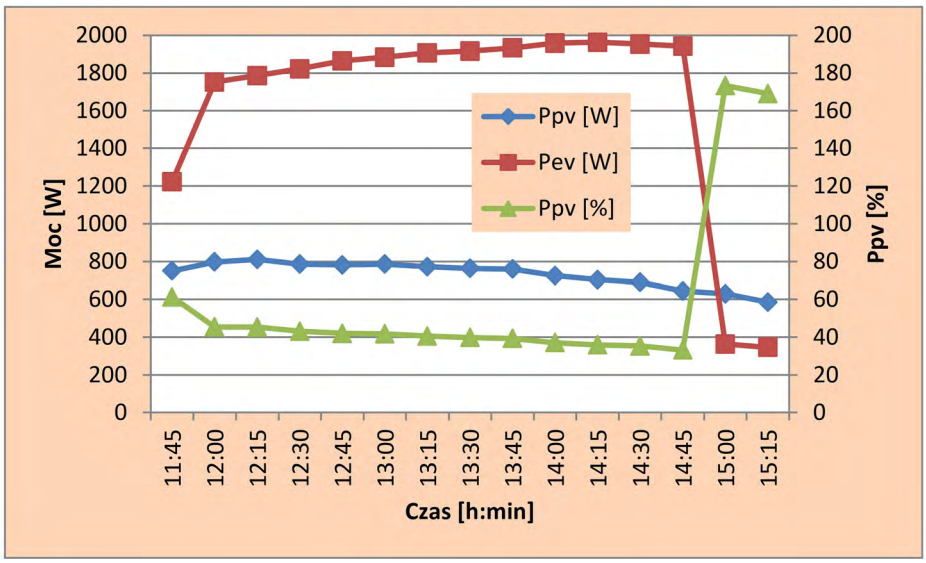
Pomiaru chwilowej mocy pobieranej przez pojazd dokonano za pomocą powszechnie dostępnego watomierza z kalkulatorem energii, który jest w stanie mierzyć i wskazywać jeszcze wiele innych parametrów elektrycznych, zarówno sieci, jak i podłączonych odbiorników. Do pomiarów wartości elektrycznych systemu fotowoltaicznego, w tym chwilowej generowanej mocy oraz energii, wykorzystano wewnętrzny system pomiarowy inwertera, który wyświetla wybrane wielkości wraz z wartościami na wyświetlaczu urządzenia.

Przebieg parametrów prądowych podczas procesu pełnego ładowania pojazdu z minicarportu fotowoltaicznego przedstawiono na rysunku 6.17. Proces głęboko rozładowanej baterii rozpoczyna się z poziomu mocy wynoszącej 1200 W. Po kilku minutach moc pobierana przez pokładową ładowarkę wynosiła już około 1800 W (Pev). Moc pobierana przez pojazd powoli wzrasta do około 2000 W. Po uzyskaniu poziomu naładowania baterii, wynoszącego ok. 95%, prąd ładowania, a za tym pobierana moc, zostały zmniejszone. Cały proces ładowania trwał 210 minut (3,5 godziny).

Proces ładowania odbywał się w słoneczne południe pomiędzy godziną 11.45 a 15.15. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny generował chwilową moc wynoszącą od 600 do 800W (Ppv). Jest to moc niższa od mocy pobieranej przez pojazd podczas ładowania. Z tej przyczyny minicarport fotowoltaiczny podpięty został do sieci energetycznej, stanowiącej bufor energii dla ładowanego pojazdu. Podłączenie takie jest nazywane on-line. W odróżnieniu od podłączenia typu off-line, kiedy to system fotowoltaiczny nie jest podłączony do sieci energetycznej, a wytworzona energia magazynowana jest w stacjonarnych lub mobilnych magazynach energii.

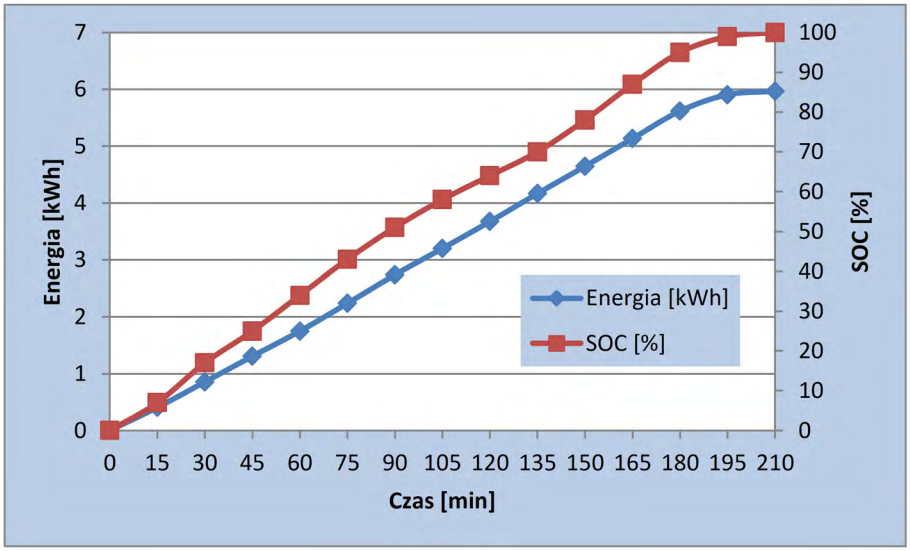
Jednak w wielu pojazdach, także w renaulcie twizy, możliwe jest zaawansowane ustawienie maksymalnej mocy pobieranej przez ładowarkę pojazdu.

Udział mocy wytworzonej przez carport w stosunku do mocy pobieranej przez pojazd (Ppv [%]) wahał się od 33 do 45% podczas właściwego procesu ładowania, w zakresie SOC 5 do 95%. Podczas głębokiego rozładowania i końcowej fazy ładowania udział ten był wyższy i przekraczał zapotrzebowanie pojazdu.



Rys. 6.17. Przebieg parametrów podczas ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu.

Pomiędzy SOC 0 a 95% widać liniową zależność w czasie pobieranej przez pojazd energii oraz stopnia naładowania baterii (patrz rysunek 6.18). W końcowej fazie ładowania, z SOC powyżej 95%, następuje ograniczenie prądu, a przez to mocy ładowania. W pakietach baterii o większej pojemności szybkie ładowanie dużym prądem zazwyczaj ma miejsce pomiędzy SOC, wynoszącym 20 i 80%. Do pełnego naładowania pojazd pobrał prawie 6 kWh energii elektrycznej. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny wytworzył 2,75 kWh energii elektrycznej, co stanowi 46% zapotrzebowania.



Rys. 6.18. Przebieg w czasie pobranej energii i stanu naładowania baterii podczas procesu ładowania.

Zaprojektowany i wykonany wraz ze studentami WSEI minicarport fotowoltaiczny stanowi bardzo użyteczne stanowisko dydaktyczno-naukowe. Podczas badań procesu ładowania pojazdu elektrycznego wykonano charakterystyki prądowe zarówno systemu fotowoltaicznego, jak i ładowarki pokładowej pojazdu elektrycznego. Badania wykazały, że chwilowa moc generowana przez minicarport nie jest wystarczająca do ładowania przedmiotowego pojazdu elektrycznego w trybie off-line. Carport został podłączony do sieci energetycznej, stanowiącej bufor energii pomiędzy systemem fotowoltaicznym a pojazdem (tzw. tryb on-line). Do pełnego naładowania baterii trakcyjnych pojazd pobrał prawie 6 kWh energii elektrycznej. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny wytworzył 2,75 kWh energii elektrycznej, co stanowi 46% zapotrzebowania. Przedstawiony w tej części podręcznika minicarport o mocy 1 kWp może posłużyć do modelowania systemów generowania mocy z OZE dla szybkich ładowarek DC.

6.6. Demonstracyjne stacje ładowania pojazdów elektrycznych

6.6.1. Carport fotowoltaiczny w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym

Połączenie technologii pojazdów elektrycznych z możliwością ich ładowania z odnawialnych źródeł energii jest najbardziej ekologicznym sposobem zasilania pojazdów. Do ładowania pojazdów elektrycznych służy carport fotowoltaiczny o mocy szczytowej 3 kWp, znajdujący się przy Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym [14]. Wcześ-niejsze badania wykazały, że konieczne jest podejście on-grid w podłączeniu carportu do sieci energetycznej. Umożliwia ono całkowite wykorzystanie produkowanej energii do ładowania pojazdu i oddawanie jej nadmiaru do sieci.

Carport fotowoltaiczny składa się z 12 monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych, wykonanych w technologii szkło-szkło, posiadających indywidualny optymalizer. Wygląd carportu przedstawiono na rysunku 6.19.

Rys. 6.19. Carport fotowoltaiczny w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym.

6.6.2. Farma fotowoltaiczna w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym

Od 22 lutego 2018 roku obowiązuje w Polsce Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018, poz. 317), która uporządkowała wiele ważnych kwestii związanych m.in. z rozwojem infrastruktury ładowania samochodów elektrycznych w Polsce. Jedną z nich jest możliwość sprzedaży przez operatora (CPO) usługi ładowania EV bez konieczności ubiegania się o koncesję na obrót energią elektryczną. Ta ważna zmiana otworzyła drogę wielu podmiotom na rynku do świadczenia tego typu usług. Kolejnym udogodnieniem jest to, że budowa stacji ładowania na terenach prywatnych, w garażach podziemnych budynków mieszkalnych czy komercyjnych nie wymaga pozwolenia na budowę.

Za prawidłowe funkcjonowanie stacji odpowiada jej właściciel. Ponadto ładowarki wykorzystywane do celów domowych nie podlegają obowiązkowi nadzoru Urzędu Dozoru Tech-

nicznego, w przeciwieństwie do tzw. stacji publicznych, czyli podłączonych bezpośrednio do sieci lokalnego operatora systemu dystrybucyjnego (OSD) na danym obszarze. Według Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych „Operator ogólnodostępnej stacji ładowania:

1. Zapewnia, aby w ogólnodostępnej stacji ładowania prowadził działalność co najmniej jeden dostawca usługi ładowania, ogólnodostępna stacja ładowania spełniała wymagania techniczne.
2. Zapewnia przeprowadzenie przez Urząd Dozoru Technicznego badań ogólnodostępnej stacji ładowania.
3. Zapewnia bezpieczną eksploatację ogólnodostępnej stacji ładowania.

Wyposaża ogólnodostępną stację ładowania:

1. W oprogramowanie pozwalające na:
   x. Podłączenie i ładowanie pojazdu elektrycznego i pojazdu hybrydowego.
   y. Przekazywanie danych do Ewidencji Infrastruktury Paliw Alternatywnych o dostępności punktu ładowania i cenie za usługę ładowania, w układ pomiarowo-rozliczeniowy umożliwiający minutowy pomiar zużycia energii elektrycznej i przekazywanie danych pomiarowych z tego układu do układu pomiarowo-rozliczeniowego tej stacji ładowania w czasie zbliżonym do rzeczywistego”.

Przykładowa stacja ładowania pojazdów elektrycznych zgodna z wymogami Ustawy o elektromobilności powstała w Lublinie przy budynku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego. Jest ergonomiczna, prosta w obsłudze i niezbędna, gdy użytkujemy samochód hybrydowy lub elektryczny. A do tego jest produkowana w Bydgoszczy. Kolejowe Zakłady Łączności (ZKŁ) w hali Wojskowych Zakładów Lotniczych zaprezentowały swój najnowszy produkt – stację ładowania pojazdów elektrycznych. Powszechnie używane samochody z napędem elektrycznym to już nie wizja szalonego naukowca, ale niedaleka przyszłość. Dzięki takiej stacji można naładować samochód elektryczny lub rower typu e-bike. Proste w obsłudze urządzenie jest zaopatrzone w ekran dotykowy, za pomocą którego właściciel pojazdu dokonuje wyboru ilości energii elektrycznej i płaci kartą. Słupki z Kolejowych Zakładów Łączności w Bydgoszczy mogą być wykorzystywane w każdym miejscu w mieście, gdzie jest poprowadzona sieć elektryczna. Ten słupek posiada dwie możliwości ładowania: prądem trójfazowym, który powoduje, że jest to tzw. średnia prędkość ładowania, a także prądem jednofazowym.

Stacje ładowania samochodów elektrycznych ecoMOTO wyposażone są w czytnik bezstykowych kart typu Mifare, umożliwiający dostęp do urządzenia personelowi serwisowemu oraz obsługę kart miejskich. Dla bezpieczeństwa zostały one wyposażone w awaryjny wyłącznik prądu [111].

Stacje ładowania pojazdów elektrycznych ecoMOTO to urządzenia proste w obsłudze, zaopatrzone w 7” ekran dotykowy, za pomocą którego kierowca auta dokonuje wyboru stanowiska i ilości pobieranej energii. Płatność dokonywana jest za pomocą bankowej karty zbliżeniowej. Niewykorzystana energia opłacona w danej sesji może być zużyta w innym terminie.

W ecoMOTOhome płatność za pobór energii do auta lub identyfikacja użytkownika mogą być dokonywane za pomocą karty zbliżeniowej typu Mifare (karta mieszkańca/pracownika, karta miejska).

Stacja ładowania ecoMOTO jest urządzeniem wolno stojącym w formie estetycznego słupka (patrz rysunek 6.20), służącym do ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych EV. Standardowo oferowana jest w wersji o mocy 2 x 22 kW. Stacja posiada dwa punkty ładowania AC, umożliwiające jednoczesne ładowanie dwóch aut. Stacje ładowania aut elektrycznych ecoMOTO wyposażone są w system umożliwiający zdalny nadzór, administro-

wanie oraz serwisowanie urządzenia. Produkty ZKŁ dedykowane przyjaznym środowisku naturalnemu samochodom posiadają certyfikat zgodności z normą PN-EN 61851-1:2011 i PN-EN 61851:22-2002.

Rys. 6.20. Wygląd ładowarki ecoMOTO [111].

Pod koniec 2019 roku Lubelski Park Naukowo-Technologiczny został partnerem w ramach projektu „Rozwój elektromobilności szansą dla regionu". W ramach projektu powstała przy budynku LPNT innowacyjna stacja ładowania pojazdów o mocy 22 kW, zasilana z farmy fotowoltaicznej. Jest to pierwszy tego typu obiekt na Lubelszczyźnie i jeden z pierwszych w Polsce. Obok ładowarki powstały 2 miejsca parkingowe w celu ładowania dwóch pojazdów jednocześnie. W ramach projektu odbyło się seminarium i warsztat kreatywny zrealizowany przez Fundację ECCC w ramach zadania pt. „Upowszechnianie wśród pracowników urzędów JST i mieszkańców gmin z terenu województwa lubelskiego wiedzy z zakresu elektromobilności". Finansowany z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Lublinie projekt cieszył się dużym zainteresowaniem i skorzystało z niego 48 osób. Osoby te mogły w praktyczny sposób nabyć wiedzę teoretyczną i praktyczne umiejętności związane z przygotowaniem projektu stacji ładowania pojazdów w gminie. Wszyscy uczestnicy projektu mieli możliwość testowania najnowszych pojazdów elektrycznych marki Audi, Renault i Hyundai dzięki uprzejmości lokalnych sprzedawców pojazdów tych marek (patrz rysunek 6.21).

Rys. 6.21. Ładowanie pojazdu renault zoe ze stacji ecoMOTO.

Warto podkreślić, że stacja ecoMOTO jest zasilana z pobliskiej farmy fotowoltaicznej, co przedstawia grafika pokazana na rysunku 6.22.

Rys. 6.22. Stacja ładowania ecoMOTO podłączona do systemu fotowoltaicznego.

Ze względu na bliskość położenia budynku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego i Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji w Lublinie możliwe są wizyty studyjne studentów. Mogą oni wtedy skorzystać z infrastruktury parku i w warunkach rzeczywistych przetestować innowacyjne rozwiązania. Drzwi LPNT są zawsze otwarte dla studentów z lubelskich uczelni. W dniu 28.05.2016 r., pod kierownictwem dra inż. Józefa Stokłosy i dra inż. Arkadiusza Małka, odbyła się wizyta studyjna studentów 2 roku studiów magisterskich na kierunku transport w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji. Część główną wizyty stanowiła prezentacja możliwości ładowania pojazdów elektrycznych z fotowoltaicznych ogniw słonecznych. Studenci mieli możliwość przejechania się pojazdem elektrycznym renault twizy oraz pierwszą w Lublinie taksówką elektryczną na bazie nissana leaf. Zapoznali się z parametrami pojazdów elektrycznych i specyficznym sposobem ich eksploatacji. Wspólnie z prowadzącym dokonano obliczeń kosztów eksploatacji pojazdów elektrycznych w porównaniu z tradycyjnymi napędami opartymi na silnikach wysokoprężnych z zapłonem iskrowym benzynowych czy zasilanych LPG. Studenci zapoznali się również z możliwością ładowania pojazdów elektrycznych z fotowoltaicznych ogniw słonecznych. Carport przy Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym powstał jako pierwszy w Lublinie. Mogą w nim być ładowane zarówno renault twizy, jak i nissan leaf (patrz rysunek 6.23). Jest to najbardziej ekologiczny sposób zasilania pojazdów, niepowodujący emisji do atmosfery żadnych szkodliwych substancji. Studentom bardzo podobała się prezentacja i testowanie najnowszych technologii.

Rys. 6.23. Wizyta studentów WSEI w LPNT w celu testowania innowacyjnych rozwiązań.

6.7. Pytania testowe

1. Carport jest to:
   a. Wiata fotowoltaiczna generująca prąd elektryczny i cień dla zaparkowanego pod nią pojazdu.
   b. Prowizoryczny dach dla samochodu.
   c. Nazwa ładowarek dla pojazdów marki Tesla.
2. Carport fotowoltaiczny w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie posiada moc szczytową wynoszącą:
   a. 1 kWp.
   b. 3 kWp.
   c. 40 kWp.
3. Carport fotowoltaiczny przy Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym posiada moc szczytową wynoszącą:
   a. 1 kWp.
   b. 3 kWp.
   c. 40 kWp.
4. Farma fotowoltaiczna przy Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym posiada moc szczytową wynoszącą:
   a. 1 kWp.
   b. 40 kWp.
   c. 80 kWp.
5. Jaką ładowarkę pojazdów elektrycznych zainstalowano przy Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym:
   a. Słupek ładowania ecoMOTO z jednym gniazdem typ 2 i jednym schuko 230 V.
   b. Szybką ładowarkę z prądem stałym DC z końcówkami CCS i Chademo.
   c. Wallbox ze złączem typ 2.
6. Kto jest producentem ładowarki ecoMOTO:
   a. Kolejowe Zakłady Łączności.
   b. PGE.
   c. Energa.
7. Jaki akt prawny reguluje w Polsce zasady budowy i podłączania do sieci ładowarek pojazdów elektrycznych:
   a. Ustawa o elektromobilności z 2018 roku.
   b. Regulamin nr 115 EKG ONZ.
   c. Rozporządzenie UDT 210/2020.
8. Do pomiaru napięcia modułu baterii litowo-jonowych służy:
   a. Miernik napięcia.
   b. Amperomierz.
   c. Multimetr cęgowy.

9. Do pomiaru prądu ładowania pakietu baterii litowo-jonowych służy:
   a. Miernik napięcia.
   b. Multimetr laboratoryjny.
   c. Multimetr cęgowy z możliwością pomiaru prądu.

10. Do pomiaru ilości pobranej energii podczas ładowania modułu baterii litowo-jonowych służy:
   a. Miernik napięcia.
   b. Watomierz z kalkulatorem energii.
   c. Multimetr cęgowy z możliwością pomiaru prądu.

6.8. Ćwiczenia wraz z instrukcją

6.8.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj charakterystyki carportu fotowoltaicznego do ładowania pojazdów elektrycznych, znajdującego się w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

Charakterystyka powinna zawierać:
- Charakterystykę systemu fotowoltaicznego wraz z jego mocą szczytową.
- Chwilową moc wytwarzaną przez carport oraz roczną produkcję energii elektrycznej.
- Rodzaj wtyczek do ładowania pojazdów.
- Przebieg procesu ładowania wybranego pojazdu z przedmiotowego carportu.

.....

.....

.....

6.8.2. Ćwiczenie 2

Dokonaj charakterystyki carportu fotowoltaicznego do ładowania pojazdów elektrycznych, znajdującego się w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym.

Charakterystyka powinna zawierać:
- Charakterystykę systemu fotowoltaicznego wraz z jego mocą szczytową.
- Chwilową moc wytwarzaną przez carport oraz roczną produkcję energii elektrycznej.
- Rodzaj wtyczek do ładowania pojazdów.
- Przebieg procesu ładowania wybranego pojazdu z przedmiotowego carportu.

.....

.....

.....

6.8.3. Ćwiczenie 3

Dokonaj charakterystyki farmy fotowoltaicznej do ładowania pojazdów elektrycznych, znajdującej się w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym.

Charakterystyka powinna zawierać:
- Charakterystykę systemu fotowoltaicznego wraz z jego mocą szczytową.
- Chwilową moc wytwarzaną przez carport oraz roczną produkcję energii elektrycznej.
- Rodzaj wtyczek do ładowania pojazdów.
- Przebieg procesu ładowania wybranego pojazdu z przedmiotowej farmy.

.....

.....

.....

6.8.4. Ćwiczenie 4

Dokonaj analizy procesu ładowania i rozładowania pakietu baterii litowo-jonowych o pojemności 0,4 kWh i napięciu znamionowym 12 V, znajdującego się w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

Analiza procesu powinna zawierać:

- Charakterystykę modułu.
- Charakterystykę ładowarki.
- Przebieg procesu ładowania modułu wraz z pomiarem parametrów prądowych co 15 minut.
- Przebieg procesu rozładowania modułu wraz z pomiarem parametrów prądowych co 15 minut.

.....

.....

.....

6.8.5. Ćwiczenie 5

Zaprojektuj i wykonaj prototyp adaptera do ładowania pojazdu renault twizy z gniazda typu 2.

Projekt powinien zawierać:

- Analizę sposobu ładowania pojazdu renault twizy.
- Budowę gniazda typu 2.
- Sposób komunikacji pojazdu elektrycznego ze słupkiem ładowania wraz ze schematami elektrycznymi.
- Zakup komponentów elektrycznych i wykonanie prototypu.
- Testowanie prototypu pod nadzorem prowadzącego.

.....

.....

.....

7. Napędy wodorowe pojazdów

Wraz z wejściem na rynek pierwszych komercyjnych pojazdów, zasilanych wodorowymi ogniwami paliwowymi, pojawiły się pytania związane z bezpieczeństwem ich użytkowania. Zastanawiają także różnice w eksploatacji w odniesieniu do tradycyjnych napędów spalinowych, czy coraz bardziej popularnych hybrydowych. Ze strony zarówno samych użytkowników, jak i mechaników pojawiają się pytania dotyczące potencjalnych problemów związanych z serwisowaniem takich pojazdów. W 2013 roku koreańska firma Hyundai wprowadziła jako pierwsza swój model **ix35 fuel cell** z ambitnym planem sprzedaży 1000 egzemplarzy w ciągu dwóch pierwszych lat i 10 000 rocznie począwszy od 2015 roku. W 2014 roku na rynku pojawił się kolejny mocny gracz – firma Toyota ze swoim modelem **mirai**.

Tuż po premierze rynkowej Toyota zdecydowała się na upowszechnienie nowej technologii poprzez nieodpłatne udostępnienie ponad 5 000 patentów opracowanych przez firmę przy planowaniu, rozwijaniu i produkcji wodorowego modelu mirai. Dzięki temu inni producenci mogą skorzystać z patentów, dotyczących technologii ogniw paliwowych, wysokociśnieniowych zbiorników wodoru oraz zaawansowanych systemów sterowania. Zdaniem Toyoty, to udogodnienie przyczyni się do zwiększenia zainteresowania koncernów samochodowych, jak i samych klientów, tym najbardziej ekologicznym rodzajem napędu pojazdów. Pierwszy etap ich upowszechniania ma trwać do 2020 roku. Jego realizacja obejmie edukację techniczną na poziomie zawodowym, technicznych uczelni wyższych oraz autoryzowanych stacji obsługi na początku podstaw, a następnie detali, związanych z użytkowaniem i serwisowaniem takich pojazdów.

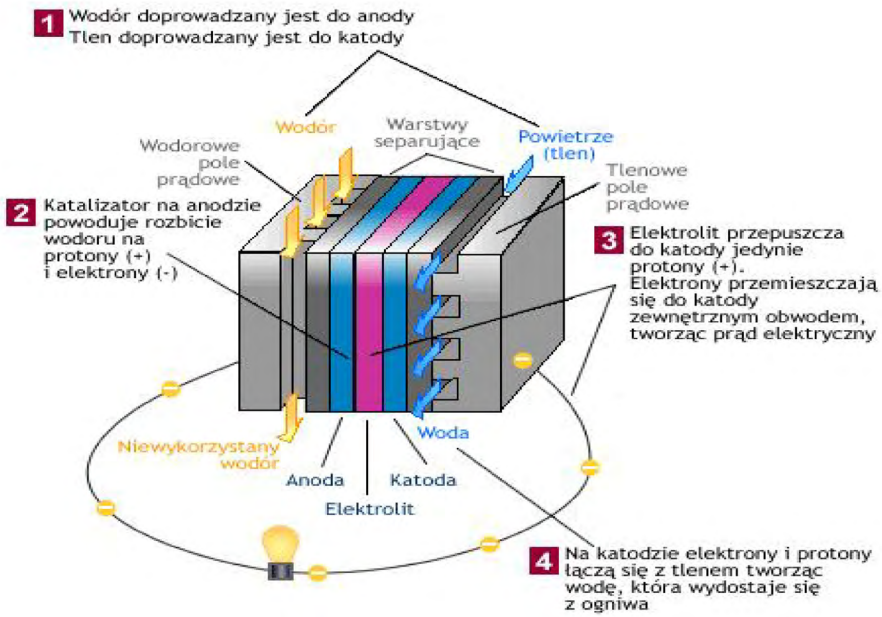
Zadaniem naukowców będzie dalszy rozwój poszczególnych komponentów pojazdów wodorowych w celu redukcji masy, kosztów oraz zwiększania zasięgu takich pojazdów. **Pierwszym zagadnieniem**, istotnie wpływającym na eksploatację i serwisowanie pojazdów zasilanych wodorowymi ogniwami, jest rodzaj użytych ogniw paliwowych. **Drugim** jest rodzaj magazynowania wodoru w pojeździe. W rozdziale tym przedstawiono analizę porównawczą parametrów pracy ogniw paliwowych typu LTPEM i HTPEM celem ich użycia do napędu pojazdów. Wybór systemu niskotemperaturowego LTPEM (*Low Temperature Proton Exchange Membrane*) [51] lub wysokotemperaturowego HTPEM (*High Temperature Proton Exchange Membrane*) [59] ma istotny wpływ na strategie sterowania całym systemem generowania mocy w różnych warunkach pracy i może mieć to przełożenie na pewne wyzwania związane z ich eksploatacją.

7.1. Wodorowe ogniwa paliwowe

Ogniwa paliwowe to urządzenia elektrochemiczne, pozwalające na uzyskanie energii elektrycznej i ciepła bezpośrednio z zachodzącej w nich reakcji chemicznej [57]. Ogniwa te charakteryzują się dużą sprawnością, czystością i gęstością energetyczną. Dawniej stosowane były tylko w przypadku wojskowych i badawczych celów, np. w ramach programu kosmicznego Apollo ogniwa paliwowe były odpowiedzialne za generowanie energii elektrycznej i wody pitnej. Obecnie technologia ta używana jest do produkcji baterii dla urządzeń przenośnych, generatorów różnej mocy, elektrowni stacjonarnych, pojazdów i wielu innych.

Zasada działania polega na wytwarzaniu energii użytecznej (elektryczność, ciepło) w wyniku reakcji chemicznej wodoru z tlenem, gdzie produktem ubocznym jest woda.

Ogniwo paliwowe zbudowane jest z dwóch elektrod: anody i katody. Elektrody oddzielone są poprzez elektrolit występujący w formie płynnej lub w stałym stanie skupienia. Elektrolit umożliwia przepływ kationów, natomiast uniemożliwia przepływ elektronów. Reakcja chemiczna zachodząca w ogniwie polega na rozbiciu wodoru na proton i elektron na anodzie, a następnie na połączeniu substratów reakcji na katodzie. W procesach elektrochemicznych oddziałuje przepływ elektronu od anody do katody z pominięciem nieprzepuszczalnej membrany. W wyniku tej elektrochemicznej reakcji wodoru i tlenu powstają: prąd elektryczny, woda i ciepło.



Rys. 7.1. Zasada działania ogniwa paliwowego [55].

Żywotność ogniw paliwowych ogranicza się jedynie do niesprawności komponentów lub ich degradacji, natomiast samo ogniwo w teorii nie ulega rozładowaniu. Reakcje chemiczne, jakie zachodzą w ogniwie paliwowym na poszczególnych elektrodach:

- na anodzie $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e$,
- na katodzie $O_2 + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$.

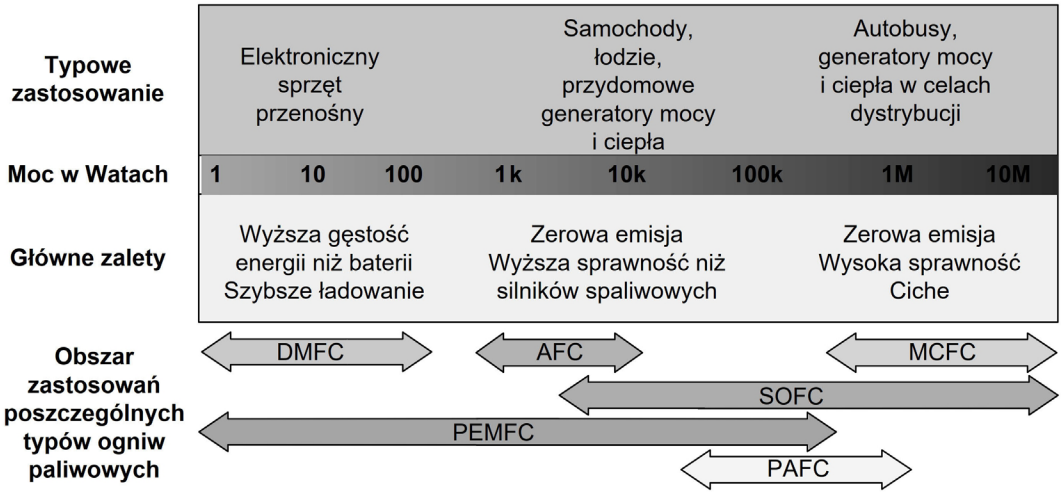
Różne typy ogniw paliwowych borykają się z rozmaitymi problemami, związanymi z trwałością, niezawodnością pracy czy eksploatacją. Są one zazwyczaj związane z temperaturą, w jakiej „muszą" pracować te ogniwa i właściwościami fizykochemicznymi zastosowanego w nich elektrolitu. Dolna temperatura pracy ogniwa SOFC jest na przykład ograniczona wartością 1000ºC, ponieważ opór elektrolitu gwałtownie wzrasta wraz z obniżeniem się temperatury poniżej tej wartości. Korzyściami ze zwiększenia temperatury pracy ogniwa są: zwiększona szybkość reakcji oraz zazwyczaj niższy opór ogniwa, który jest wynikiem lepszej przewodności jonów przez elektrolit. Do wad należą problemy materiałowe, prowadzące do korozji, niszczenie elektrod, spiekanie i rekrystalizacja katalizatora oraz ubytek elektrolitu przez odparowanie, które są powodowane zwiększoną temperaturą. Podobnie jest ze zwiększeniem ciśnienia paliwa i utleniacza dostarczanego do ogniwa, które prowadzi do zwiększenia jego sprawności, ale powoduje wzrost kosztów związanych ze zwiększeniem mocy biernej, potrzebnej do sprężenia substratów oraz koniecznością wzmocnienia

pojemnika, w którym znajduje się stos ogniw i przewodów zasilających, aby mogły wytrzymać wyższe ciśnienia.

Systemy generowania mocy wykorzystujące ogniwa wysokotemperaturowe (SOFC i MCFC) wymagają rozgrzania do odpowiedniej temperatury pracy, zwiększonego chłodzenia w porównaniu z ogniwami niskotemperaturowymi (PAFC, PEM, AFC) i odpowiedniego odizolowania całego pakietu od otoczenia. Wszystko to pociąga za sobą zwiększone koszty materiałowe, związane z konstrukcją systemu i szereg problemów eksploatacyjnych i z zapewnieniem bezpieczeństwa pracy. Inne przeszkody muszą pokonywać naukowcy rozwijający ogniwa PAFC i AFC. Pracują one w dużo niższych temperaturach niż wcześniej opisane ogniwa, ale posiadają elektrolit w postaci kwasu fosforowego (PAFC) i wodorotlenku potasu (AFC). To wymusza stosowanie materiałów odpornych na działanie substancji o pH dalekim od obojętnego. Poza tym podczas projektowania takich ogniw muszą być uwzględnione środki bezpieczeństwa na wypadek wycieku z nich elektrolitu.

7.1.1. Dlaczego ogniwa paliwowe typu PEM?

Do tej pory nie został poddany krytyce ostatni rodzaj ogniw paliwowych – PEM. Nie oznacza to wcale, że są one pozbawione wad i problemów związanych z ich projektowaniem, wytwarzaniem i eksploatacją. Pracują w temperaturze do 85ºC i są gotowe dostarczyć przy zimnym starcie z temperatury otoczenia ponad 50% znamionowej mocy netto. Rolę elektrolitu pełni w nich cienka polimerowa membrana. To właśnie w kierunku tych ogniw zwrócono się w ciągu kilkunastu minionych lat. Ze względu na szeroki zakres generowanych mocy, takie ogniwa paliwowe mogą być wykorzystywane jako generatory energii elektrycznej i ciepła w różnych dziedzinach życia – rysunek 7.2. Należy zwrócić uwagę, że można budować z nich stosy o mocy od 1W do 500 kW.



Rys. 7.2. Typowe zastosowania różnych rodzajów ogniw paliwowych [57].

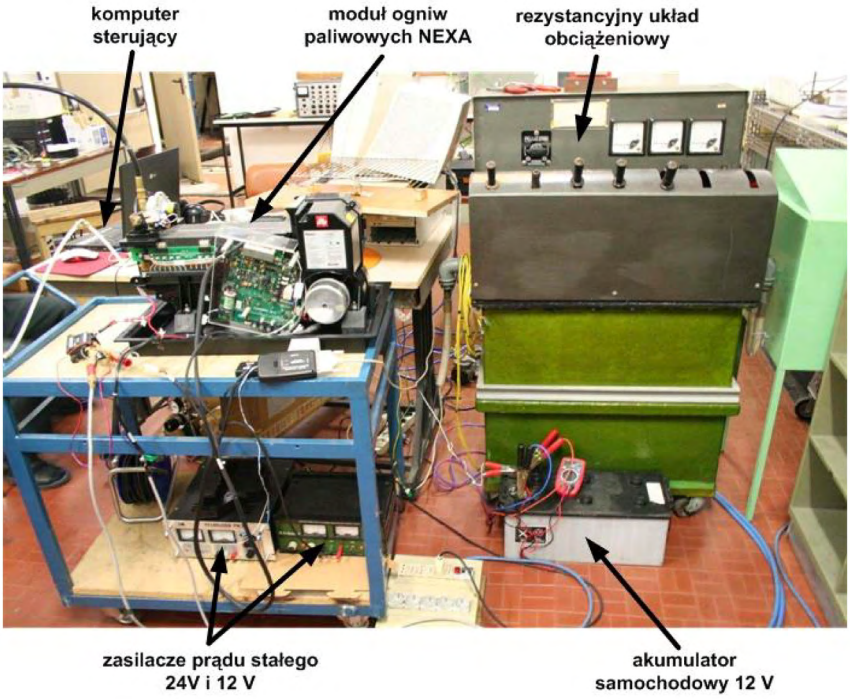
Wodorowe ogniwa paliwowe zaczynają się pojawiać w wielu dziedzinach naszego życia. Mogą stanowić źródło prądu elektrycznego o mocy kilku watów w celu zasilania telefonów komórkowych oraz innych urządzeń, takich jak laptopy, poprzez kilka kilowatów jako źródło awaryjnego zasilania dla sprzętu AGD RTV i dla jachtów, do kilkudziesięciu kilowatów dla potrzeb motoryzacji oraz aż do kilkuset watów, żeby zasilać autobusy i pełnić funkcje przydomowych generatorów mocy i ciepła. Jak się okazuje, również systemy ogniw paliwowych

można optymalizować w celu uzyskiwania jak największej sprawności. Można to czynić na wiele sposobów. Odpowiedni dobór komponentów do budowy takiego systemu oraz efektywne sterowanie nimi umożliwiają realizację owych celów.

7.1.2. Cechy ogniw paliwowych typu PEM

Cechy ogniwa paliwowego typu PEM zostaną przedstawione na przykładzie modułu Nexa firmy Ballard, który jest pierwszym komercyjnym systemem generowania mocy, opartym na ogniwach paliwowych (rysunek 7.2). Został zaprojektowany do współpracy z artykułami gospodarstwa domowego jako zasilanie awaryjne. Wytwarza około 1200 W energii elektrycznej przy napięciu 26V. Dzięki zewnętrznemu układowi zasilania w wodór, praca układu jest ciągła i ograniczona jedynie pojemnością butli z wodorem. W skład systemu wchodzą następujące komponenty:

- stos 47 ogniw paliwowych typu PEM o czynnej powierzchni 100 cm^2 każde,
- sprężarka typu Roots zasilająca stronę katodową ogniwa w powietrze,
- wentylator chłodzący,
- nawilżacz powietrza,
- zawór oczyszczania strony anodowej ogniwa,
- sterownik,
- butla ze sprężonym wodorem (200 barów) wraz z reduktorem.



Rys. 7.3. Widok stanowiska do badań ogniw paliwowych, znajdującego się na uniwersytecie w Trieście (Włochy).

Ogniwo paliwowe jest obiektem zmieniającym w czasie swoje właściwości. Szereg zjawisk fizycznych i chemicznych w nim zachodzących wiąże wiele sprzężeń zwrotnych i zapętleń. Jego parametry pracy zależą również od warunków otoczenia. Każde ogniwo paliwowe ponadto ma inne właściwości tuż po wyjściu z taśmy produkcyjnej. Rozrzut napięcia na krzywej polaryzacji dla poszczególnych egzemplarzy wynosi około 9% dla punktu pracy z obciążeniem 30A (dane producenta).

Do zjawisk mających największy wpływ na niepowtarzalność pracy ogniwa paliwowego można zaliczyć:

- naturalne starzenie się materiałów, z których zostało wykonane ogniwo,
- chwilowe „zatrucie" elektrod, powodowane zanieczyszczeniami substratów reakcji,
- zjawisko zatapiania anody,
- różnice w wymiarach kolektorów zasilających, powodowane rozrzutem wymiarów w zakresie tolerancji, a mające wpływ na dynamikę przepływu substratów.

7.1.3. Trwałość i niezawodność komponentów systemów generowania mocy opartych na ogniwach PEM

Jeżeli jednak mamy zamiar zająć się zagadnieniami trwałości, niezawodności i eksploatacji systemów generowania mocy opartych na ogniwach paliwowych, konieczne jest także uwzględnienie pozostałych komponentów, które wchodzą w ich skład. Producent przewiduje, że stos ogniw paliwowych w module Nexa powinien generować moc znamionową 1200 W przynajmniej przez 1000 godzin pracy. Zatem czas życia systemu generowania mocy jest zdeterminowany trwałością stosu ogniw. Inne komponenty takie jak sprężarka, wentylator chłodzący, czy elementy wchodzące w skład układu sterowania (czujniki, sterownik) są wykonane w technologii umożliwiającej pracę kilkudziesięciu tysięcy godzin.

W tym miejscu należy również poruszyć temat bezszczotkowych silników prądu stałego, które już na stałe zapewne będą towarzyszyć ogniwom paliwowym. Silniki bezszczotkowe prądu stałego posiadają kilka szczególnych zalet w porównaniu z tradycyjnymi silnikami szczotkowymi. Ponieważ zjawisko komutacji przeprowadzane jest na drodze elektronicznej, silniki te są zdolne do uzyskiwania bardzo wysokich prędkości obrotowych i momentów bez występowania iskrzenia, jak to miało miejsce w klasycznym komutatorze. Silniki te mają niższy opór cieplny i mogą pracować w szerszym zakresie temperatur. Brak szczotek pozwala na dużą rozpiętość prędkości obrotowych. Dlatego tego typu silniki cechuje duży moment obrotowy w stosunku do momentu bezwładności i duża siła startowa. Takie cechy pozwalają na dokładniejsze sterowanie tymi silnikami. Silniki bezszczotkowe BLDC mają większą gęstość mocy niż silniki prądu przemiennego (AC) oraz silniki szczotkowe DC. Posiadają też wyższy współczynnik sprawności, od 5 do 10% wyższy niż silniki prądu przemiennego i o 8–12% większy od silników DC szczotkowych. Wyższy moment napędowy w stosunku do momentu bezwładności sprawia, że silniki te osiągają większe przyspieszenia, co umożliwia szybką reakcję systemu w stanach dynamicznych. Dzięki temu, że w omawianych silnikach zrezygnowano z komutacji szczotkowej silniki te nie wymagają konserwacji i mają większą trwałość. W rezultacie zostało również zlikwidowane zjawisko iskrzenia, co sprawia, iż mogą one pracować w wybuchowych środowiskach. Silniki bezszczotkowe są ponadto bezpieczniejsze w kontakcie z płynami. Poza tym nie wywołują zakłóceń elektrycznych, a ich praca jest cicha.

Wszystkie te cechy zdecydowały, że silniki bezszczotkowe są bardzo chętnie stosowane do napędu sprężarek, wentylatorów chłodzących oraz są wykorzystywane jako silniki trakcyjne w pojazdach zasilanych ogniwami paliwowymi. Ciekawostką jest fakt, że silnik trakcyjny tego typu chłodzony olejem, o mocy 100 kW, produkowany przez firmę Zytek Ltd. waży zaledwie 21 kg.

7.1.4. Systemy ogniw paliwowych w motoryzacji

W ostatnich dziesięcioleciach poszukuje się bardziej przyjaznych środowisku rozwiązań niż silnik spalinowy. Ostre regulacje prawne, dotyczące czystości spalin, bez wątpienia przyspieszają wdrożenie ogniw paliwowych do napędu samochodów osobowych i autobu-

sów. Przemysł samochodowy jest z pewnością najaktywniejszym inwestorem w obszarze ogniw paliwowych i każdego roku inwestuje miliardy dolarów w ich badania i rozwój. Niemal wszystkie firmy samochodowe są zaangażowane w badania nad ogniwami paliwowymi i posiadają prototyp zasilanego wodorem pojazdu.

Aby mówić o trwałości i niezawodności ogniwa paliwowego jako jednostki napędowej pojazdu, należy stworzyć odpowiedni projekt takiego układu. W historii motoryzacji miały miejsce próby zastosowania wielu rodzajów ogniw paliwowych do napędu samochodu. Nie wszystkie z nich okazały się jednak odpowiednie do tego.

Typem ogniwa paliwowego, które w największym stopniu spełnia wymogi dzisiejszej motoryzacji, jest ogniwo PEM. Przypuszczenia te potwierdza tendencja u liderów w tej dziedzinie. Ogniwa PEM posłużyły do zbudowania wielu jeżdżących prototypów samochodów przyszłości. Praktycznym przykładem układu zasilania opartego na tym ogniwie jest napęd nowego mercedesa citaro fuelCELL-hybrid – rysunek 7.4. Pojazd wykorzystuje system ogniw PEM o mocy 150 kW, współpracujący z zestawem baterii litowo-jonowych o mocy 250 kW. Wodór jest przechowywany na pokładzie w formie sprężonej pod ciśnieniem 35 MPa. Obecny zasięg pojazdu wynosi około 250 km, i przewiduje się jego zwiększenie do 400 km. Zakładany przez producenta okres eksploatacji wynosi 140 000 godzin pracy, co odpowiada przebiegowi 2,2 miliona kilometrów.

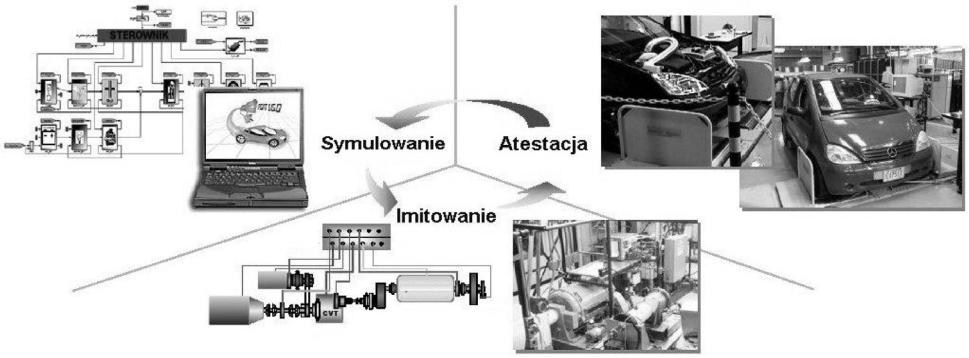
Rys. 7.4. Mercedes citaro fuelCELL-hybrid w porcie w Hamburgu [112].

7.1.5. Program badań pojazdów zasilanych ogniwami paliwowymi

Przy badaniu tego typu pojazdów bardzo ważną rolę odgrywa ciągle rozwijająca się grupa badań symulacyjnych, które często są jedynym sposobem na przeprowadzenie skutecznej analizy porównawczej reguł sterowania obiektami nieliniowymi o stochastycznie zmiennych parametrach i warunkach pracy. Badania takie dodatkowo znacznie zmniejszają koszt eksperymentu i pozwalają na precyzyjną analizę, która nie zależy od czynników zakłócających, trudnych do wyeliminowania na stanowisku badawczym.

Badania symulacyjne muszą być potwierdzone przez badania prowadzone na hamowni. Kolejną próbą jest konfrontacja wyników uzyskanych na hamowni z właściwościami trakcyjnymi pojazdu poruszającego się po drogach. Często bywa tak, że czynności badawcze

zamykają się w pętlę w celu poszukiwania najlepszych rozwiązań. Najistotniejszą cechą procesu projektowania tego typu obiektów jest iteracyjny charakter poszukiwania rozwiązań. Prowadzi to do zmian w kolejności realizacji kolejnych faz projektowania oraz nawrotów związanych z wynikami bieżącej oceny układu – rysunek 7.5.



Rys. 7.5. Kolejność przeprowadzania badań prototypu pojazdu zasilanego ogniwem paliwowym [57].

Podczas normalnej eksploatacji pojazdu w warunkach drogowych charakterystyczna jest ciągła zmiana obciążenia układu napędowego. Jazda samochodem składa się z szeregu etapów przyspieszania, jazdy ze stałą prędkością, opóźniania czy hamowania. Jeżeli pojazd jest zasilany układem opartym na ogniwie paliwowym, oznacza to, że ogniwo musi generować zmienną w czasie moc, zależną od chwilowego zapotrzebowania. Z punktu widzenia układu sterowania wymaga to ciągłego dopasowywania parametrów pracy stosu ogniw paliwowych do zmieniających się warunków. Jednocześ-nie konieczna jest ciągła rejestracja wielu sygnałów pomiarowych i wskaźników pracy całego układu w celu wyznaczenia odpowiednich parametrów sterujących. Dokładne poznanie właściwości ogniw paliwowych oraz ich charakterystyk statycznych i dynamicznych pozwoli wybrać optymalną metodę sterowania tym jeszcze w niewielkim stopniu zbadanym obiektem.

7.1.6. Strategie sterowania samochodowym ogniwem paliwowym

Do wszelkich pojazdów mechanicznych poruszających się po drogach publicznych stosuje się strategie sterowania, które uwzględniają następujące aspekty:

- ekologiczny,
- ekonomiczny,
- bezpieczeństwa,
- trwałościowy.

Rozpatrując wymagania ekologiczne, okazuje się, że pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi są w stanie spełnić wszelkie wymogi legislacyjne dotyczące ochrony środowiska. Nie potrzeba wyszukanych procedur strategicznych, aby zapewnić bezemisyjność pracy ogniwa. Istota jego działania polega na bezpośredniej zamianie energii chemicznej substratów na energię elektryczną, a jedynymi skutkami ubocznymi są: generowanie wody i ciepła. Według niektórych badaczy, intensywny rozwój ogniw paliwowych jest wynikiem poszukiwania przyjaznego środowisku napędu przyszłości.

Aspekt ekonomiczny wiąże się ściśle ze sprawnością całego układu zasilania opartego na ogniwie paliwowym. Zadaniem procedur strategicznych jest zatem zapewnienie pracy

układu, o ile jest to możliwe, w zakresach największych sprawności. Przykładowo praca sprężarki w odpowiednich zakresach prędkości obrotowych i momentów pozwoli minimalizować straty bierne przeznaczone na jej napęd, a tym samym dążyć do maksymalnej mocy netto układu [2].

Wymogi związane z bezpieczeństwem stawiają przed układem sterowania dość trudne warunki do spełnienia. W chwilach maksymalnego zapotrzebowania na moc, występującego na przykład podczas wyprzedzania, układ sterowania nie powinien stawiać zbyt ostrych warunków ekologicznych ani zważać na inne aspekty sterowania. W przypadku pojazdów zasilanych ogniwami paliwowymi pojawia się tutaj poważny problem związany z szybką reakcją układu na zmianę obciążenia. Jedynie inteligentne układy sterowania, bazujące na wiedzy *a posteriori,* są w stanie zapewnić najmniejszą zwłokę dynamiczną układu. Aspekt bezpieczeństwa jest jednym z ważniejszych wyzwań stawianych adaptacyjnym układom regulacji.

Wymagania trwałościowe można zakwalifikować do dziedziny ekonomicznej. Jest to jednak bardzo duży problem. Wielu naukowców pracuje obecnie nad uzyskaniem membran polimerowych o odpowiedniej trwałości czy sposobem nanoszenia katalizatora na powierzchnię chropowatych elektrod, a wszystko to, aby wydłużyć czas pracy ogniwa. Procedury strategiczne mogą sprzyjać tym dążeniom lub całkowicie je zniweczyć. Bardzo duży wpływ na żywotność membrany ma różnica ciśnień po obydwu jej stronach. Zastosowanie prostego proporcjonalnego algorytmu sterowania może ten problem zupełnie rozwiązać.

Producenci ogniw paliwowych, tak jak wszystkie koncerny światowe, planują rozwój swych produktów w celu podniesienia ich atrakcyjności rynkowej, a przez to zwiększenie sprzedaży. Koncern Ballard zakłada roczne postępy w najważniejszych kierunkach rozwoju samochodowych ogniw paliwowych. Realizacja takich celów pozwoli na wprowadzenie do masowej produkcji pojazdów zasilanych ogniwami paliwowymi. Będzie to możliwe dzięki:

- zwiększeniu trwałości – wydłużeniu czasu życia ogniwa,
- zwiększeniu zdolności związanych z zimnym startem ogniwa,
- zwiększeniu gęstości mocy stosu ogniw,
- obniżeniu kosztów produkcji.

Dla przyszłych nabywców pojazdów zasilanych ogniwami paliwowymi, trwałość oznacza oczekiwanie tego samego poziomu właściwości jezdnych i niezawodności, który dziś oferują pojazdy z silnikiem spalinowym.

Umiejętne zarządzanie wodą, produkowaną w ogniwie paliwowym, umożliwia start ogniwa w temperaturze -20ºC. W ciągu 100 s można uzyskać 50% mocy znamionowej. Pozwoli to na komercjalizację samochodowych ogniw paliwowych nawet w regionach świata, w których występują bardzo niskie temperatury.

Zwiększenie objętościowego wskaźnika gęstości mocy określa, jaka jest możliwość osiągania coraz większych mocy z tej samej objętości stosu ogniw.

Koszt samochodowych ogniw paliwowych powinien być porównywalny z ceną dzisiejszych silników spalinowych, aby owa technologia mogła w krótkim czasie wejść na rynek. Obecnie cena ogniw paliwowych została zmniejszona do 30 $/kW. Dzieje się tak dzięki zastosowaniu innowacyjnych technologii w budowie stosu, rozwojowi nowych materiałów i optymalizacji pracy systemu.

Celem tej części podręcznika było przybliżenie problematyki trwałości, niezawodności i eksploatacji systemów generowania mocy opartych na ogniwach paliwowych. Zaledwie kilka z nich krótko omówiono, a parę tylko zasygnalizowano. Tych kilka przykładów uwidocznia jednak, jakich postępów dokonano w ciągu kilkudziesięciu lat badań nad ogniwami paliwowymi, a także pozwala uzmysłowić sobie, ile problemów trzeba jeszcze pokonać, aby były one powszechnie dostępne dla każdego z nas.

Na koniec nasuwa się pytanie: „Dlaczego już dzisiaj warto zajmować się problemami optymalizacji, trwałości i eksploatacji systemów opartych na ogniwach paliwowych?”.

Otóż w fazie badań i projektowania ułatwia to wychwycenie słabych ogniw występujących w takich systemach oraz dostosowanie ich właściwości do konkretnego zastosowania. Wpływa to istotnie na koszty całego systemu, przez co na pewno przyczyni się do szybszego wprowadzenia ogniw paliwowych na rynek.

Sięgnijmy jeszcze dalej w przyszłość. Wprowadzeniu na rynek systemów opartych na ogniwach paliwowych będzie musiał towarzyszyć rozwój infrastruktury związanej ze sprzedażą, diagnozowaniem, serwisowaniem i dostarczeniem paliwa w postaci wodoru lub innej substancji wodoronośnej.

7.2. Wodór jako paliwo

Wodór – najprostszy z wszystkich pierwiastków, występujący bardzo często w postaci związków chemicznych (m.in. kwasy, woda, związki organiczne) ale bardzo rzadko w stanie wolnym. Otrzymywany jest z paliw kopalnianych, biomasy lub przez elektrolizę wody. Szczególną uwagę należy zwrócić na fakt możliwości produkcji wodoru ze źródeł odnawialnych, a następnie użycie go w ogniwach paliwowych. Jest to bowiem nadzieja na czysty transport w przyszłości. Wodór jako paliwo jest dużo bardziej ekologiczny aniżeli benzyna, olej napędowy czy gaz w różnej postaci. Wszystko za sprawą skutków ubocznych, czyli powstałych gazów podczas spalania wyżej wymienionych paliw w konwencjonalnych silnikach spalinowych. Podczas utleniania wodoru w ogniwach paliwowych jedynym produktem ubocznym jest para wodna, a zatem jest to najbardziej proekologiczne paliwo, jakim w chwili obecnej dysponuje świat. Można zatem śmiało wysnuć wnioski, że ludzkość powinna przyczynić się do rozwoju pozyskiwania wodoru ze źródeł odnawialnych, jak również infrastruktury dystrybucji na jak najszerszą skalę. Są to na tę chwilę najbardziej rozsądne i przyjazne środowisku działania zmniejszające emisję CO_2 w powietrzu.

7.2.1. Własności wodoru

Wodór jest gazem bezbarwnym, bezwonnym i nieposiadającym smaku. Jego temperatura wrzenia wynosi 20 K, a temperatura krzepnięcia – 14 K. W stanie wolnym wodór występuje w górnych warstwach atmosfery oraz w gazach wulkanicznych. Na Ziemi wodór występuje prawie wyłącznie w postaci związków chemicznych organicznych. Gęstość wodoru wynosi odpowiednio dla jego stanu skupienia:

- gazowego 90 g/m³ (273K, 1013hPa),
- ciekłego 70,8 kg/m³,
- krystaliczny 88 kg/m³.

Jest to niewątpliwie najlżejszy pierwiastek w prawie każdym stanie skupienia. Jego przewodność cieplna wynosząca 0,1745 W/(m*k), jak również ciepło właściwe o wartości 14, 195 kJ/(kg*K) (w 273K) są największe ze wszystkich występujących w przyrodzie gazów. Wartość opałowa wodoru wynosi aż 120 MJ/kg.

W porównaniu z benzyną jest to ok. 2,5-krotnie większa wartość opałowa niż benzyna, a z węglem aż 5-krotnie razy większa niż węgiel. Wodór dyfunduje przez gumę, materiały porowate, a w podwyższonej temperaturze – przez stal.

Dobrze rozpuszcza się w palladzie (870 objętości wodoru w 1 objętości palladu), niobie, platynie czy niklu, natomiast słabo – w wodzie (0,021 objętości wodoru w 1% objętości wody). Najczęściej spotykanym źródłem wodoru jest woda. Wodór związany z tlenem w postaci wody nie jest palny, natomiast związany z węglem w węglowodorach – gwałtownie reaguje z tlenem, wytwarzając dużą ilość ciepła i parę wodną. Reakcja następuje już od 6% H_2 w O_2, aż do 5% O_2 w H_2. Spalanie wodoru w obecności tlenu daje prawie bezbarwny,

jasnoniebieski płomień o stosunkowo dużej prędkości propagacji (2,7m/s). Szansa samozapłonu mieszaniny wodoru z powietrzem jest zależna od jego koncentracji. Przy temperaturze 293K mieszanina może już ulec zapaleniu, jeśli objętościowe stężenie wodoru wynosi od 4 do 75%. Najbardziej niebezpieczne ze względu na palność i wybuchowość jest posługiwanie się wodorem w gazowym stanie skupienia i wymaga szczególnej ostrożności. Stosowanie ciekłego wodoru stwarza dodatkowe zagrożenia, związane z możliwością tworzenia się wybuchowych mieszanin wodoru w ciekłym stanie skupienia z zestalonym tlenem lub z zestalonym powietrzem wzbogaconym w tlen.

7.2.2. Magazynowanie wodoru

Wodór w gazowym stanie skupienia jest niebezpieczny. W związku z tym jego magazynowanie stanowi nie lada wyzwanie, aby robić to w bezpiecznych warunkach. Ze względu na bardzo mały ciężar właściwy przechowywanie wodoru w postaci gazowej w warunkach normalnych prowadziłoby do niewielkiej gęstości zmagazynowanej energii. Obecnie jest wykorzystywanych kilka metod przechowywania wodoru w zależności od jego stanu skupienia:

1) **Wodór sprężony w gazowym stanie skupienia –** aby sprężyć wodór potrzebne są duże nakłady energii, a mała gęstość wodoru sprawia, że nawet pod dużymi ciśnieniami zgromadzona jest stosunkowo mała ilość energii. W wyniku tego potrzebne są duże zbiorniki, które w fazie produkcji kosztują dużo ze względu na wysokie koszty materiałów użytych do ich budowy. Jako gaz przechowywany jest w temperaturze ok. 298K i w zakresie ciśnień od 150 do 800 barów. Ciśnienia te są zależne od zastosowania, czyli dla przykładu: w rozwiązaniach systemowych mobilnych o małej pojemności stosowane są zbiorniki o ciśnieniu do 350 barów, natomiast do zastosowań stacjonarnych jest to już nawet 800 barów. Najnowsza obecnie technologia lekkich zbiorników ciśnieniowych, wyposażonych w specjalne przepony, pozwala na magazynowanie wodoru pod ciśnieniem 700 barów, a ilość zmagazynowanego wodoru w fazie gazowej jest równa 12% masy zbiornika,
2) **Wodór w ciekłym stanie skupienia –** do skroplenia wodoru wymagane są jeszcze wyższe nakłady energii aniżeli jego sprężenie. Dodatkowo musi być on przechowywany w temperaturze 20K, co prowadzi do wysokich kosztów materiałów tych zbiorników. Sposób ten nie jest efektywny wówczas, gdy wodór nie jest pobierany w sposób ciągły. Wynika to ze strat wodoru poprzez jego odparowywanie. Dlatego obecnie badane są tzw. zbiorniki hybrydowe. Łączą one cechy zbiorników kriogenicznych i ciśnieniowych i charakteryzują się mniejszą wagą niż fizyczne wodorki metali, są mniejsze niż zbiorniki ciśnieniowe, wymagają mniejszych nakładów energii do skroplenia wodoru oraz wykazują mniejsze straty, jeśli chodzi o odparowywanie wodoru niż tradycyjne zbiorniki do magazynowania wodoru,
3) **Fizyczne wodorki metali –** magazynowanie poprzez zaadsorbowanie wodoru na powierzchni stopów niklu i chromu. W fazie napełniania zbiornika wodorem wydziela się energia w postaci ciepła, która najczęściej jest wytracana. Analogicznie, do odzyskania wodoru potrzebne jest dostarczenie ciepła do zbiornika, a prędkość wydzielania się wodoru jest uzależniona od ilości dostarczonej energii. Podczas gdy w przypadku małych, dobrze zaprojektowanych zbiorników dodatkowe ciepło niekoniecznie musi zostać dostarczone, to w przypadku dużych zbiorników odzysk wodoru może być dużo bardziej skomplikowany. Jest to wynikiem zależności prędkości wydzielania się wodoru od temperatury otoczenia. Obecny stan technologii fizycznych wodorków metali pozwala na zmagazynowanie nie większej ilości niż 5% masy zbiornika. Zatem zbiornik ważący ok. 100 kg będzie zawierał tylko 5% wodoru, co odpowiada mniej więcej 20 litrom benzyny. Jeśli jednak w samochodzie zainstalowane byłoby ogniwo paliwowe, które ma spraw-

ność około dwukrotnie wyższą niż silnik spalinowy, oznaczałoby to, iż tych 20 litrów benzyny starczy na pokonanie dwukrotnie większej odległości niż w przypadku zwykłego samochodu,

4) **Chemiczne wodorki metali –** wodór może być także magazynowany w postaci związków chemicznych takich jak KH, LiH, $NaBH_4$. Reakcja uwalniania wodoru ze związku takiego jak na przykład borowodorek sodu, jest stosunkowo łatwa i prosta. Należy dostarczyć wodę i praktycznie jakikolwiek katalizator, aby odzyskać wodór. Metoda ta jest bardzo efektywna gdyż otrzymujemy dwa razy więcej wodoru niż było zmagazynowane, co jest efektem rozbicia cząsteczki wody:

$$NaBH_2 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + NaBO_2$$

Magazynowanie wodoru przy użyciu borowodorku sodu jest w chwili obecnej najbardziej rozwiniętą technologią chemicznych wodorków metali. Została ona wykorzystana w prototypowym samochodzie osobowym koncernu Daimler-Chrysler model natrium.

7.2.3. Przemysłowe gromadzenie i transport wodoru

Wodór techniczny jest produkowany w Zakładach Azotowych w Puławach. Jest on tam produkowany z metanu w procesie reformingu parowego. Następnie jest osuszany i sprężany do ciśnienia ok. 250 barów. Następnie jest dystrybuowany w butlach stalowych o pojemności 50 litrów. 12 takich butli tworzy tzw. wiązkę, która została przedstawiona na rysunku 7.6.

Rys. 7.6. Wiązka 12 butli z wodorem.

Prawidłowe oznaczenie butli z wodorem zostało przedstawione na rysunkach 7.7 i 7.8.

Rys. 7.7. Oznaczenie butli z wodorem.

Rys. 7.*8*. Oznaczenie butli z wodorem.

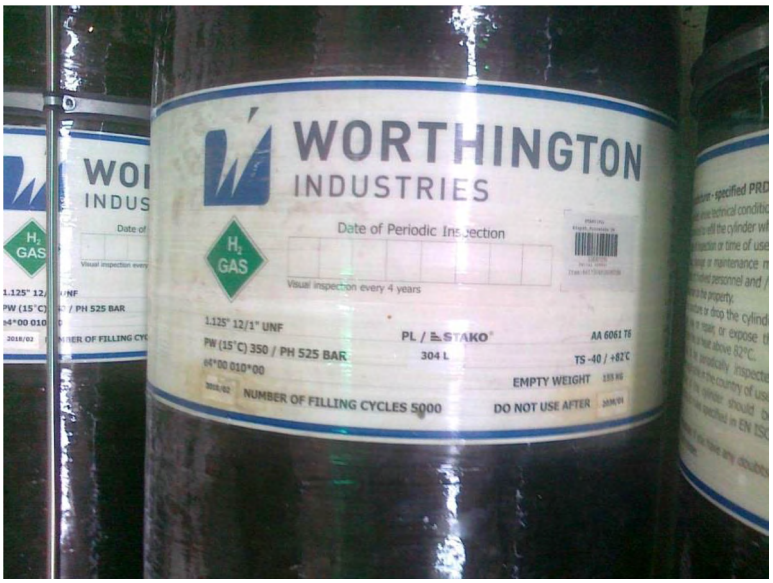
7.2.4. Gromadzenie wodoru w pojazdach

Wodorem mogą być zasilane również autobusy, wykorzystujące napęd w postaci wodorowych ogniw paliwowych. Przykładem takiego pojazdu jest autobus ursus bus, przedstawiony na rysunku 7.9.

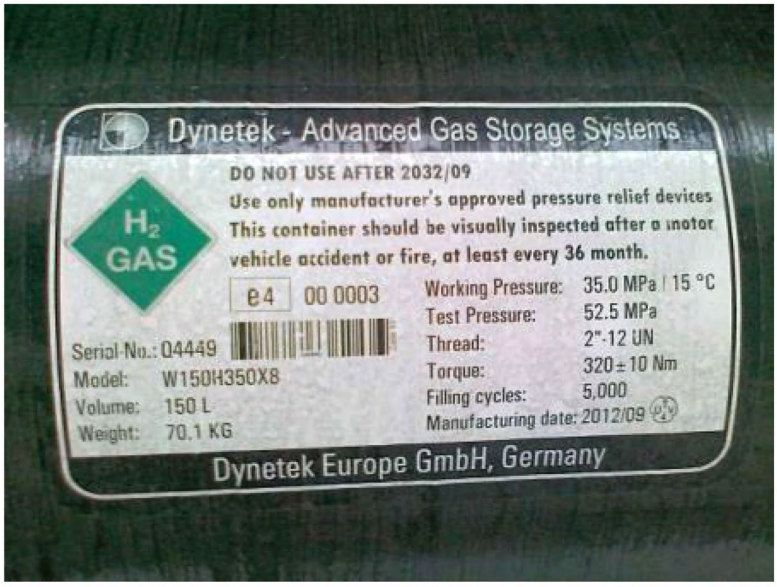
Rys. 7.9. Tankowanie wodorowego ursusa.

Na jego dachu zamontowano pięć ogromnych kompozytowych zbiorników wodoru (rysunek 7.10). Są one w stanie pomieścić ok. 40 kg wodoru, co zapewnia lubelskiemu autobusowi wodorowemu zasięg ponad 400 km. Wodór jest w nich gromadzony pod ciśnieniem 350 barów, co jest standardem europejskim w tym zakresie. Pojazdy osobowe tankowane są wodorem pod ciśnieniem wynoszącym 700 barów. Wszelkie dane techniczne, dotyczące zbiorników kompozytowych przeznaczonych do gromadzenia wodoru, zawarte są na naklejkach homologacyjnych. Dwa przykłady takich naklejek przestawiono na rysunkach 7.11 i 7.12.

Rys. 7.10. Zbiorniki z wodorem na dachu wodorowego ursusa.



Rys. 7.11. Naklejka homologacyjna na zbiorniku wodoru.



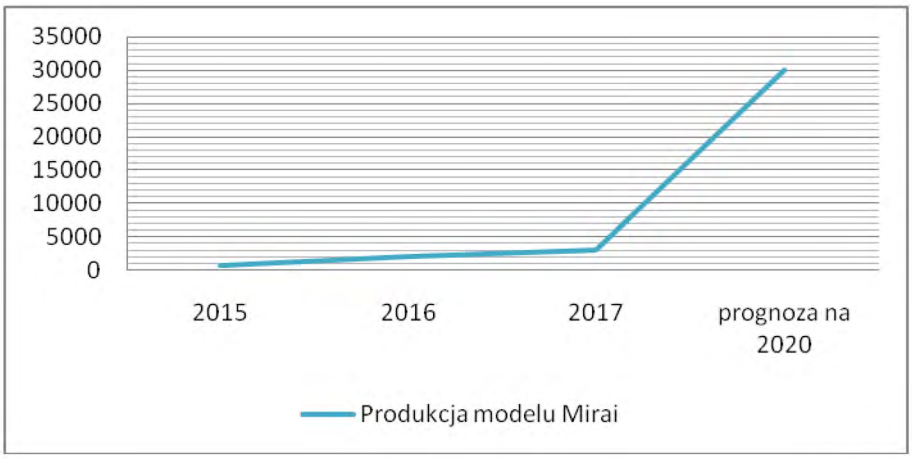
Rys. 7.12. Naklejka homologacyjna na zbiorniku wodoru.

7.3. Napęd wodorowy w toyocie mirai

Toyota to największa firma motoryzacyjna na świecie. Produkuje samochody na dosłownie każdy rynek i wszędzie robi to dobrze, dostosowując parametry pojazdu do wymogów na danym terenie. Niewątpliwie jest to jedna z najbardziej innowacyjnych marek, dzięki której samochody hybrydowe, w których nikt nie pokładał nadziei, dziś odnoszą tak spektakularny sukces i są dostępne dla każdego. Pierwszą komercyjną hybrydą był model prius, debiutujący w 1996 roku. Z początku dostępny był wyłącznie w Japonii. Począwszy swoją ekspansję od Stanów Zjednoczonych i Australii w 1998 roku aż w końcu w roku 2000 był dostępny również w Europie. W tamtych czasach świat motoryzacyjny nie był jeszcze tak nastawiony na ekologię jak dziś. Korporacje motoryzacyjne prześcigały się w coraz to lepszych osiągach i wyposażeniu, gdzie Toyota w dalszym ciągu udoskonalała swój samochód hybrydowy, czyli elektryczno-spalinowy. Z początku poprzez zaawansowanie technologiczne zastosowane w modelu prius twierdzono, iż będzie to bardzo awaryjny samochód. Było to opiniowanie nie poparte żadnymi dowodami ani statystykami. Prius jednak obronił się sam i stał się wzorem niezawodności. Dzięki kolejnym modyfikacjom i kolejnym generacjom prius stawał się coraz lepszy, szybszy i bardziej ekologiczny, a bezawaryjność w dalszym ciągu była i jest synonimem modelu. Po ponad dwudziestu latach od wprowadzenia na rynek samochodu hybrydowego można zaobserwować tendencję wzrostową, jeśli chodzi o zakup samochodów elektryczno-spalinowych przez konsumentów na całym świecie (szczególnie Europa nabywa ich najwięcej). Dodatkowe ulgi, tj. zniżka na samochód ekologiczny, możliwość wjazdu do centrów miast i bardzo niskie spalanie w mieście połączone ze zredukowaną do minimum bezawaryjnością szybko zweryfikowały rynek i w efekcie wzrost sprzedaży hybryd jest z roku na rok coraz większy. Tu, gdzie pozostali producenci (poza Hondą która również od wielu lat produkuje model hybrydowy in-sight) dopiero raczkują w technologii hybrydowej, Toyota ma już mocno rozwinięty model, nieustannie pracując nad kolejnymi udoskonaleniami. Dlaczego opis dotyczy pojazdu hybrydowego? Otóż po to, aby uświadomić, czym w chwili obecnej jest pierwszy komercyjny samochód z napędem wodorowym. W chwili obecnej, kiedy producenci starają się na szybko tworzyć hybrydy lub auta

napędzane wyłącznie energią elektryczną mogą jedynie pomarzyć o stworzeniu takiego napędu, w jaki jest wyposażony model mirai. Oczywiście będzie to o wiele łatwiejsze w dzisiejszych czasach dla innych aniżeli dla Toyoty kiedyś, tym bardziej że Toyota udostępniła ok. 20 tysięcy patentów potrzebnych do produkcji auta na ogniwa paliwowe, którą technologię wymyślała od końca XX w. i można powiedzieć od zera, wydając na opracowanie tego napędu miliardy złotych. Można to porównać do czasów, kiedy wchodził prius ponad 20 lat temu. Sytuacja miała się podobnie do tej dziś, gdzie był to swego rodzaju eksperymentalny napęd i każdy brał to za dziwny wynalazek, który może wprowadza jakieś innowacje, ale nie jest warty takiego zachodu i nakładów finansowych. Dziś już wiadomo, że był to przełom w motoryzacji, a teraz właśnie nastąpił kolejny. Zanim świadomość dotrze do konsumentów, musi minąć kilka lat, lecz można być pewnym jednego – jest to jedyna rozsądna, przyszłościowa, ekologiczna i bezpieczna forma zasilania pojazdów, która ma szansę przetrwać przez kolejne dziesięciolecia.

Plan masowego wdrożenia modelu mirai na rynku globalnym przedstawiono na rysunku 7.13.



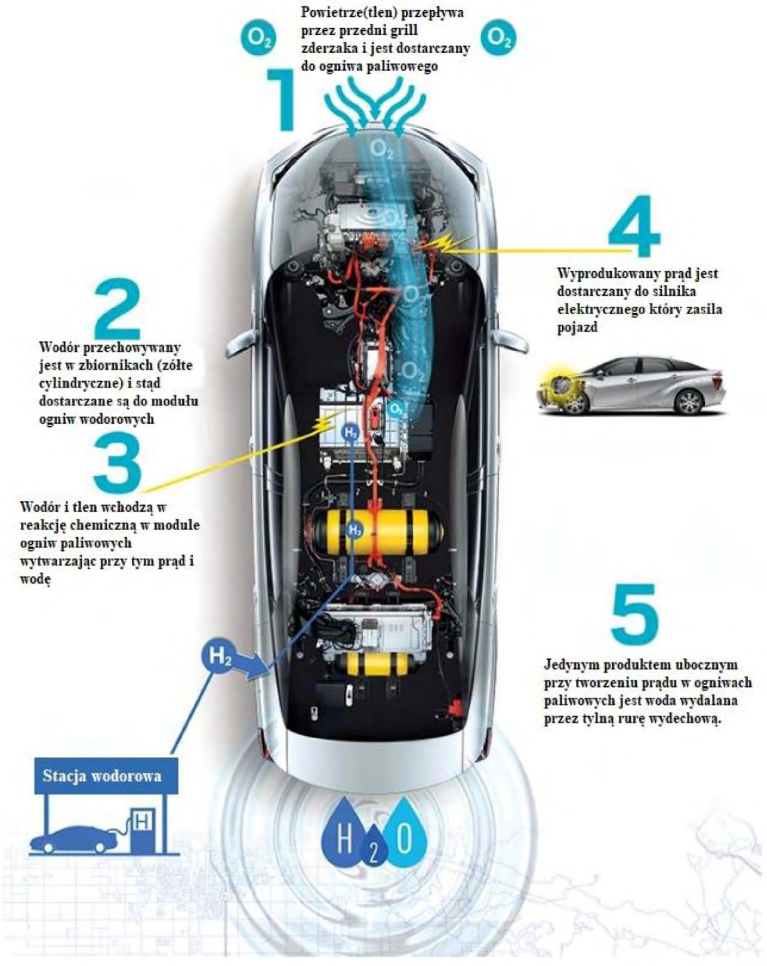
Rys. 7.13. Produkcja modelu mirai.

Hybryda i auto z napędem wodorowym mają ten sam główny cel – być przyjazny dla środowiska, nie wpływając na komfort jazdy użytkownika. Hybrydowy napęd jest tworzony tak, aby jak najczęściej jeździł w trybie elektrycznym, a „wodorowy" model mirai wykorzystuje tylko napęd elektryczny. Pojawia się pytanie: Dlaczego napęd elektryczny skoro to samochód na wodór? Dzięki wodorowi tankowanemu do zbiorników oraz ogniwom paliwowym zamieniającym wodór i zasysane powietrze (tlen) w energię elektryczną, toyota mirai napędzana jest elektryczną jednostką napędową. Zatem, należy mieć świadomość, że wodór nie uczestniczy w procesie spalania, tak jak ma to miejsce w przypadku np. benzyny. Spalanie wodoru jest bardzo niebezpieczne, gdyż jest to paliwo o wiele bardziej energetyczne aniżeli gaz czy benzyna i trudniej jest kontrolować przebieg jego spalania. Wodór jest przetwarzany na prąd, a więc model mirai można nazywać autem elektrycznym, z tym że produkującym prąd w ekologiczny sposób. Toyota w pierwszym roku od zaprezentowania wyprodukowała 700 sztuk modelu mirai, sukcesywnie zwiększając produkcję w kolejnych latach (rysunek 7.13). Największym popytem na chwilę obecną charakteryzuje się stan Kalifornia w USA. Dzieje się to nie tylko dzięki świadomości konsumentów o złych skutkach ubocznych używania samochodów z silnikami spalinowymi na środowisko, ale także dzięki rozwiniętej infrastrukturze stacji tankowania.

Samochody zasilane z zewnątrz energią elektryczną byłyby najbardziej ekologicznymi pojazdami, gdyż energię można pozyskiwać ze źródeł odnawialnych (wiatr, słońce itp.), lecz aby

gromadzić tę energię potrzebne, są bardzo duże i ciężkie baterie litowo-jonowe, w których skład wchodzą szkodliwe związki oraz niezbędny do ich budowy lit. Jest to pierwiastek trudny w wydobyciu i o ograniczonych zasobach. Nie można zatem powiedzieć, że jest to forma najbardziej ekologicznego pojazdu. Inaczej ma się w tej kwestii toyota mirai czerpiąca energię na bieżąco z wodoru, gdyż ma swoją własną „elektrownię" pod fotelem kierowcy. Mimo iż także posiada baterie trakcyjne, to są one kilkakrotnie mniejsze w porównaniu z typowym samochodem elektrycznym, co pozwala redukować koszty zakupu i wydobycie szkodliwych związków dla środowiska. Podsumowując, cała idea pojazdów wodorowych polega na stworzeniu jak najbardziej czystego napędu zasilanego prądem elektrycznym, który może być pozyskiwany w pojeździe ze zgromadzonego w zbiornikach wodoru. Wszystkie te warunki spełnia toyota mirai. Poniżej został przedstawiony opis zasady działania na jej przykładzie najbardziej zaawansowanego pojazdu zasilanego przez wodorowe ogniwa paliwowe.

Schemat budowy i opis działania napędu wodorowego w toyocie mirai przedstawiono na rysunku 7.14.

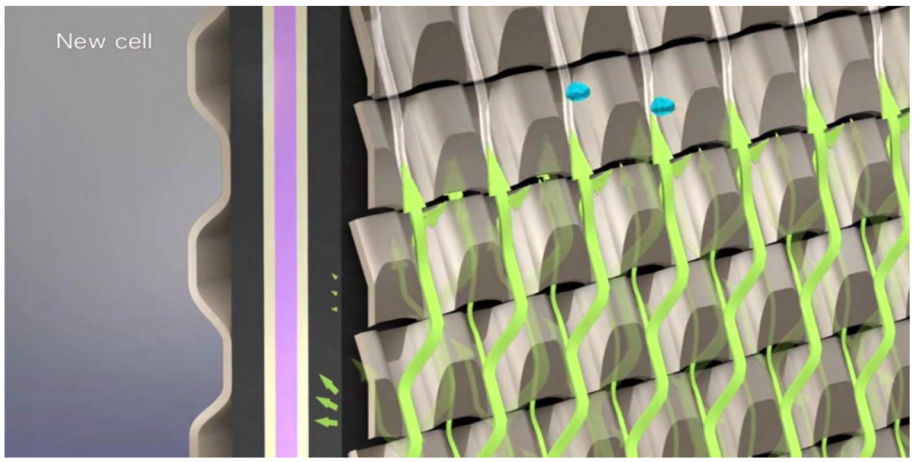


Rys. 7.14. Schemat budowy i opis działania napędu wodorowego [113].

7.3.1. Moduł ogniw paliwowych

Moduł ogniw paliwowych umiejscowiony jest pod fotelem kierowcy. W nim zachodzi reakcja chemiczna, której efektem jest uzyskanie energii elektrycznej. Układ wytwarzania energii z wodoru jest całkowicie bezpieczny dla użytkownika, gdyż nie zachodzi tam reakcja

spalania, a jedynie reakcja chemiczna. Moduł zbudowany jest z 370 ogniw i każde z nich produkuje cząstkę energii napędzającą silnik. Sumaryczna wartość wszystkich pojedynczych ogniw to moc wyjściowa, którą generuje cały moduł. Wydajność ogniwa jest zależna od wielu czynników, tj. materiału użytego do produkcji membrany oraz jej cech fizycznych, wielkości, sposobu budowy i dostarczania substratów reakcji do ogniwa paliwowego. W porównaniu ze standardowym modułem ogniw paliwowych Toyota zmniejszyła grubość membrany w pojedynczym ogniwie o 70% jednocześnie uzyskując trzykrotnie lepszą przepuszczalność protonów przez membranę. Warstwa przepuszczalna gazy (zewnętrzna) ogniwa również została zmodyfikowana i również stała się cieńsza, z mniejszą ilością powłoki platynowej i także trzykrotnie bardziej efektywna. Japoński producent jako pierwszy zastosował w ogniwach paliwowych model trójwymiarowej siatki przepływu energii elektrycznej. Dzięki temu powietrze rozprowadzane jest równomiernie po całej powierzchni każdego pojedynczego ogniwa, jednocześnie usuwając w delikatny sposób wodę (rysunek 7.15). Tak udoskonalony moduł ogniw paliwowych jest w stanie wyprodukować aż 3,1 kW/litr (moc wyjściowa/objętość). Maksymalna moc generowana przez ogniwa paliwowe, która jest dostarczana do silnika wynosi 114 kW (155 KM). Usuwanie efektu ubocznego reakcji (czystej wody) następuje zarówno na bieżąco (wydalając parę wodną w trakcie jazdy), jak również po wyłączeniu pojazdu. Nagromadzona woda w układzie wydechowym jest usuwana w postaci ciekłej. W teście fabrycznym na dystansie 100 000 kilometrów, nie stwierdzono spadku wydajności produkowanej energii ani zwiększonego popytu na zużycie wodoru. Wodór jest zużywany w ilości ok. 0,7–1 kg na każde przejechane 100 km w zależności od stylu jazdy kierowcy. Moduł ogniw paliwowych jest całkowicie bezobsługowy, zatem nie ma żadnych czynności do wykonania podczas rutynowych przeglądów. Na razie zarówno producentowi, jak i użytkownikom trudno jest określić rzeczywisty czas bezawaryjnej pracy takiego modułu. Z pewnością jest to mocno uwarunkowane sposobem jazdy oraz temperaturą zewnętrzną. Przebieg ok. 300 000 kilometrów nie powinien drastycznie zmniejszyć osiągów modułu ogniw paliwowych. Jednakże dopiero po następnych kilku latach i tysiącach kilometrów, przejechanych przez wiele takich pojazdów, będzie można dopiero stwierdzić średnią żywotność ogniw paliwowych. Warto również wspomnieć o tym, że Toyota jest już w zaawansowanej fazie budowy kolejnej generacji modelu mirai, która może okazać się kolejnym przełomem w historii nie tylko tej marki, ale również całej motoryzacji.



Rys. 7.15. Dostarczanie tlenu i usuwanie wody w ogniwie paliwowym (widok trójwymiarowy) [113].

7.3.2. Zbiorniki wodoru

Położenie zbiorników gromadzących wodór w toyocie mirai przedstawiono na rysunku 7.14. Obie butle mają łączną pojemność 184 litrów i wytrzymują ciśnienie wodoru wynoszące ponad 700 barów. W owych butlach mieści się ok. 5,5 kg sprężonego wodoru, co daje wynik 5,7% masy wodoru w zbiorniku w stosunku do jego masy i jest to najlepszy wynik na świecie w chwili wprowadzenia mirai do produkcji. Wodór o tej masie pozwala przejechać pojazdem, według producenta, dystans ok. 500–600 km na jednym tankowaniu. Butle znajdują się poza kabiną i są wyjątkowo wytrzymałe i zarazem lekkie. Fakt, iż nie są umiejscowione w kabinie, potwierdza filozofię japońskiego producenta, która bezpieczeństwo stawia ponad wszystko.

Zbiorniki zbudowane są z trzech warstw (patrz również poniższy rysunek):

1. Warstwa wewnętrzna, zbudowana wyłącznie z polimerów, niepozwalająca na przenikanie wodoru na zewnątrz butli.
2. Warstwa środkowa, zbudowana z włókna węglowego, dająca bardzo dużą odporność na uderzenia zewnętrzne.
3. Warstwa zewnętrzna, zbudowana z włókna szklanego, chroniąca zbiornik przed rozcięciami, zarysowaniami i również pełniąca rolę wzmacniającą.

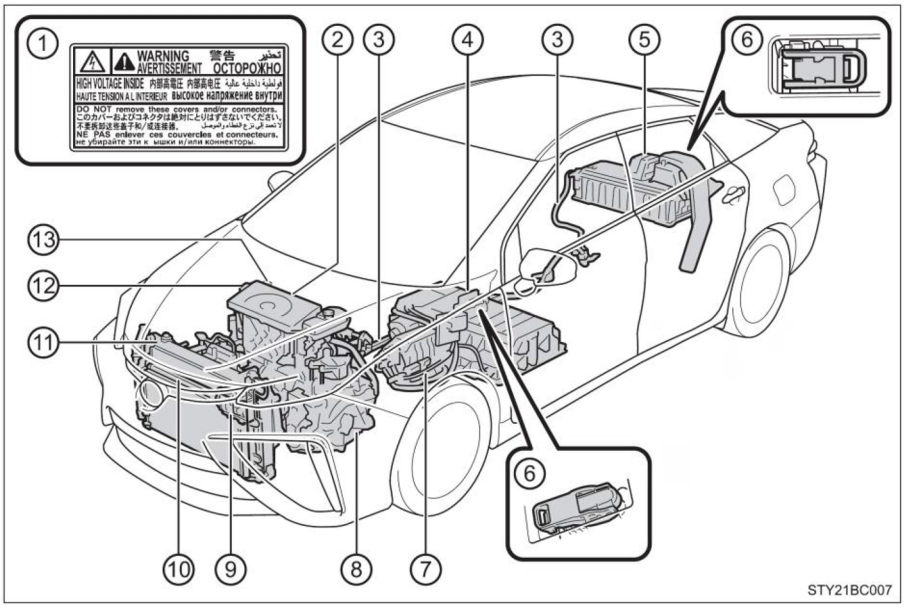
Rys. 7.16. Budowa zbiornika wodorowego w toyocie mirai [113].

Zbiorniki są kontrolowane przez główną jednostkę sterującą, która informowana jest o wszystkich odstępstwach od normy, takich jak: wycieki wodoru, informacje o kolizji, temperaturze otoczenia oraz temperaturze samego układu itp. Za kontrolę szczelności wodoru odpowiedzialne są dwa czujniki do pomiaru ciśnienia. W razie nawet małego wycieku lub małej kolizji butle zostają natychmiast zamknięte przez zawór, który odcina wypływ wodoru

z butli i zapewnia bezpieczeństwo użytkownikowi. Zbiorniki mają również mechaniczny zawór bezpieczeństwa, przez który wodór może powoli i bezpiecznie zostać usunięty z butli w przypadku nagłego i nieoczekiwanego wzrostu temperatury ponad wartość bezpieczną określoną przez producenta. Zjawisko to zachodzi wyłącznie, gdy samochód stoi zaparkowany, nigdy zaś podczas jazdy. Dzięki testom przeprowadzonym zarówno w laboratoriach, jak i w praktyce, zauważono, że nawet jeśli doszłoby do rozszczelnienia układu a jednostka sterująca nie zareagowałaby w porę, wodór, który jest o wiele lżejszy od powietrza, szybko ulatniałby się w górę. Biorąc pod uwagę jeszcze bardziej skrajny przypadek, nawet jeśli doszłoby do rozszczelnienia i zapłonu podczas jazdy, spalanie następuje już praktycznie poza samochodem, a nie przy samej butli. Wodór spala się w takim wypadku w postaci wąskiego słupa ognia tuż nad powierzchnią samochodu i nie stwarza dużego niebezpieczeństwa dla podróżujących ani dla otoczenia.

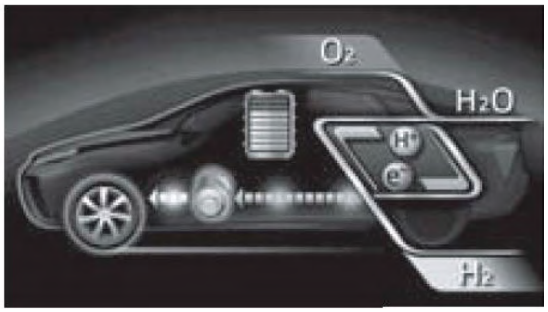
7.3.3. Układ sterowania

Układ sterowania wodorowej toyoty mirai jest dużo bardziej skomplikowany niż zwykłego pojazdu elektrycznego. Rozmieszczenie głównych komponentów układu napędowego przedstawiono na rysunku 7.17. Wynika z niego, że oprócz poznanego już układu wodorowych ogniw paliwowych występuje w pojeździe bateria trakcyjna (nr 5 na rysunku 7.17). Oznacza to, że jest to układ hybrydowy. Silnik elektryczny może być zasilany bezpośrednio z wodorowych ogniw paliwowych, ale jego zasilanie może być również wspomagane z energii zgromadzonej w baterii pokładowej.

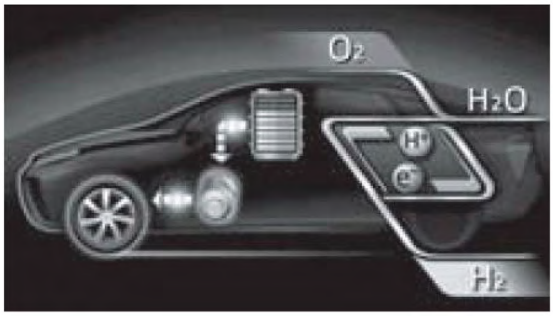


Rys. 7.17. Rozmieszczenie głównych komponentów układu napędowego [58].

Zatem układ sterowania silnikiem trakcyjnym decyduje, kiedy i z którego źródła pobierana jest energia do zasilania silnika trakcyjnego (rysunki 7.18 i 7.19). Należy się spodziewać, że układ hybrydowy wodorowej toyoty mirai działa nie gorzej niż w innych modelach hybrydowych Toyoty.



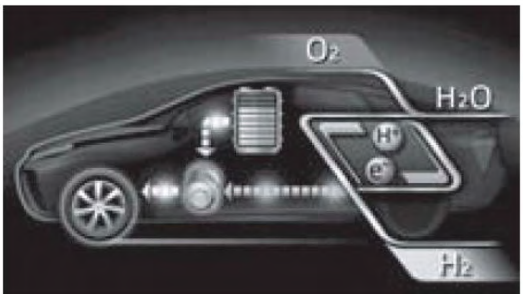
Rys. 7.18. Zasilanie pojazdu z ogniw paliwowych [58].



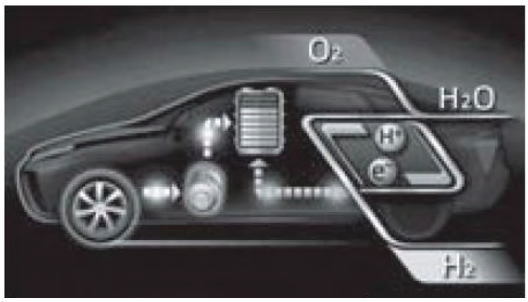
Rys. 7.19. Zasilanie pojazdu z baterii trakcyjnych [58].

Zasilanie pojazdu z baterii trakcyjnych występuje podczas tzw. cold startu, czyli zimnego uruchomienia ogniw paliwowych. System ogniw paliwowych musi się nagrzać do nominalnej temperatury w celu pracy z maksymalnymi osiągami. Oczywiście moc maksymalną pojazd wodorowy osiągnie podczas zasilania silników elektrycznych z obydwu źródeł energii jednocześnie (rysunek 7.20).

Tak jak każda hybryda, także toyota mirai musi mieć ładowane baterie trakcyjne. Ładowanie baterii oczywiście odbywa się podczas hamowania z odzyskiem energii (rysunek 7.21). Drugą opcją jest jazda na zasilaniu z ogniwa paliwowego z małym obciążeniem. Reszta mocy ogniwa paliwowego jest przeznaczona do ładowania baterii trakcyjnej.



Rys. 7.20. Zasilanie pojazdu z ogniw paliwowych i z baterii trakcyjnych [58].



Rys. 7.21. Zasilanie pojazdu z ogniw paliwowych i ładowanie baterii trakcyjnych [58].

7.3.4. Tankowanie wodorem

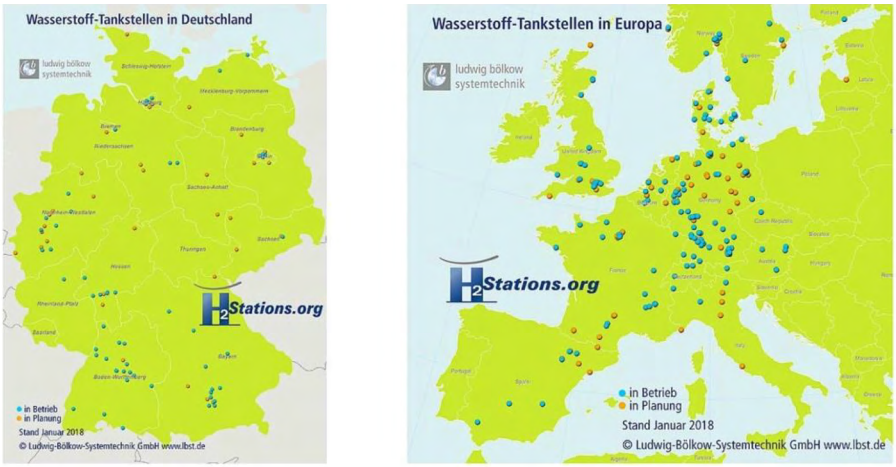
Tankowanie wodorem pod względem obsługi nie odbiega zbytnio od dobrze znanego i powszechnie stosowanego tankowania metanu lub LPG. Stosowany jest bardzo podobny dystrybutor, w którym przewód tankowania podłączany jest do zaworu tankowania, umieszczonego pod klapą wlewu paliwa. O prawidłowości podłączenia poinformowani zostaniemy przez komunikat na dystrybutorze. Tylko w przypadku prawidłowego podłączenia rozpocznie się tankowanie po naciśnięciu odpowiedniego przycisku na dystrybutorze. Na końcówce wlewu (rysunek 7.22) znajdują się dwa czujniki, które monitorują przepływ wodoru oraz wykrywają nieszczelności spowodowane np. uszkodzeniem przewodu.

Rys. 7.22. Połączenie przewodu tankowania wodorem z toyotą mirai [114].

W razie jakichkolwiek odstępstw od norm, dystrybutor natychmiast wstrzymuje tankowanie, aby zapobiec wyciekom wodoru. Wszystko po to, aby zminimalizować ryzyko wypadku podczas tankowania i zapewnić maksymalne bezpieczeństwo użytkownikowi.

W chwili obecnej Polska nie dysponuje stacjami ładowania wodorem, pomijając te mobilne używane do prezentacji modelu mirai. Pierwsze stacje w Poznaniu i Warszawie mają stanąć do 2021 r. i zapoczątkują rozwój sieci stacji tankowania H_2 w Polsce.

W Europie Zachodniej (szczególnie w Niemczech) jest już w miarę dobrze rozwinięta sieć stacji wodorowych. Oczywiście są obszary, gdzie tych stacji brakuje, natomiast zachodnia granica Niemiec z pozostałymi krajami jest najlepszym miejscem dla właścicieli wodorowych aut. Mapa przedstawiająca rozmieszczenie stacji wodorowych daje do myślenia oraz pokazująca, jak duże zaległości jeszcze musi nadrobić polska gospodarka została przedstawiona na rysunku 7.23.



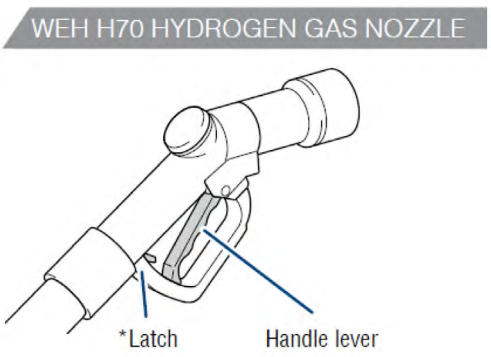
Rys. 7.23. Rozmieszczenie stacji ładowania wodorem w Niemczech. oraz Europie.

Pierwsze dwie stacje ładowania będą zbudowane w Polsce przez firmę Lotos. Następnie będą sukcesywnie zwiększane nakłady na budowę kolejnych stacji, tak jak ma to miejsce z elektrycznymi stacjami ładowania w chwili obecnej (nie tylko miasta, ale również wzdłuż najczęściej używanych dróg krajowych i międzynarodowych). Pozostaje cierpliwie czekać na rozpoczęcie budowy oraz upowszechnienie samochodów z ogniwami paliwowymi.

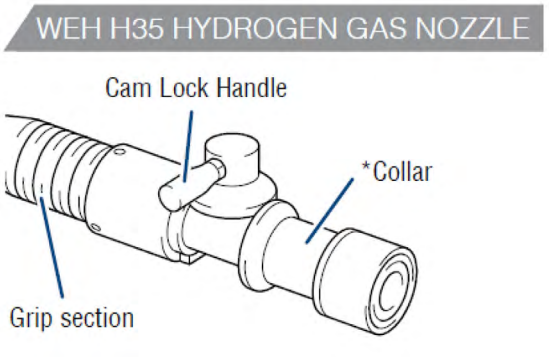
Jeśli chodzi o kwestię kosztów to zatankowanie do pełna wodorem toyoty mirai nie jest szczególnie tanie, a właściwie kosztuje porównywalnie do zatankowania pełnego zbiornika benzyny. 1 kg wodoru kosztuje ok. 9,5 € co daje nam w przeliczeniu ok. 41 zł. Biorąc pod uwagę ilość kilogramów mieszczących się do modelu mirai, czyli 5,5 kg, całkowity koszt wyniesie ok. 224 zł, czyli tyle, ile obecnie kosztuje 46 l benzyny. Zasięg mirai to średnio 500–600 km, natomiast samochodu osobowego tej klasy z silnikiem spalinowym wyniesie 550–650 km, czyli różnica jest niewielka. Wielka jest natomiast idea oraz świadomość, że auto jest bardzo przyjazne środowisku oraz że jest to krok od uniezależnienia się od krajów posiadających największe zasoby ropy naftowej. Poza tymi aspektami wciąż trwają badania nad pozyskiwaniem wodoru ze źródeł odnawialnych. Ich popularyzacja z pewnością obniży koszt produkcji, co pozwala na prognozowanie spadku cen wodoru w przyszłości, czyli zupełnie odwrotnie do ropy naftowej, której z dnia na dzień jest coraz mniej i to powoduje, że będzie coraz bardziej drożeć. Przykład nowoczesnej stacji tankowania wodoru przedstawiono na rysunku 7.24.

Rys. 7.24. Nowoczesna stacja ładowania wodoru w Belgii [114].

W instrukcji obsługi toyoty mirai znajduje się szczegółowa instrukcja, jak należy tankować wodór z wykorzystaniem dwóch najpopularniejszych końcówek tankowania, stosowanych na stacjach tankowania wodoru (patrz rysunki 7.25 i 7.26). Oczywiście oznaczenie H70 i H35 odnosi się do ciśnienia tankowanego wodoru, wyrażonego w MPa. Drugą końcówkę już znamy z tankowania wodorowego autobusu marki Ursus Bus.

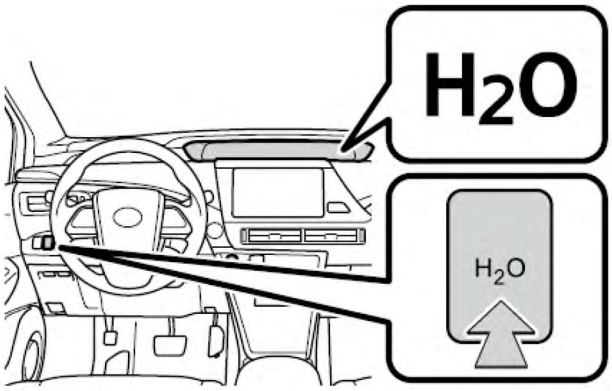


Rys. 7.25. Końcówka tankowania WEH H70 [58].



Rys. 7.26. Końcówka tankowania WEH H35 [58].

W instrukcji użytkownika, producent wskazuje kilka razy na przycisk „water”, który służy do opróżniania zbiorniczka z wyprodukowanej przez ogniwa paliwowe wody. Za pomocą tego przycisku zostaje ona wypuszczona do otoczenia (rysunek 7.27).



Rys. 7.27. Przycisk do upuszczania wody [58].

7.4. Budowa miejskiego autobusu elektryczno-wodorowego

W XXI wieku dostępnych jest wiele komponentów do zbudowania układu napędowego elektrycznego autobusu. Do najważniejszych z nich zaliczamy: silnik elektryczny oraz baterie trakcyjne, a w przypadku napędu wodorowego – stos ogniw paliwowych oraz zbiorniki wodoru. Odpowiedni dobór każdego z nich decyduje o przydatności autobusu do konkretnego zastosowania (miejski, międzymiastowy) oraz o jego cenie. Oprócz prawidłowego doboru komponentów ważna jest także ich integracja w celu bezawaryjnej pracy z dużą sprawnością [41].

7.4.1. Wybór silnika elektrycznego i osi napędowej

Zadaniem elektrycznego układu napędowego jest efektywne przekazywanie napędu na koła jezdne w każdych warunkach pracy autobusu. Jednym z najważniejszych komponentów jest silnik elektryczny, którego parametry decydują o przydatności do napędu autobusu. Zgodnie ze światowymi i europejskimi trendami, zarówno w produkcji samochodów osobowych, jak i autobusów, powinien być to silnik synchroniczny z magnesami trwałymi (PMSM z ang. *Permanent-Magnet Synchronous Motor*). Silniki synchroniczne wzbudzane magnesami trwałymi posiadają wiele zalet w stosunku do silników asynchronicznych (indukcyjnych). Należą do nich między innymi duża sprawność oraz duży moment obrotowy dostępny od niskich prędkości obrotowych. Konstrukcje te z pewnością można nazwać energooszczędnymi i niezawodnymi. Silniki elektryczne autobusów powinny być przystosowane do zmiennego obciążenia tych napędów, tzn. mieć jak największą sprawność w dużym zakresie zmian obciążenia, pozwalającą na optymalizację zużycia energii.

Producent autobusu porównał trzy koncepcje napędu, z silnikiem centralnym, elektryczną osią portalową i napędem w piaście koła, stosowane w 12-metrowym autobusie elektrycznym z dziennym przebiegiem 200 km przez 340 dni w roku. Autobus został wyposażony zgodnie z obowiązującym standardem odpowiednich producentów oraz wybranym

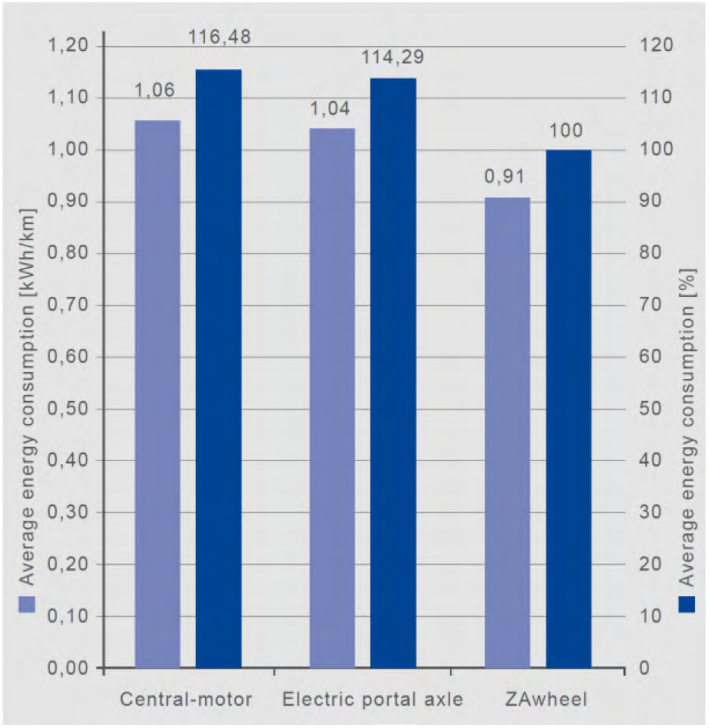
cyklem jazdy SORT2. Aby zapewnić porównywalność, odpowiednio dostosowano ciśnienie w oponach i całkowitą masę pojazdu (14 410 kg).

Wyniki badań były następujące:

- Bezpośrednie korzyści kosztowe.
- Redukcja kosztów początkowych dzięki mniejszemu pakietowi baterii (ok. 30 kWh mniej).
- Redukcja rocznych kosztów eksploatacji dzięki niskiemu zużyciu energii (ok. 8 840–10 200 kWh mniej).

Dalsze zalety systemu ZAwheel:

- Minimalne wymagania dotyczące miejsca do instalacji.
- Redukcja wagi.
- Niskie koszty utrzymania.
- Minimalna emisja hałasu (<70 dBA przy 80 km/h).



Rys. 7.28. Porównanie średniego zużycia energii elektrycznej przez różne rodzaje napędów [115].

7.4.2. Wybór baterii trakcyjnej

Kolejnym kluczowym komponentem elektrycznego autobusu są baterie trakcyjne. Ich najbardziej rozpowszechnioną technologią, wykorzystywaną w motoryzacji, są baterie litowo-jonowe dostępne w wielu odmianach. Do zbudowania taniego, ale niezawodnego systemu gromadzenia energii o dużej pojemności, powinny posłużyć baterie litowo-jonowe typu NMC (*lithium nickel manganese cobalt oxide battery* – LiNiMnCoO2 lub NMC). Coraz częściej do budowy autobusów elektrycznych wykorzystywane są baterie litowo-tytanowe (LTO). Cechują się one przyjmowaniem bardzo dużych prądów podczas procesu ładowania, co znacząco skraca czas ładowania. Do krótkoterminowego gromadzenia energii elektrycznej odzyskiwanej podczas hamowania służą superkondensatory. Jednak ze względu na ich wysoką cenę oraz ograniczone zastosowanie nie znalazły one szerokiego zastosowania.

Poruszając temat baterii trakcyjnych, należy wspomnieć o ich ładowaniu. Optymalnym rozwiązaniem, ze względu na koszty infrastruktury oraz czas pełnego naładowania baterii, jest ładowanie prądem stałym za pomocą zewnętrznych ładowarek. System ładowania CCS Combo 2 umożliwia ładowanie z mocą dochodzącą obecnie do 150 kW. Ładowanie z większymi mocami wymaga chłodzonych gniazd oraz przewodów zasilających. Obecnie są do tego wykorzystywane pantografy, które umożliwiają ładowanie z mocą do 350 kW. Należy jednak pamiętać, że ładowanie z mocami większymi niż 150 kW zawsze oznacza większe koszty samych baterii oraz ładowarek i przyłączy. Warto, aby każdy autobus elektryczny posiadał ładowarkę pokładową o mocy przynajmniej 20 kW, w celu ładowania z gniazda trójfazowego 400 V. Rozbudowa infrastruktury ładowania powinna być realizowana wraz ze wzrostem liczby elektrycznych autobusów.

7.4.3. Wybór ogniwa paliwowego

Typem ogniwa paliwowego, które w największym stopniu spełnia wymogi dzisiejszej motoryzacji, jest ogniwo PEM (ang. *Proton Exchange Membrane*). Przypuszczenia te potwierdza tendencja u liderów w tej dziedzinie. Ogniwa PEM posłużyły do zbudowania wielu jeżdżących prototypów oraz komercyjnych pojazdów.

Wybór systemu niskotemperaturowego LTPEM (*Low Temperature Proton Exchange Membrane*) lub wysokotemperaturowego HTPEM (*High Temperature Proton Exchange Membrane*) ma istotny wpływ na strategię sterowania całym systemem generowania mocy w różnych warunkach pracy i ma to przełożenie na pewne wyzwania, związane z ich eksploatacją. Pierwsze z nich pracują w temperaturach do 85°C a drugie – do 200°C. Systemy HTPEM, pomimo kilku wad, posiadają liczne zalety w stosunku do systemów LTPEM. Pierwsza dotyczy braku konieczności nawilżania membrany i stosowania skomplikowanego, a zarazem drogiego nawilżacza. Kolejne zalety związane z prostą budową całego systemu HTPEM przekładają się na większą sprawność całego systemu i niwelują 10% mniejsze osiągi napięciowe samego ogniwa. Większa tolerancja CO przez systemy wysokotemperaturowe, przekłada się na możliwość użycia do ich zasilania wodoru, pochodzącego z reformingu paliw węglowodorowych.

Dysponując wodorem pochodzącym z hydrolizy lub z reformingu paliw węglowodorowych o czystości 99,999% najtańszym rozwiązaniem będzie użycie ogniw typu LTPEM.

7.4.4. Wybór sposobu gromadzenia wodoru

Istnieje wiele sposobów gromadzenia wodoru. Może być on gromadzony w wersji sprężonej lub kriogenicznej. Ten drugi sposób umożliwia gromadzenie dużych ilości wodoru w małej objętości. Jest jednak bardzo kosztowny ze względu na konieczność utrzymywania bardzo niskich temperatur na poziomie produkcji, dystrybucji oraz przewożenia wodoru. Istnieją również zbiorniki hybrydowe z kriogenicznym i dodatkowo sprężonym wodorem (ang. *cryo-compressed tanks*). Wodór może być także gromadzony w postaci stałej w wodorkach metali. Jest to bardzo łatwy w obsłudze i wydajny sposób, jednak ma jedną wadę – jest ciężki. Jedną z najnowszych metod gromadzenia wodoru są nanorurki węglowe. Do gromadzenia wodoru w pojazdach służą jednak najczęściej zbiorniki wysokociśnieniowe metalowe lub kompozytowe. Te drugie prawie całkowicie wyparły bardzo ciężkie zbiorniki stalowe. Lekkie i zdolne gromadzić wodór pod ciśnieniem zbiorniki kompozytowe są produkowane w wersji cylindrycznej o różnych średnicach i długościach. Posiadają pojemność od kilku do kilkuset litrów. Wielu producentów europejskich i światowych produkuje zbiorniki posiadające homologacje na poziomie międzynarodowym.

7.4.5. Przegląd rozwiązań w dotychczasowych projektach

Projekty autobusów elektryczno-wodorowych są najczęściej realizowane przez konsorcja producentów autobusów, uczelni wyższych, instytutów badawczych oraz parków naukowo-technologicznych. Zebrane wyniki tych prac przedstawiono w tabeli 7.1. Często do tego grona dołączają specjalistyczne start-upy, mające umiejętności programowania firmware i software w najnowszych językach programowania. W tabeli zebrano dane z kilku realizowanych projektów, w których celem było zbudowanie autobusu elektryczno-wodorowego na poziomie TRL9 (*Technology Readiness Leve*l).

Tabela 7.1. Parametry zbudowanych autobusów wodorowych

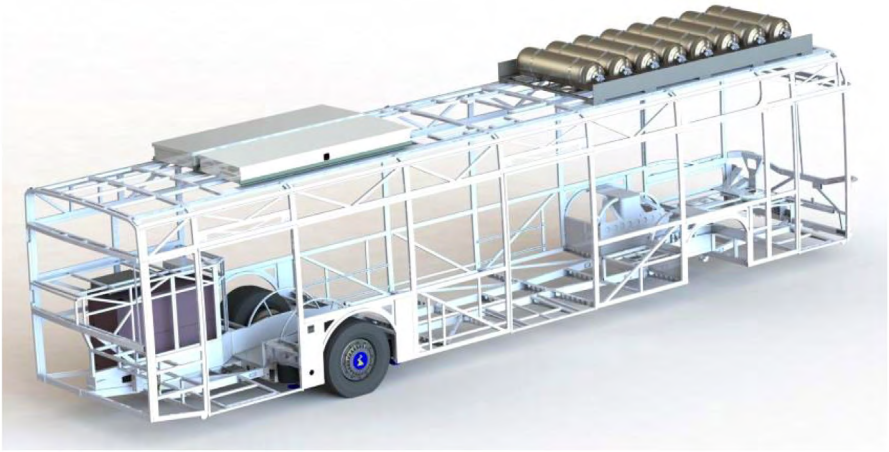
Nazwa autobusu lub projektu	**Długość autobusu, liczba osi [m]**	**Rodzaj i moc silnika [kW]**	**Rodzaj i wielkość baterii [kWh]**	**Wielkość ogniwa paliwowego [kW]**	**Pojemność zbiorników wodoru [kg]**	**Dodatki**
Ursus bus	12/2	Oś napędowa synchroniczny 2x110	2x37,8	2x30	33	
Van Hool CHIC	12/3		100	150	35	Rezystory hamujące
EVO bus CHIC	12/2	Wheelhub	250	2x60	35	
Wrightbus	12/2		0	75	33	Rezystory hamujące, superkondensatory 240 kW
Solaris urbino 12	12/2	Oś napędowa synchroniczny 2x125	120	60	36,8	

7.4.6. Ursus demo hydrogen bus

Praktycznym przykładem projektowania osiągów oraz optymalizacji kosztów produkcji jest **ursus demo hydrogen bus**. Pojazd wykorzystuje dwa moduły ogniw LTPEM o mocy 30 kW (o mocy całkowitej 60 kW), współpracujące z zestawem baterii litowo-jonowych NMC o pojemności energetycznej 70 kWh. Precyzując, jest to autobus elektryczny z wodorowym range extender. Wynika to z faktu braku bezpośredniego poboru prądu przez silniki napędowe bezpośrednio z systemu ogniw paliwowych. Silniki są zasilane z baterii trakcyjnych, a system wodorowy cały czas je doładowuje.

Wodór jest przechowywany w pojeździe w formie sprężonej pod ciśnieniem 35 MPa, co stanowi standard europejski w tym obszarze. Zasięg pojazdu wynosi około 450 km i przewiduje się jego zwiększenie. Zakładany przez producenta okres eksploatacji wynosi 20 tys. godzin pracy, co odpowiada przebiegowi 700 tys. km.

Układ napędowy stanowią silniki elektryczne umieszczone w piastach kół, zamontowane na dachu baterie trakcyjne oraz 2 moduły wodorowych ogniw paliwowych, umieszczone w tylnej części autobusu, co widać na rysunku 7.29.



Rys. 7.29. Układ głównych komponentów układu napędowego [34].

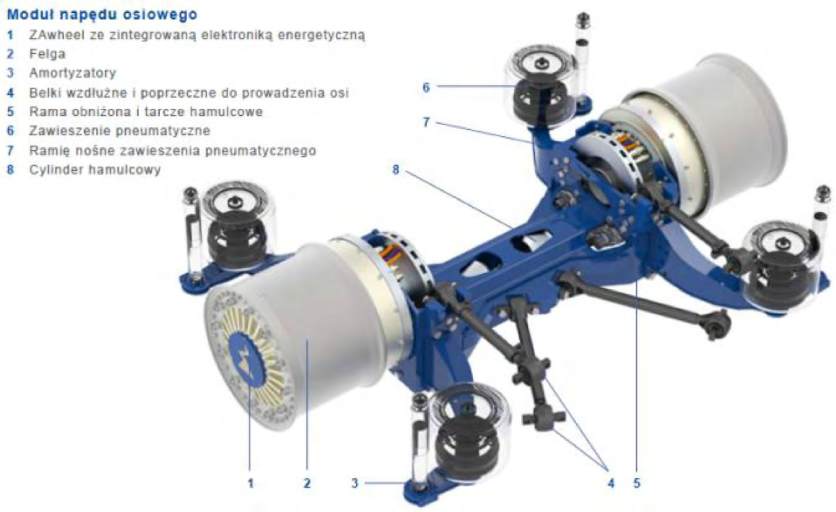
Autobus elektryczny z wodorowym range extenderem posiada wiele zalet, do których należą:

- właściwości trakcyjne przewyższające typowe autobusy elektryczne – zasięg pojazdu bez ładowania baterii to ok. 450 km;
- możliwość przejazdu na międzymiastowych liniach komunikacyjnych;
- szybkie tankowanie wodoru do zbiorników pokładowych, trwające ok. 15 min;
- wysoki komfort podróżowania – płynna jazda, brak hałasu oraz wibracji.

Autobus elektryczno-wodorowy ursus FCEB przeszedł pozytywnie wszystkie badania i uzyskał homologację w kategorii M3.

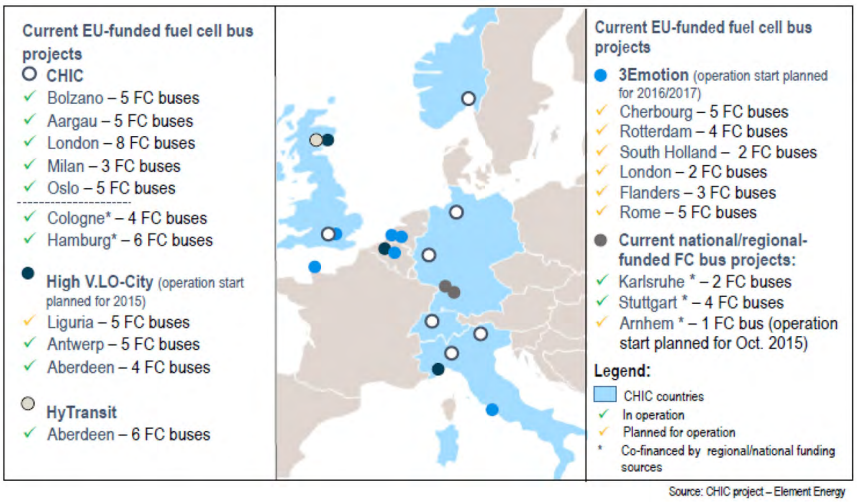
Autobusy miejskie z napędem elektrycznym są coraz częściej obiektem zainteresowania ekologów i przewoźników, ale przede wszystkim ich bezpośrednich użytkowników, czyli pasażerów. URSUS BUS SA oferuje pojazdy zdolne pracować z wykluczeniem niekorzystnego oddziaływania na środowisko naturalne. Prowadzone w URSUSIE, w sposób ciągły, prace badawczo-rozwojowe przyczyniają się do zwiększania sprawności elektrycznych układów napędowych, co przekłada się na lepsze wykorzystanie zgromadzonej w bateriach trakcyjnych energii i zwiększenia zasięgu kolejnych generacji autobusów.

Na szczególną uwagę zasługuje zastosowane rozwiązanie osi tylnej autobusu w postaci osi portalowej (patrz rysunek 7.30).



Rys. 7.30. Oś tylna autobusu elekryczno-wodorowego generacji 3 [34].

URSUS BUS SA realizując projekt, w ramach którego powstał URSUS FCEB, dołączył do elitarnego grona europejskich producentów autobusów wykorzystujących wodorowe ogniwa paliwowe. Projekty takie są najczęściej realizowane przez konsorcja producentów autobusów, uczelni wyższych, instytutów badawczych, parków naukowych oraz technologicznych. Przykłady projektów europejskich w tym obszarze przedstawiono na rysunku 7.31.



Rys. 7.31. Projekty europejskie dotyczące autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi [34].

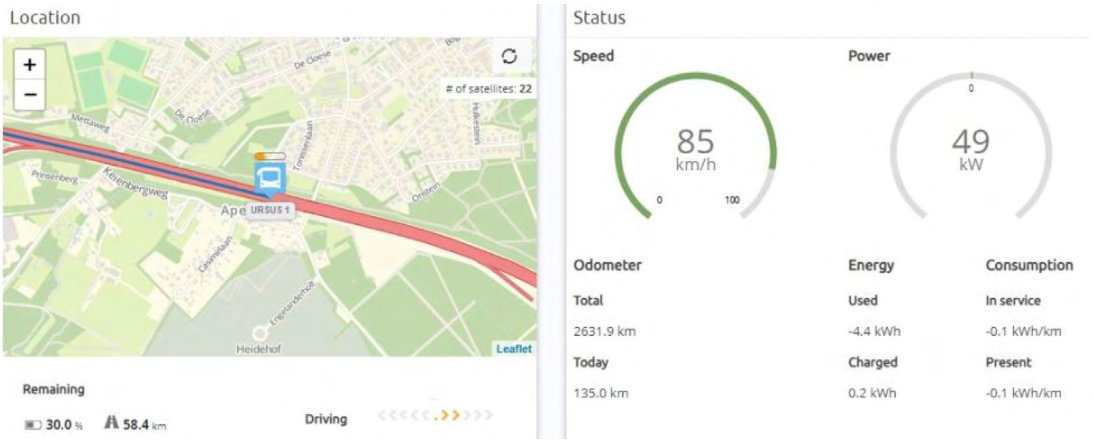
Wszystkie trzy generacje autobusów elektrycznych marki URSUS są pojazdami zeroemisyjnymi tzw. ZEV (ang. *Zero-emissions Vehicle*). Zarówno w pełni elektryczna generacja 1 i 2, jak i elektryczno-wodorowa 3 generacja nie powodują emisji szkodliwych zanieczyszczeń z pojazdów w miejscu ich użytkowania. Jest to ogromna zaleta pojazdów eksploatowanych w centrach dużych miast ciągle borykających się z problemem emisji z dużej liczby pojazdów zasilanych przez silniki spalinowe. Ekologiczne napędy elektryczne i elektryczno-wodorowe są odpowiedzią na ogólnopolską kampanię: „Komunikacja miejska – oddechem dla miasta". Pojazdy takie mogą być również całkowicie zeroemisyjne (nie tylko w miejscu eksploatacji) w wyniku pozyskania energii do ładowania baterii oraz generowania wodoru z odnawialnych źródeł energii.

Zbudowanie zoptymalizowanego konstrukcyjnie i kosztowo autobusu o napędzie elektryczno-wodorowym nie jest łatwe, ale jest możliwe. Należy zastosować podejście naukowe. Najpierw należy dokonać przeglądu stanu nauki i techniki w wybranych obszarach. Obszary te są związane z odpowiednimi komponentami, potrzebnymi do budowy takiego autobusu. Analiza stanu techniki umożliwi wybór najbardziej popularnych i niezawodnych komponentów. Pozwoli także na dokonanie optymalizacji kosztowej. Analiza stanu nauki jest jeszcze ważniejsza, gdyż umożliwia odnalezienie innowacyjnych komponentów, dzięki którym możliwe będzie zbudowanie przewagi nad konkurencją.

7.4.7. Monitoring autobusu na platformie internetowej

Efektywna optymalizacja – konstrukcyjna w zakresie doboru komponentów oraz kosztowa w zakresie kosztów budowy i eksploatacji autobusów elektryczno-wodorowych – nie może być oparta jedynie na analizie literaturowej. Wszystkie zagadnienia zanalizowane teoretycznie powinny być poddane walidacji w warunkach rzeczywistych. Aby to było możliwe, autobus musi posiadać funkcję mobilnego laboratorium zdolnego dokonywać zaawansowa-

nych pomiarów wybranych parametrów. Musi również posiadać możliwość gromadzenia dużych ilości danych pomiarowych i przesyłania ich różnymi metodami transmisji przewodowej i bezprzewodowej. Kolejnym wyzwaniem jest ich obróbka oraz wnikliwa analiza. Ostatnimi czasy powstały zaawansowane systemy pozyskiwania, przesyłania i wizualizacji danych z pojazdów. Przykład pokazano na rysunku 7.32.



Rys. 7.32. Okno platformy internetowej do monitoringu autobusu wodorowego [116].

Platforma umożliwia odczyt on-line wybranych parametrów oraz ich analizę off-line. Jest to bardzo użyteczne narzędzie do monitoringu poprawności pracy, diagnostyki błędów i optymalizacji elektryczno-wodorowych układów napędowych.

7.5. Podsumowanie

Każdego roku wchodzi na rynek coraz więcej pojazdów zasilanych wodorowymi ogniwami paliwowymi. Coraz częściej pojawiają się pytania związane z bezpieczeństwem ich użytkowania. Potencjalni klienci zastanawiają się, jakie są różnice w eksploatacji w odniesieniu do tradycyjnych napędów spalinowych czy coraz bardziej popularnych hybrydowych. W 2013 roku koreańska firma Hyundai wprowadziła jako pierwsza swój model ix35 fuel cell. Plan sprzedaży był bardzo ambitnym planem z ilością sprzedanego 1000 egzemplarzy w ciągu dwóch pierwszych lat. Od 2015 roku Koreańczycy mieli sprzedawać 10 000 sztuk rocznie. W 2014 roku Toyota wprowadziła na rynek swój model mirai. Zaraz po premierze rynkowej Toyota zdecydowała się na upowszechnienie nowej technologii. Nieodpłatnie udostępniono ponad 5000 patentów, opracowanych przez firmę. Dotyczą one wszelkich technologii wykorzystywanych przy produkcji wodorowego modelu mirai. Patenty w szczególności dotyczą technologii ogniw paliwowych, wysokociśnieniowych zbiorników na wodór oraz zaawansowanych systemów sterowania tymi skomplikowanymi urządzeniami. Według Toyoty, upowszechnienie to przyczyni się do zwiększenia zainteresowania – zarówno innych producentów pojazdów, jak i samych klientów – tym bardzo ekologicznym typem zasilania pojazdów.

W wyniku przeprowadzonych analiz i badań można sformułować następujące wnioski:

- Wodorowe ogniwa paliwowe są bardzo efektywnymi urządzeniami do produkcji energii elektrycznej i ciepła z wodoru.
- Cechą wodorowych ogniw paliwowych jest ich możliwość łączenia w szereg w celu sumowania napięcia. O mocy systemu decyduje czynne pole powierzchni takiego ogniwa. Oznacza to, że można z nich budować systemy generowania energii elektrycznej

o żądanej mocy. Mogą to być systemy do zasilania skuterów elektrycznych, motocykli, małych samochodów osobowych oraz autobusów.

- Systemy wodorowych ogniw paliwowych występują jako awaryjne generatory energii w hotelach i szpitalach.
- Systemy wodorowych ogniw paliwowych mogą zostać wykorzystane do zasilania samochodów osobowych i autobusów.
- Napęd oparty na wodorowych ogniwach paliwowych jest napędem zeroemisyjnym. Nie powstają tam żadne zanieczyszczenia. Wynikiem reakcji w ogniwach jest tylko czysta woda.
- Wodorowy model mirai Toyoty jest bardzo zaawansowanym i ekologicznym systemem zasilania pojazdu osobowego. Pomimo magazynowania wodoru w pojeździe pod dużym ciśnieniem 700 barów jest to pojazd bardzo bezpieczny. System magazynowania wodoru mieści 5 kg tego bardzo lekkiego paliwa, co pozwala przejechać od 500 do 700 km na jednym tankowaniu.
- Ursus hydrogen bus jest zaawansowanym autobusem międzymiastowym, zasilanym wodorowymi ogniwami paliwowymi. Pojazd od ponad 2 lat jest użytkowany w Holandii, gdzie istnieje infrastruktura do tankowania autobusu wodorem. Wielkość umieszczonych na dachu zbiorników wodoru pozwala pojazdowi przejechać do 450 km na jednym ładowaniu.

7.6. Pytania testowe

1. Wodór:
   a. Jest gazem bardzo niebezpiecznym i prawo europejskie zakazuje jego wykorzystywania do napędu pojazdów.
   b. Może zasilać wodorowe ogniwa paliwowe, które mogą być stacjonarnymi (domy) i mobilnymi (pojazdy) generatorami energii elektrycznej.
   c. Może być gromadzony tylko w formie kriogenicznej (w bardzo niskich temperaturach), co utrudnia jego wykorzystanie w technice.
2. Wodór w pojazdach przechowywany jest w zbiornikach o ciśnieniu:
   a. 100 barów.
   b. 350 lub 700 barów.
   c. 500 barów.
3. Zaletą samochodów z napędem wodorowym w porównaniu z samochodami z silnikiem spalinowym jest:
   a. Wyższa sprawność.
   b. Większy zasięg.
   c. Niższa cena.
4. Strona katodowa ogniwa paliwowego zasilana jest:
   a. Powietrzem.
   b. Wodorem.
   c. Parą wodną.
5. Strona anodowa ogniwa paliwowego zasilana jest:
   a. Wodorem.
   b. Powietrzem.
   c. Tlenem.
6. Ogniwo paliwowe jest urządzeniem:
   a. Elektrochemicznym.
   b. Mechanicznym.
   c. Pneumatycznym.
7. Po której stronie wodorowego ogniwa paliwowego powstaje para wodna:
   a. Katodowej.
   b. Anodowej.
   c. Para wodna nie powstaje w ogniwach paliwowych.
8. Ogniwa paliwowe PEM niskotemperaturowe pracują w temperaturach:
   a. 0–100°C.
   b. 100–200°C.
   c. 200–400°C.

9. Ursus hydrogen bus zasilany jest ogniwami paliwowymi typu:
   a. LTPEM.
   b. HTPEM.
   c. SOFC.

10. Ursus hydrogen bus posiada zbiorniki wodoru:
   a. Sprężony wodór o ciśnieniu 350 barów.
   b. Sprężony wodór o ciśnieniu 700 barów.
   c. Kriogeniczne.

11. Toyota mirai posiada zbiorniki wodoru:
   a. Sprężony wodór o ciśnieniu 700 barów.
   b. Sprężony wodór o ciśnieniu 350 barów.
   c. Kriogeniczne.

12. Ursus hydrogen bus posiada ogniwa paliwowe o mocy:
   a. Dwa ogniwa o mocy 30 kW (2x30 kW).
   b. Jedno ogniwo o mocy 60 kW.
   c. Jedno ogniwo o mocy 150 kW.

13. Ursus hydrogen bus posiada zbiorniki wodoru zamontowane:
   a. Na dachu pojazdu.
   b. Pod siedzeniami pasażerów.
   c. W lukach bagażowych.

14. Ursus hydrogen bus posiada silnik trakcyjny:
   a. W piastach kół.
   b. Centralnie umieszczony przed tylnym mostem.
   c. Nie posiada silnika trakcyjnego, gdyż zasilany jest ogniwami paliwowymi.

15. Autobusy wodorowe w porównaniu z elektrycznymi cechuje:
   a. Większy zasięg jazdy.
   b. Mniejszy zasięg jazdy.
   c. Taki sam zasięg jazdy.

16. Autobusy wodorowe w porównaniu z elektrycznymi cechuje:
   a. Krótszy czas tankowania wodoru niż ładowania baterii.
   b. Dłuższy czas tankowania wodoru niż ładowania baterii.
   c. Taki sam czas tankowania wodoru jak ładowania baterii.

17. Ursus hydrogen bus posiada baterię trakcyjną o pojemności energetycznej:
   a. 70 kWh.
   b. 200 kWh.
   c. 70 kW.

18. Ursus hydrogen bus może jeździć bez wodoru na samych bateriach trakcyjnych?
   a. Tak.
   b. Nie.
   c. Tak, ale tylko w lecie.

19. Zasięg autobusu ursus hydrogen bus na jednym tankowaniu wynosi:

a. Do 450 km.
b. Do 200 km.
c. Do 100 km.

20. Czy toyota mirai posiada silnik spalinowy?

a. Nie.
b. Tak.
c. Tak, jak wszystkie hybrydy ma silnik elektryczny i spalinowy.

7.7. Ćwiczenia wraz z instrukcją

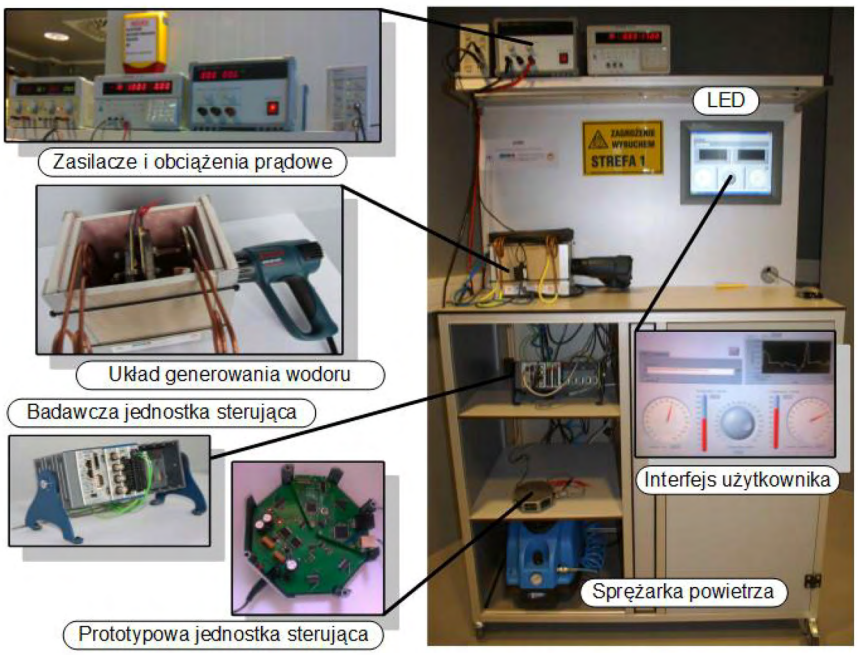
7.7.1. Opis stanowiska badawczego do badania ogniw paliwowych i elektrolizerów wodoru

W każdej dziedzinie życia można dziś zaobserwować dążenia związane ze zwiększaniem wydajności, sprawności czy lepszym wykorzystaniem substratów do produkcji wszelkiego rodzaju wyrobów. Również systemy ogniw paliwowych, które coraz częściej zastępują mało wydajne i nieekologiczne silniki spalinowe, można optymalizować w celu uzyskiwania jak największej sprawności. Można to czynić na wiele sposobów. Odpowiedni dobór komponentów do budowy takiego systemu oraz efektywne sterowanie nimi umożliwiają realizację takich celów.

Zarówno sterowanie w czasie rzeczywistym takimi obiektami, jak ogniwa paliwowe oraz elektrolizery, jak i projektowanie takich systemów może być wspomagane za pomocą specjalnych, służących do tego systemów programowych ułatwiających projektowanie (CAD, CACSD, CFD). Celem ćwiczenia jest uwydatnienie, jakie korzyści płyną z komputerowego wspomagania projektowania różnego typu układów na przykładzie budowy nowoczesnego stanowiska badawczego. Zwrócono także uwagę na ogromną rolę modelowania w dzisiejszej technice, nauce i dydaktyce.

Widok wspomaganego komputerowo stanowiska badawczego ogniw paliwowych i elektrolizerów został przedstawiony na rysunku 7.33. Dwa czujniki MPX4250A firmy Freescale zostały użyte do zmierzenia ciśnienia wlotowego reagentów. Temperatura ogniwa/elektrolizera jest mierzona przez dwie termopary typu termopary PT204 firmy Czaki. Ilość przepływu reagentów mierzy przepływomierz Bronkhorst El-Flow F201 dla obwodu wodorowego. Obciążenie elektroniczne dla ogniw paliwowych jest realizowane poprzez programowalny moduł PEL-300 firmy GwInstek, działający w trybie stałego prądu, napięcia lub rezystancji. Dla elektrolizera układ zasilania prądem stanowi zasilacz ATTEN KPS3050DA. Umożliwia on regulację napięcia zasilania w zakresie od 0 do 30V.

System pomiarowy i sterujący, bazujący na urządzeniach National Instruments CompactRIO, został użyty do sterowania głównymi parametrami działania systemu ogniw paliwowych (przepływu reagentów, pomiar i regulacja temperatury) w celu uzyskania danych eksperymentalnych. Urządzenia CompactRIO, składające się ze sterownika czasu rzeczywistego NI cRIO 9022 oraz 8-slotowej obudowy NI cRIO 9104, zostało skonfigurowane z modułami przeznaczonymi do specyficznych zadań. Napięcie i prąd pojedynczego ogniwa oraz ciśnienia substratów zostały zmierzone przez analogowy moduł wejściowy NI cRIO 9215, zaś temperatury przez moduł obsługi termopar NI cRIO 9213. Sterowanie dmuchawą powietrza umożliwiał przekaźnikowy moduł wyjść NI cRIO 9481. Doskonałym uzupełnieniem całości jest komputer laboratoryjny z 15” ekranem dotykowym i oprogramowaniem LabView w wersji 2013 służącym do wizualizacji, sterowania oraz archiwizacji uzyskanych danym pomiarowych.

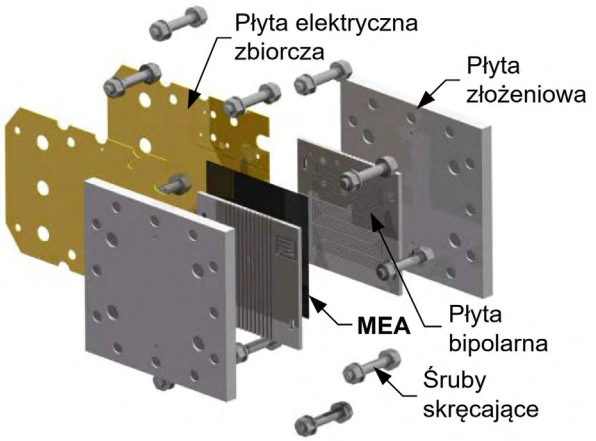


Rys. 7.33. Widok stanowiska badawczego ogniw paliwowych i elektrolizerów typu HTPEM.

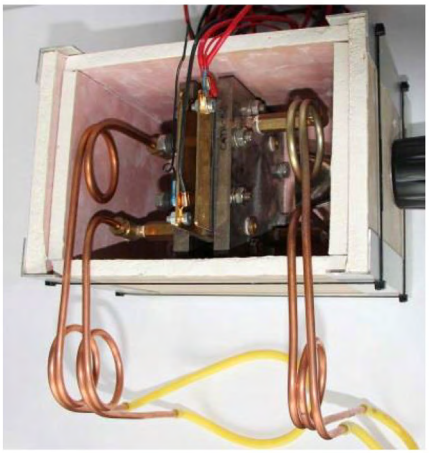
Kolejnym ważnym elementem pomiarowym układu jest sonda prądowa. W badaniach została wykorzystana sonda Tektronix TCP305 wraz ze wzmacniaczem sygnału TCPA300. Sonda pracuje na zasadzie transformatora. Otwierany rdzeń umożliwia objęcie sondą przewodu z prądem bez potrzeby przerywania go. Wzmacniacz z kolei zwiększa czułość sondy i umożliwia korekcję pasma.

Do pomiaru rozkładu temperatury w obudowie termicznej została wykorzystana także kamera podczerwieni RAYCAM C.A. 1884 firmy Chauvin-Arnoux zdolna do dokonywania pomiarów w zakresie temperatur -20°C do +250°C z czułością termiczną 0,1°C przy częstotliwości 50 Hz.

Wykonane w ramach projektu badawczego LIDER z NCBiR ogniwo/elektrolizer zawiera komercyjne złożenie membrana-elektrody (MEA) PBI BASF Fuel Cell Celtec P-1000, dwie bipolarne płytki, które oddzielają przestrzeń aktywną reagentów, oraz dwie płyty złożeniowe (rysunek 7.34). MEA posiada powierzchnię aktywną 50 cm^2 i średnią grubość 860 µm. Sama membrana ma 60 µm grubości i 95% zawartość kwasu fosforowego w matrycy PBI. Zawartość platynowego katalizatora wynosi 0,75 mg/cm^2 na katodzie 1 mg/cm^2 na anodzie. Płyty bipolarne zostały zaprojektowane i wykonane przez włoskich naukowców z wykorzystaniem proszku grafitowego Sigracet BPP4, który może wytrzymać maksymalną temperaturę działania rzędu 180°C. Każda płytka posiada z jednej strony kanały przepływu reagentów w postaci pięciokrotnej serpentyny, zaś z drugiej strony – równoległe kanały podgrzewania/chłodzenia powietrzem. Elementy ogniwa są umieszczone i skręcone pomiędzy dwoma wykonanymi ze stali nierdzewnej płytami złożeniowymi i skręcone ośmioma gwintowanymi trzpieniami momentem 7 Nm. Nominalna temperatura pracy wysokotemperaturowego ogniwa wynosi 150–170°C, zatem całość została umieszczona w termicznej obudowie przedstawionej na rysunku 7.35. Zarówno konstrukcja stołu badawczego, jak i samego ogniwa, zostały zaprojektowane z wykorzystaniem softwaru CAD (Computer Aided Design) w postaci Catia v5 umożliwiającego modelowanie 3D poszczególnych elementów, tworzenie złożeń oraz automatyczne generowanie dokumentacji technicznej. Podejście takie przyczyniło się w znacznym stopniu do skrócenia czasu projektowania oraz łatwego wprowadzania zmian, wynikających z ewolucji konstrukcji poszczególnych elementów składowych.



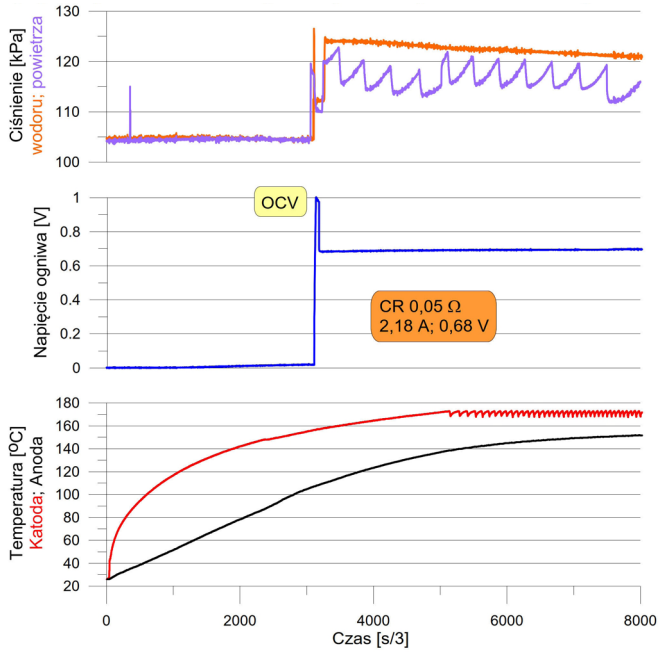
Rys. 7.34. Widok rozstrzelony złożenia modelu elektrolizera typu HTPEM.



Rys. 7.35. Elektrolizer typu HTPEM w obudowie termicznej.

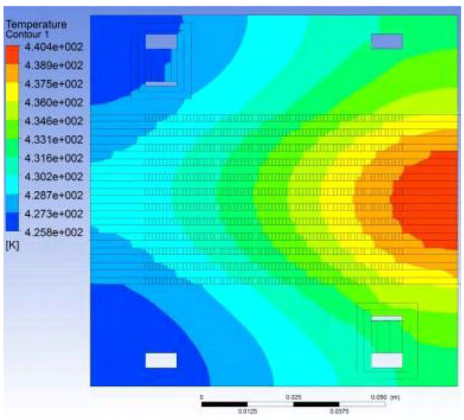
W badaniach wysokotemperaturowych ogniw paliwowych oraz elektrolizerów typu PEM (*High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cells*) bardzo ważne jest utrzymanie właściwej temperatury pracy. Musi być ona wyższa od 100C ze względu na wymóg braku wody w stanie ciekłym, która może doprowadzić do zniszczenia membrany HTPEM. Zasada ta dotyczy pracy systemu zarówno w trybie ogniwa paliwowego, jak i elektrolizera. Podczas pracy ogniwa paliwowego po stronie katodowej przez cały czas powinny być sprzyjające warunki generowaniu wody w postaci pary wodnej. Strona anodowa elektrolizera powinna zaś być zasilana jedynie parą wodną. Ilość przepływających substratów i produktów powinna być zatem cały czas monitorowana i kontrolowana. Również sama konstrukcja kolektorów zasilających i wylotowych ogniwa/elektrolizera powinna być tak zaprojektowana, by nie sprzyjać skraplaniu wody.

Przykład danych pomiarowych, uzyskanych podczas podgrzewania komórki ogniwa paliwowego, został przedstawiony na rysunku 4. Do podgrzewania systemu wykorzystywana jest dmuchawa powietrza ustawiona na temperaturę 250°C, skierowana na płytę złożeniową katody ogniwa paliwowego (pełniącą rolę anody elektrolizera). W związku z tym strona katodowa, zamkniętego w termicznej obudowie ogniwa, nagrzewa się szybciej niż strona anodowa, co wyraźnie widać na dolnym wykresie rysunku 7.36. System zasilono powietrzem i wodorem dopiero po przekroczeniu temperatury 100°C po stronie anodowej. Do osiągnięcia nominalnej temperatury pracy (160°C, mierzonej jako temperatura średnia pomiędzy stroną katodową i anodową) system ogniw paliwowych powinien pracować z niewielkimi obciążeniami prądowymi. Po osiągnięciu zadanej temperatury pracy dmuchawa pracuje w trybie start/stop.

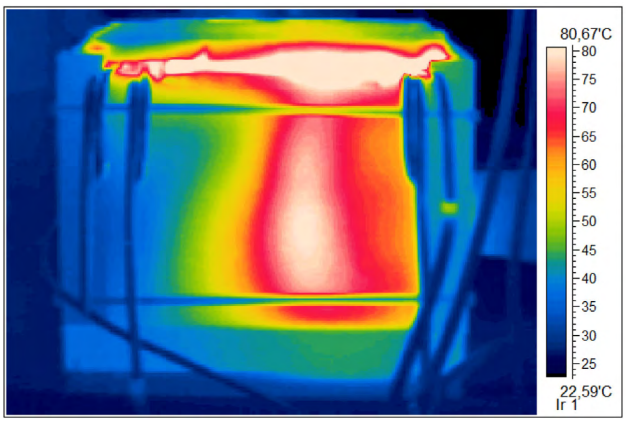


Rys. 7.36. Proces podgrzewania wysokotemperaturowego ogniwa/elektrolizera.

Badania symulacyjne posłużyły do sprawdzenia różnych strategii rozgrzewania elektrolizera do nominalnej temperatury pracy. Rozkład temperatury na płycie katodowej w wyniku grzania zewnętrznym strumieniem powietrza przedstawia rysunek 7.37, zaś na rysunku 7.38 przedstawiono weryfikację takiej strategii z użyciem kamery termowizyjnej. Przedstawione przykłady wykazują, że proces opracowywania strategii zasilania reagentami ogniw/elektrolizerów może być wspomagany komputerowo. Modelowanie bryłowe 3D z programu Catia v5 zostało wykorzystane w programie CFD (*Computational Fluid Dynamics*) AVL Fire do określenia rozkładu temperatur na płycie bipolarnej w wyniku grzania strumieniem powietrza o określonej temperaturze. Pomimo optymalizacji zarówno temperatury, jak i masowego strumienia powietrza grzejącego podczas badań symulacyjnych zdecydowano się na weryfikację strategii grzania z wykorzystaniem kamery termowizyjnej. Jak można zobaczyć, nowoczesny sprzęt i oprogramowanie mogą się uzupełniać podczas prowadzenia badań i w ten sposób przyczyniać się do zapewnienia odpowiednich warunków pracy systemu. Te z kolei przekładają się na osiągi i żywotność systemów opartych na ogniwach paliwowych typu HTPEM.



Rys. 7.37. Rozkład temperatury na płycie katody.



Rys. 7.38. Termogram elektrolizera podczas podgrzewania.

Instrukcja stanowiska do badania ogniw i elektrolizerów wodoru przedstawiła konieczność wykorzystywania komputerowych programów wspomagających projektowanie konstrukcji stanowisk badawczych, samych złożeń ogniw paliwowych oraz elektrolizerów i systemów sterowania nimi na wszystkich etapach. Zostało także podkreślone, że przy badaniu systemów sterowania dla różnych obiektów bardzo ważną rolę odgrywa ciągle rozwijająca się grupa badań symulacyjnych, które często są jedynym sposobem wiodącym do przeprowadzenia skutecznej analizy porównawczej reguł sterowania obiektami nieliniowymi o stochastycznie zmiennych parametrach i warunkach pracy. Badania takie dodatkowo znacznie zmniejszają koszt eksperymentu i pozwalają na precyzyjną analizę, która nie zależy od czynników zakłócających, trudnych do wyeliminowania na stanowisku badawczym.

Oprócz wspomaganego komputerowo projektowania elementów składowych stanowiska badawczego, nieodzowne jest stosowanie zaawansowanego softwaru do pomiaru, wizualizacji oraz pomiaru parametrów pracy systemu. Przedstawione oprogramowanie LabView kompatybilne z hardwarem Compact Rio jest bardzo wygodnym, łatwym i przyjemnym środowiskiem do nawet bardzo zaawansowanych badań naukowych. Dzięki popularności bardzo często stanowi podstawę zajęć laboratoryjnych w ramach różnych kursów prowadzonych na poziomie szkoły średniej, studiów wyższych I, II stopnia oraz doktoranckich.

7.7.2. Ćwiczenie 1

Zadanie grupowe. Należy dokonać złożenia jednokomórkowego ogniwa paliwowego tak jak to przedstawiono na rysunku 7.34 i 7.35.

Wykonana praca powinna obejmować:

- Sprawdzenie kompletacji wszystkich komponentów ogniwa paliwowego.
- Montaż komponentów na wyznaczonym stanowisku badawczym.
- Sprawdzenie połączeń mechanicznych i elektrycznych.
- Napełnienie systemu wodorem i sprawdzenie szczelności układu pod nadzorem prowadzącego zajęcia laboratoryjne.

7.7.3. Ćwiczenie 2

Zadanie grupowe. Należy dokonać złożenia stanowiska badawczego wodorowych ogniw paliwowych, tak jak to przedstawiono na rysunku 7.33.

Wykonana praca powinna obejmować:

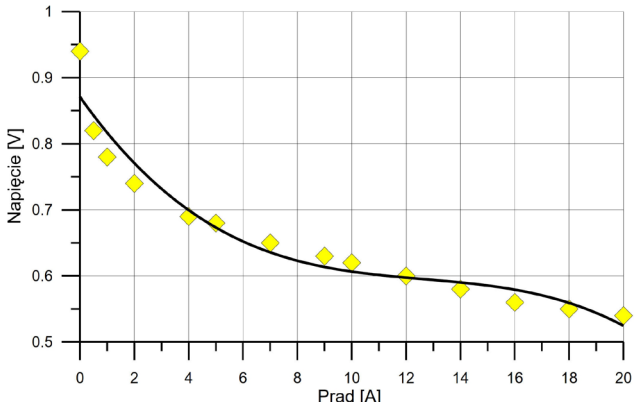
- Sprawdzenie kompletacji wszystkich komponentów.
- Montaż komponentów na wyznaczonym stanowisku badawczym.
- Sprawdzenie połączeń mechanicznych i elektrycznych.
- Dokonać napełnienia systemu wodorem i sprawdzić szczelność układu pod nadzorem prowadzącego zajęcia laboratoryjne.

7.7.4. Ćwiczenie 3

Dokonaj pomiarów osiągów jednokomórkowego ogniwa paliwowego w celu wykonania krzywej polaryzacji.

Najważniejszą charakterystyką wodorowych ogniw paliwowych jest tzw. krzywa polaryzacji, która została przedstawiona na rysunku 7.39. Przedstawia zależność wielkości generowanego napięcia od prądu obciążającego ogniwo lub stos ogniw paliwowych. Na jej podstawie eksperci są w stanie określić osiągi badanego ogniwa oraz monitorować ich spadek podczas długoterminowej pracy systemu. Bardzo wiele mówi również o potencjalnej możliwości użycia danego modułu ogniw paliwowych do konkretnego zastosowania. Określenie optymalnego punktu pracy systemu (w której części charakterystyki) wpływa na sprawność systemu, jak i jego żywotność.

Obciążenie elektroniczne dla ogniw paliwowych jest realizowane poprzez moduł PEL-300 firmy GwInstek. Moduł posiada możliwość programowania zmiany obciążenia w czasie, co jest bardzo często wykorzystywane w badaniach trwałościowych ogniw paliwowych typu PEM i HTMPE. Ilość startów systemu jest, zaraz po czasie pracy, jednym z głównych kryteriów oceny pracy. Obciążenie elektroniczne posiada wiele zalet w porównaniu z tradycyjnym sposobem obciążania systemu. Należy tu wymienić możliwość pracy w różnych trybach obciążenia (stałego prądu, napięcia lub rezystancji), dokładność, powtarzalność oraz możliwość jego dokładnego utrzymania bez względu na zmieniające się parametry samego systemu ogniw paliwowych, jak i otoczenia.



Rys. 7.39. Krzywa polaryzacji jednokomórkowego ogniwa paliwowego typu HTPEM.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

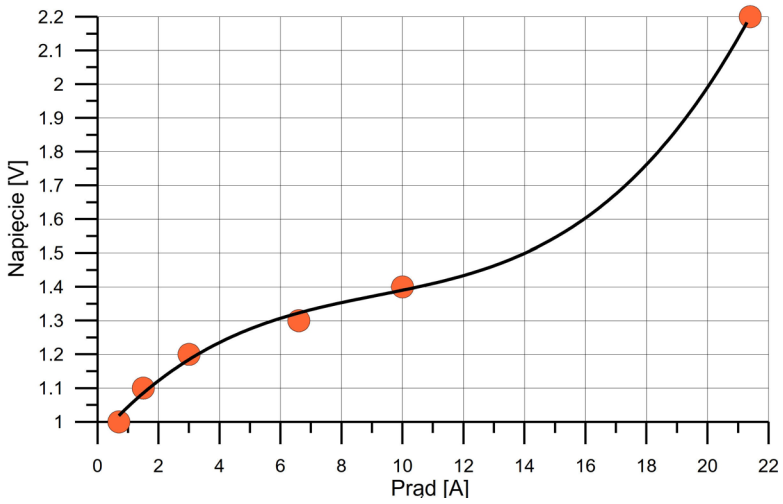
.....

.....

7.7.5. Ćwiczenie 4

Dokonaj pomiarów osiągów jednokomórkowego elektrolizera wodoru w celu wykonania jego charakterystyki.

Dla elektrolizera układ zasilania prądem stanowi zasilacz ATTEN KPS3050DA. Charakterystykę prądowo-napięciową elektrolizera HTPEM przedstawia rysunek 7.40. Prawie cały prąd zasilający elektrolizer jest przeznaczany na elektrolizę pary wodnej zasilającej anodę elektrolizera w celu uzyskania czystego wodoru po stronie katodowej. Jest to możliwe dzięki właściwościom membrany HTPEM, jak i spowodowane brakiem strat energii elektrycznej na podgrzewanie wody do postaci pary wodnej. W takiej sytuacji naukowcom zależy na maksymalizacji mocy elektrolizerów i czasu ich pracy. Uzyskanie na jednokomórkowym elektrolizerze obciążenia prądowego około 22 A jest bardzo dobrym wynikiem.



Rys. 7.40. Charakterystyka prądowo-napięciowa jednokomórkowego elektrolizera typu HTPEM.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7.7.6. Ćwiczenie 5

Dokonaj analizy ekonomicznej użytkowania autobusu wodorowego marki ursus bus z wykorzystaniem danych pomiarowych, pochodzących z systemu monitoringu pojazdu na platformie internetowej.

Praca powinna obejmować:

- Wejście na platformę internetową i zapoznanie się z jej działaniem i obsługą. Adres i dane potrzebne do logowania (login i hasło) zostaną udostępnione przez prowadzącego zajęcia.
- Wybór najbardziej reprezentatywnej trasy opisującej codzienne wykorzystanie autobusu wodorowego.
- Na podstawie danych należy obliczyć zapotrzebowanie wodoru do pokonania trasy reprezentatywnej. Na podstawie uzyskanej z sieci ceny wodoru oraz jego zużycia przez pojazd należy obliczyć koszty dziennego, miesięcznego i rocznego użytkowania pojazdu.
- Uzyskane dane dotyczące kosztów jazdy autobusu wodorowego należy odnieść do identycznego pojazdu, ale zasilanego silnikiem wysokoprężnym.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Podsumowanie i wnioski

Napędy wszelkiego rodzaju pojazdów z udziałem silników elektrycznych spotyka się coraz częściej. Wśród zalet napędu elektrycznego wymienić należy niski koszt eksploatacji, nieduże zużycie elementów maszyny oraz brak emisji zanieczyszczeń do środowiska naturalnego. Jest to niezwykle istotne biorąc pod uwagę, że producenci pojazdów już teraz borykają się z surowymi prawami dotyczącymi emisji szkodliwych gazów, a silniki spalinowe stają się coraz bardziej kosztowne ze względu na rygorystyczne wymogi ekologiczne. Silnik elektryczny sprawia, że jest łatwo sterowalny, posiada najwyższą efektywność konwersji energii na ruch oraz jest znacznie prostszy w budowie. Pojazdy z silnikiem elektrycznym są także cichsze, a przez to bardziej znośne dla otoczenia. Co więcej, koszty energii elektrycznej są bardziej przewidywalne w porównaniu z ceną gazu albo ropy. Energię elektryczną można wytworzyć w różny sposób, nie tak jak paliwa kopalne. Energii odnawialnej – słońca, wiatru, wody – można z powodzeniem zużywać nie tylko w domu, ale również w pojazdach. Oprócz tego praca na biegu jałowym pojazdu elektrycznego nie wiąże się ze zużyciem energii, tak jak ma to miejsce w przypadku pojazdu z silnikiem wysokoprężnym, którego specyfika skłania do każdorazowego wyłączania silnika. Pojazdy z silnikiem elektrycznym pobierają energię ze źródeł elektrycznych zamiast benzyny, co może robić ogromną różnicę dla opłacalności prowadzonej działalności. Sugeruje się, że nadejdzie moment, iż elektryczne pojazdy staną się tańsze niż ich spalinowe odpowiedniki.

Prawie wszyscy producenci samochodów elektrycznych dostosowują swoje pojazdy napędzane do tej pory w sposób tradycyjny do ekologicznego napędu elektrycznego. Dotyczy to pojazdów osobowych, dostawczych, a także autobusów. Trend ten jest widoczny w motoryzacji szczególnie od 2012 roku i jest nazywany elektromobilnością. Trend ten jest obserwowany od kilku lat w produkcji wszelkiego rodzaju pojazdów. Ich producenci zazwyczaj dostosowują produkowane do tej pory pojazdy i urządzenia do napędu elektrycznego. Podejście takie jest jak najbardziej racjonalne, gdyż pozwala na ograniczenie kosztów inwestycyjnych, związanych z elektryfikacją produkowanych do tej pory pojazdów. Jednocześnie mogą sprzedawać wersje tradycyjne i intensywnie promować wersje elektryczne, które posiadają bardzo wiele zalet w stosunku do ich poprzedników. Zarówno w motoryzacji, jak i w branży rolniczej udział pojazdów i maszyn z napędem elektrycznym będzie się zwiększał z roku na rok. Zapewne komisje regionalne, krajowe, europejskie oraz światowe będą ustanawiać prawne terminy związane z zakazem wykorzystywania napędów tradycyjnych lub koniecznością zwiększenia floty pojazdów czy parku maszynowego z napędami elektrycznymi.

Wnioski ogólne w obszarze pojazdów o napędzie elektrycznym

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski ogólne w obszarze pojazdów o napędzie elektrycznym:

1. Prawie wszystkie większe koncerny produkujące pojazdy mają zaawansowane prototypy z napędem elektrycznym.
2. Oprócz pojazdów samochodowych mobilne akumulatory są wykorzystywane do napędu np. wózków widłowych i pojazdów wolnobieżnych typu melex. Coraz więcej urządzeń ogrodniczych i budowlanych również ma zasilanie akumulatorowe.
3. Elektromobilność jest światowym trendem również w obszarze elektrycznych pojazdów i maszyn, który powoli wchodzi również do Polski.
4. Istnieją różne standardy ładowania pojazdów elektrycznych. W Europie standardem jest typ 2 wtyczki i ładowanie prądem stałym DC ładowarkami o mocy 50 kW.
5. Istnieje szeroki wybór ładowarek do pojazdów elektrycznych, które różnią się mocą i ceną.
6. Ładowanie baterii pojazdu elektrycznego, z baterią o pojemności energetycznej 30 kWh, do pełna z gniazda 1-fazowego trwa 15,5 godziny i jest nazywane ładowaniem wolnym z wykorzystaniem ładowarki pokładowej pojazdu.
7. Ładowanie baterii pojazdu elektrycznego, z baterią o pojemności energetycznej 30 kWh, do pełna za pomocą szybkiej ładowarki o mocy 50 kW trwa mniej niż godzinę i jest nazywane szybkim ładowaniem DC.
8. W wyniku eksploatacji własnego pojazdu na dystansie ponad 30 000 km (renault twizy autora) i testowania różnych pojazdów na rynku (nissan leaf, renault zoe, audi e-tron, BMW i3, elektryczny hyundai kona) można gromadzić doświadczenia związane z eksploatacją, serwisowaniem i naprawą pojazdów elektrycznych.

Wnioski ogólne w obszarze pojazdów o napędzie hybrydowym

Na podstawie przeprowadzonych analiz i wykonanych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Toyota Corporation jest światowym liderem w rozwoju napędów hybrydowych. To właśnie pod koniec lat 90. XX wieku przez Toyotę został wprowadzony na rynek pierwszy pojazd hybrydowy – prius. Od tamtego czasu można już kupić 4. generację tego popularnego kompaktu.
2. Dzięki połączeniu napędu spalinowego i elektrycznego pojazdy hybrydowe Toyoty cechują się niskim zużyciem paliwa i dużą trwałością.
3. Każdy właściciel hybrydowej toyoty może zakupić interfejs OBD, który będzie przekazywał dane do aplikacji Hybrid Assist, a ta następnie będzie wysyłała je do chmury. Z danych zgromadzonych w chmurze generowany jest automatycznie raport zawierający wiele ciekawych informacji.
4. Kompaktowe auto, jakim jest toyota auris, do jazdy miejskiej z prędkością 50 km/h potrzebuje ok. 7,5 kW mocy. Jednak do pokonania zwiększonych oporów powietrza przy prędkości autostradowej (140 km/h) potrzebuje już ok. 35 kW mocy. Podczas testu osiągnięto prędkość maksymalną 168 km/h z zapotrzebowaniem ponad 60 kW.
5. Kompaktowe auto, jakim jest toyota auris, podczas jazdy miejskiej z prędkością 50 km/h

zużywa ok. 4 l/100 km. Jednak do pokonania zwiększonych oporów powietrza przy prędkości autostradowej (140 km/h) potrzebuje już ok. 9 l/100 km. Podczas testu osiągnięto prędkość maksymalną 168 km/h z chwilowym zużyciem wynoszącym ponad 13 l/100 km.

6. Bateria trakcyjna pracuje na wysokim napięciu wynoszącym prawie 270 V. Bateria jest w stanie oddać i przyjąć moc wynoszącą ok. 65 kW.
7. Ważnym komponentem systemu hybrydowego jest litowo-jonowa bateria trakcyjna. Pakiet baterii składa się z 14 bloków. Przeprowadzony test wykazał, że bateria jest w dobrej kondycji, ale wymaga przeprowadzenia balansowania napięcia poszczególnych bloków.

Wnioski szczególne w obszarze projektowania i produkcji pojazdów z napędem elektrycznym

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski szczególne w obszarze projektowania i produkcji pojazdów z napędem elektrycznym:

1. Na rynku można odnaleźć innowacyjne produkty w postaci silników PMSM, które mogą zostać wykorzystane do budowy elektrycznych układów napędowych dla pojazdów. W raporcie przedstawiono szereg silników o mocy od 4 do 140 kW, zdolnych napędzać układy trakcyjne pojazdów, a także urządzenia pomocnicze. Dla wybranych silników przedstawiono drogę rozwoju układu napędowego od koncepcji do gotowego projektu w postaci prototypu bądź dokumentacji technicznej.
2. Na rynku można odnaleźć innowacyjne produkty w postaci modułów i pakietów baterii litowo-jonowych, które mogą zostać wykorzystane do budowy elektrycznych układów napędowych dla pojazdów. Są to produkty firm zachodnioeuropejskich, mających swoje zakłady produkcyjne w Polsce. Z pojedynczych modułów można budować pakiety o pojemności 4 kWh przeznaczone dla lekkich pojazdów aż do 100 kWh przeznaczonych dla cięższych pojazdów.
3. Najlepszym rozwiązaniem w zakresie ładowania baterii trakcyjnych w pojazdach jest szybkie ładowanie prądem stałym DC za pomocą zewnętrznej ładowarki. Ładowarki takie mogą mieć kompaktową budowę i mobilne możliwości. Typem wtyczki najbardziej odpowiednim jest CCS Combo 2, zdolne przekazywać zarówno trójfazowy prąd przemienny, jak i prąd stały.
4. Firma podejmująca się projektowania i produkcji pojazdów zasilanych elektrycznie powinna:
   - Posiadać odpowiednią infrastrukturę w postaci prototypowni.
   - Posiadać odpowiednią infrastrukturę laboratoryjną.
   - Mieć wprowadzone procedury postępowania w wybranych sytuacjach niebezpiecznych jako normy wewnętrzne.
   - Pracownicy powinni posiadać odpowiednie wykształcenie i przeszkolenie w celu uzyskania wymagań krajowych.
5. Firma działająca w obszarze projektowania i produkcji pojazdów z napędem elektrycznym powinna na stałe współpracować z dostawcami komponentów OEM i części zamiennych do EV. Powinna również korzystać ze szkoleń przez nich oferowanych.

Bibliografia

[1] Małek, A., Łusiak, T. (2019). Interaktywne stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 1–2.

[2] Apostolaki-Iosifidou, E., Codani, P., Kempton, W. (2017). Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging. Energy 127.

[3] Bosch, R. (2010). *Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne*., Warszawa: WKiŁ.

[4] Caban, J., Vrabel, J., Šarkan, B., Zarajczyk, J., Marczuk, A. (2018). Analysis of the market of electric tractors in agricultural production, MATEC Web of Conferences 244, 03005.

[5] Caban, J., Zarajczyk, J., Małek, A. Possibilities of using electric drives in city buses, Proceeding of 23rd International Scientific Conference. Transport Means 2019. S. 543–547. ISSN 2351-7034 (on-line).

[6] Caban, J., Zarajczyk, J., Szmigielski, M., Górniak, B. (2018). Hybrid drive as a future in agricultural technology, Proceedings of the Institute of Vehicles, 3(117).

[7] Dobrzański, D. (2017). Przegląd i charakterystyka standardów złączy szybkiego ładowania pojazdów EV. *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe,* nr *3* (115).

[8] Flasza, J. (2017). Elektromobilność w Polsce – wyzwania i możliwości z uwzględnieniem inteligentnych instalacji OZE. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 6.

[9] Gołębiewski, W. (2017). Elastyczność wybranych silników samochodów elektrycznych. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 7–8.

[10] Hall, F., Touzri, J., Wußler, S. (2018), Experimental investigation of the thermal and cycling behavior of a lithium titanate-based lithium-ion pouch cell, Journal of Energy Storage, Vol. 17, s. 109–117.

[11] Lejczak, T. Trzciński, T. (2017). Battery pack roof version. Technical manual. BMZ.

[12] Małek, A., Filipowicz, I. (2018) Ładowanie pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018", Kazimierz Dolny, 19–21.09.2018. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 11 (7 pkt MNiSW) s. 37–40. ISSN 1509-5878. JEL: Q01, L62. DOI: 10.24136/atest.2018.343. Data zgłoszenia: 7.10.2018. Data akceptacji: 19.11.2018.

[13] Małek, A., Kośko, M., Łusiak, T. *Logistyka miejska małego pojazdu elektrycznego ładowanego z carportu fotowoltaicznego.* KONFERENCJA NAUKOWA E-MOBILNOŚĆ wyzwania, szanse i zagrożenia, Warszawa 21–22.09.2017. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji, Vol. 82, No. 4, 2018, s. 63–75 (10 pkt MNiSW). doi:10.14669/AM.VOL82.ART5.

[14] Małek, A., Kowalczyk, D. (2016). Analiza procesu ładowania pojazdu elektrycznego z fotowoltaicznych ogniw słonecznych. XIII Konferencja LOGITRANS'2016, Szczyrk, 11–14.04.2016. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 6 (7 pkt MNiSW), s. 271–275. ISSN 1509-5878.

[15] Małek, A., Łusiak, T. (2019). *Interaktywne stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych.* XXII Międzynarodowa Konferencja Naukowa TRANSCOMP'2018, Zakopane 3–6.12.2018. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 1–2/2019 (7 pkt MNiSW), s. 93–98. ISSN 1509-5878. JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2019.014, Data zgłoszenia: 15.12.2018. Data akceptacji: 8.02.2019.

[16] Małek, A., Ogrodnik, M. (2018). Metody badań autonomii pojazdów elektrycznych, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018", Kazimierz Dolny, 19–21.09.2018. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 12 (7 pkt MNiSW) s. 27–31. ISSN 1509-5878. JEL: L62. DOI: 10.24136/atest.2018.339. Data zgłoszenia: 7.10.2018. Data akceptacji: 19.11.2018.

[17] Małek, A., Caban, J. and Wojciechowski, Ł. (2020). Charging electric cars as a way to increase the use of energy produced from RES. Open Engineering. 10(1): 98–104. doi:10.1515/eng-2020-0009.

[18] Motoaki ,Y., Yi, W., Salisbury, S. (2018). Empirical analysis of electric vehicle fast charging under cold temperatures, Energy Policy, Vol. 122, s. 162–168.

[19] Mruzek, M., Gajdáč, I., Kučera, L., Gajdošík, T. (2017). The Possibilities of Increasing the Electric Vehicle Range. Procedia Engineering, Vol. 192.

[20] Nian, V., Hari, M.P., Yuan, J. (2017). The prospects of electric vehicles in cities without policy support. Energy Procedia, Vol. 143.

[21] Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T. (2015). Li-ion battery materials: present and future, Materials Today, Vol. 18, Issue 5, s. 252–264.

[22] Norma PN-EN 61851-23:2014-11E, System przewodowego ładowania pojazdów elektrycznych – część 23: Stacja ładowania pojazdów elektrycznych prądu stałego, 2018-03-19.

[23] 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.

[24] Norma SAE J1772, SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, 2017-10.

[25] Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce, Ministerstwo Energii, Warszawa, 16.03.2017.

[26] Popiołek, S. (2017). Samochód z napędem elektrycznym a bezpieczeństwo ruchu drogowego. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 7–8.

[27] 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, Vol. 201, 10 November 2018, s. 1043–1051.

[28] Rogge, M., Wollny, S., Sauer, D.U. (2015). Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport – A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements, „Energies", No. 8.

[29] Satyendra Kumar, M., Revankar, S.T. Development scheme and key technology of an electric vehicle: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 70, April 2017.

[30] Szumanowski, A. (2010). Pojazdy ekologiczne – przyszłość samochodów hybrydowych. *Przegląd Mechaniczny*.

[31] Wang, L., Wang, Z., Ju Q. Characteristic Analysis of Lithium Titanate Battery, Energy Procedia, Vol. 105, May 2017, s. 4444–4449.

[32] 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, s. 302–310.

[33] Wielgus, J., Kasperek, D., Małek, A., Łusiak, T. (2017). Generacje rozwojowe autobusów elektrycznych marki URSUS. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 11, s. 20–25 (7 pkt MNiSW). ISSN 1509-5878.

[34] Wielgus, J., Kasperek, D., Małek, A., Łusiak, T. (2017). Generacje rozwojowe autobusów elektrycznych marki URSUS. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 11.

[35] Yilmaz, M., Krein, P.T. (2013). Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles, „IEEE Transactions on Power Electronics", Vol. 28, No. 5.

[36] Zajkowski, K., Seroka, K. (2017). Przegląd możliwych sposobów ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 7–8.

[37] Zarajczyk, K., Małek, A., Kośko, M. (2018). Założenia konstrukcyjne i funkcjonalne pojazdu użytkowego Ursus Elvi z napędem elektrycznym. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 6, s. 309–313 (7 pkt MNiSW). ISSN 1509-5878. JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.082. Data zgłoszenia: 2018.05.22. Data akceptacji: 2018.06.15.

[38] Zawilak, J., Zawilak, T. (2014). Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi o dużej sprawności. *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, r. 90, nr 1.

[39] Pielecha, I., Cieślik, W., Borowski, P., Czajka, J., Bueschke, W. (2014). Rozwój silników spalinowych napędów hybrydowych. *Combustion Engines 3*(158).

[40] Schmidt, T. (2019). *Pojazdy hybrydowe i elektryczne w praktyce warsztatowej. Budowa, działanie, podstawy obsługi*. WKiŁ.

[41] de Miranda, P.E.V., Carreira, E.S., Icardi, Nunes, G.S. Brazilian hybrid electric-hydrogen fuel cell bus: Improved on-board energy manage U. A. ment system. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 42, Issue 19, 11 May 2017, s. 13949–3959.

[42] Zajkowski, K., Seroka, K. (2017). Przegląd możliwych sposobów ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 7–8.

[43] Ahluwalia, R.K., Peng, J.K., Roh, H.S., Hua, T.Q., James, B.D. Supercritical cryocompressed hydrogen storage for fuel cell electric buses. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 43, Issue 22, 31 May 2018, s. 10215–10231

[44] Berger, R. Fuel Cell Electric Buses – Potential for Sustainable Public Transport in Europe. A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking: http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/150909_FINAL_Bus_Study_Report_OUT_0.PDF.

[45] Chang, C.C., Liao, Y.T., Chang, Y.W. Life cycle assessment of alternative energy types – including hydrogen – for public city buses in Taiwan. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 44, Issue 33, 5 July 2019, s. 18472–18482.

[46] Correa, G., Muñoz, P., Falaguerra, T., Rodriguez, C.R. Performance comparison of conventional, hybrid, hydrogen and electric urban buses using well to wheel analysis. Energy, Vol. 141, 15 December 2017, s. 537–549.

[47] Fazle Kibriaa, A.K.M., Moa, Y.H., Parka, K.S., Nahma, K.S., Yun, M.H. Electrochemical hydrogen storage behaviors of CVD, AD and LA grown carbon nanotubes in KOH medium; International Journal of Hydrogen Energy 26/2001, s. 823–829.

[48] Jwa, K., Lim, O. Comparative life cycle assessment of lithium-ion battery electric bus and Diesel bus from well to wheel. Energy Procedia, Vol. 145, July 2018, s. 223–227.

[49] Laib, F., Braun, A., Rid, W. Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic. A case study from Stuttgart, Germany. Transportation Research Procedia, Vol. 37, 2019, s. 377–384.

[50] Lee, D.Y., Elgowainy, A., Vijayagopal, R. Well-to-wheel environmental implications of fuel economy targets for hydrogen fuel cell electric buses in the United States. Energy Policy, Vol. 128, May 2019, s. 565–583.

[51] Małek, A. (2015). A comprehensive analyze of LTPEM and HTPEM Fuel Cells aimed at their usage in vehicles drive. Czasopismo Logistyka – Nauka 3, s. 3048–3056.

[52] Tong, H.Y. Development of a driving cycle for a supercapacitor electric bus route in Hong Kong. Sustainable Cities and Society, Vol. 48, July 2019, Article 101588.

[53] Vepsäläinen, J., Otto, K., Lajunen, A., Tammi, K. Computationally efficient model for energy demand prediction of electric city bus in varying operating conditions. Energy, Vol. 169, 15 February 2019, s. 433–443.

[54] Wang, L., Wang, Z., Ju, Q. Characteristic Analysis of Lithium Titanate Battery, Energy Procedia, Volume 105, May 2017, s. 4444–4449.

[55] Małek, A. (2015). Analiza porównawcza parametrów pracy ogniw paliwowych typu LTPEM i HTPEM celem ich użycia do napędu pojazdów. XII Konferencja LOGITRANS ’2015, Szczyrk, 20–23.04.2015. *Czasopismo Logistyka – Nauka* 3, s. 3048–3056. ISSN 1231-5478.

[56] Małek, A. (2015). Wpływ ciśnienia i temperatury pracy na osiągi ogniwa paliwowego typu HTPEM. XIX Międzynarodowa Konferencja Naukowa TransComp, Zakopane 30.11–3.12. 2015. *Technika Transportu Szynowego* 12, s. 1032–1035. ISSN 1232-3829.

[57] Małek, A., Grabowski, Ł., Wendeker, M. (2010). Ekologiczne systemy generowania mocy oparte na ogniwach paliwowych typu PEM. V Konferencja Naukowa EKOENERGIA ’2010, Lublin 17.12.2010. Materiały konferencyjne. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* s. 219–227. ISSN 1509-5878.

[58] Toyota Mirai, Users manual, 2017.

[59] Zuliani, N., Radu, R., Taccani, R. Design and experimental characterization of a 350 W high temperature PEM fuel cell stack. 9th YSESM, Trieste, Italy, July 7–9, 2010; ISBN 978-88-95940-30-4.

Czasopisma, strony internetowe

[60] http://samochodyelektryczne.org/4000_szybkich_ladowarek_ccs_combo_2_w_europie.htm [dostęp: 2019.12.11].

[61] https://dexters-web.de/faq/en [dostęp: 2019.12.11].

[62] https://sep.com.pl/aktualnosci/szkolenie-sep-do-1kv-dla-nieelektrykow.html [dostęp: 2019.12.11].

[63] https://www.bmz-group.com/Company/Polska/PL_index_1906.html [dostęp: 2019.11.25].

[64] https://www.aideautomotive.com/hybrid-safe-to-service-tool-kit/ [dostęp: 2019.11.25].

[65] https://eu.industrial.panasonic.com/products/batteries-energy-products/secondary-batteries-rechargeable-batteries/lithium-ion-batteries [dostęp: 2019.11.28].

[66] https://elektromobilnosc24.pl/artykul/137-baterie-trakcyjne-samochodow-elektrycznych [dostęp: 2019.12.11].

[67] https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/ [dostęp: 2020.01.15].

[68] https://www.teslarati.com/tesla-model-s-battery-pack-teardown/ [dostęp: 2020.01.15].

[69] https://www.electricclassiccars.co.uk/batteries/tesla-model-s-battery-module [dostęp: 2020.01.15].

[70] https://chargedevs.com/newswire/tesla-on-the-way-to-eliminating-cobalt-from-its-batteries/ [dostęp: 2020.01.15].

[71] https://www.quora.com/How-are-the-Tesla-18650-cells-in-the-battery-pack-cooled [dostęp: 2020.01.15].

[72] https://qnovo.com/peek-inside-the-battery-of-a-tesla-model-s/ [dostęp: 2020.01.15].

[73] https://www.youtube.com/watch?v=Fgs46PsTon4 [dostęp: 2020.01.15].

[74] http://www.mynissanleaf.com/viewtopic.php?t=21399 [dostęp: 2020.01.13].

[75] https://insideevs.com/nissan-leaf-battery-nerdgasm/ [dostęp: 2020.01.12].

[76] https://www.electrive.com/2018/07/02/nissan-scraps-one-billion-dollar-battery-deal-with-gsr/ [dostęp: 2020.01.11].

[77] http://www.leaftalk.co.uk/showthread.php/7172-Upgrading-onboard-charger [dostęp: 2020.01.11] https://www.transportenvironment.org/news/supply-chargers-not-standing-way-ev-sales-car-availability [dostęp: 2020.01.10].

[78] https://ekoenergetyka.com.pl/pl/stacje-ladowania/20-kw-mobile-charger/ [dostęp: 2020.01.15].

[79] http://portalwysokichplonow.pl/elektryczne-maszyny-rolnicze-maja-szanse-podbic-rynek/ [dostęp: 2020.01.16].

[80] https://www.avl.com/-/electrification-solution-for-tractors [dostęp: 2020.01.16].

[81] https://www.mobil1.pl/aktualnosci-i-wiedza/mobil-1-dla-nowoczesnych-silnikow/pojazdow-hybrydowych.aspx [dostęp: 2020.06.08].

[82] http://elektrowoz.pl/dane-techniczne/nissan/leaf/2018/nissan-leaf-2-0-2018-dane-techniczne-opinie-test-cena-instrukcja-do-pobrania/ [dostęp: 2020.06.08].

[83] http://www.elektro.info.pl/aktualnosc/id8170,gridbooster-czyli-magazyn-energii-i-ladowarka-e-pojazdow-w-jednym [dostęp: 2020.06.08].

[84] http://gramwzielone.pl/trendy/29908/w-2017-w-europie-wyprodukowano-po-raz-pierwszy-wiecej-energii-z-oze-niz-z-wegla [dostęp: 2020.06.08].

[85] https://www.renault.pl/samochody/samochody-nowe/twizy.html [dostęp: 2020.06.08].

[86] https://pulawska.chodzen.pl/articles/nowa-toyota-prius-oszczednosc-i-dynamika [dostęp: 2018.05.25].

[87] https://www.auto-swiat.pl/uzywane/cykl-atkinsona-co-to-takiego-wyjasniamy-jak-dziala-uklad-hybrydowy-toyoty-dzialanie/njwdbcz#slajd-3 [dostęp: 2019.05.24].

[88] https://moto.wp.pl/cykl-atkinsona-wszystko-co-nalezy-o-nim-wiedziec-6081116745822849a [dostęp: 2019.05.29].

[89] https://autokult.pl/15441,cykl-atkinsona-millera-sposob-na-oszczedniejsze-silniki [dostęp: 2019.05.29].

[90] http://m.autocentrum.pl/dane-techniczne/toyota/prius/i/silnik-benzynowy-1.5-16v-58km-1997-2000/ [dostęp: 2019.05.31].

[91] http://m.autocentrum.pl/dane-techniczne/toyota/prius/i/silnik-benzynowy-1,5-vvt-i-72km-2000-2003/ [dostęp 2019.05.31].

[92] http://www.toyota.pl/articles/toyota-prius-czwartej-generacji [dostęp: 2019.05.30].

[93] http://www.toyota.pl/new-cars/nowy-prius-plug-in/ebrochure [dostęp: 2019.05.30].

[94] https://4.bp.blogspot.com/ [dostęp: 2020.05.29].

[95] https://regmedia.co.uk/2012/04/10/twizy_4.jpg [dostęp: 2020.05.29].

[96] https://cdn.motor1.com/images/mgl/vzNnQ/s1/renault-zoe-z-e-40-battery.jpg [dostęp: 2020.05.29].

[97] https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef022ad3b45e3a200b-550wi [dostęp: 2020.05.29].

[98] https://cdn.motor1.com/images/mgl/Orr4e/s3/audi-e-tron-battery-pack.jpg [dostęp: 2020.05.29].

[99] https://www.audi-mediacenter.com/en/audimediatv/video/charging-and-thermal-management-of-the-audi-e-tron-animation-4282 [dostęp: 2020.05.29].

[100] https://www.tipeurope.com/are-electric-trucks-coming-our-way-next-year [dostęp: 2020.05.29].

[101] https://ursusbus.com/ [dostęp: 2020.05.29].

[102] https://www.sunchainmetal.com/upload/Admin/images/IMG-0101.jpg [dostęp: 2020.05.29].

[103] https://www.vehicledynamicsinternational.com/news/chassis/low-floor-chassis-developed-for-electric-buses.html [dostęp: 2020.05.29].

[104] https://pl.farnell.com/motor-control-permanent-magnet-sync-motor-pmsm-technology [dostęp: 2020.05.29].

[105] https://www.stw-technic.com/new-products/powermela/ [dostęp: 2020.05.29].

[106] https://electrek.co/2017/10/16/tesla-new-dual-charge-port-design-model-s-model-x/ [dostęp: 2020.05.29].

[107] https://www.nissan.ie/vehicles/new-vehicles/leaf.html [dostęp: 2020.09.29].

[108] http://www.setec-power.com/product/20kw-ccs-portable-charger/ [dostęp: 2020.09.29].

[109] https://new.abb.com/ev-charging/products/car-charging/multi-standard/terra-24-cjg [dostęp: 2020.09.29].

[110] http://samochodyelektryczne.org/greenway_zapowiada_pierwsze_ladowarki_350_kw_na_autostradzie_a1_w_2019r.htm [dostęp: 2020.09.29].

[111] https://www.kzl.pl/oferta/stacje-ladowania-ecomoto.html [dostęp: 2020.09.29].

[112] https://pl.pinterest.com/pin/459015387006967468/ [dostęp: 2020.09.29].

[113] https://www.greencarcongress.com/2015/04/20150429-mirai.html [dostęp: 2020.09.29].

[114] https://insideevs.com/news/326312/2016-toyota-mirai-do-not-refuel-after-2029/ [dostęp: 2020.09.29].

[115] https://www.ziehl-abegg.com/pl/pl/swiat-produktow/motoryzacja/moduly-napedu-osiowego/ [dostęp: 2020.09.29].

[116] https://accounts.viriciti.com/login [dostęp: 2020.09.29].

Spis rysunków

Rys. 1.1. Rodzaje hybrydowych układów napędowych [81]. 10
Rys. 2.1. Charakterystyka silnika typu PMSM [37]. 12
Rys. 2.2. Częściowy podział silników elektrycznych prądu przemiennego. 12
Rys. 2.3. Silnik elektryczny – model 3D [3]. 13
Rys. 2.4. Model wirnika silnika elektrycznego [9]. 13
Rys. 2.6. Struktury mocowania magnesów: a) mocowane (klejone) na powierzchni wirnika, b) umieszczone tuż pod powierzchnią wirnika, c) zagłębione w wirniku, d) ułożone promieniowo [9]. 14
Rys. 2.7. Silnik elektryczny indukcyjny [9]. 15
Rys. 2.8. Model silnika indukcyjnego [9]. 15
Rys. 2.9. Wirnik silnika indukcyjnego. 16
Rys. 2.10. Silnik elektryczny pojazdu renault twizy [26]. 17
Rys. 2.11. Silnik elektryczny nissana leaf. 18
Rys. 2.12. Silnik elektryczny pojazdu nissan leaf II [74]. 18
Rys. 2.13. Konstrukcja pojazdu nissan leaf w przekroju. 19
Rys. 2.14. Silnik i zawieszenie tylne tesli model S – model 3D. 19
Rys. 2.15. Silnik i zawieszenie przednie tesli model X – wygląd rzeczywisty. 20
Rys. 2.16. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wygląd zewnętrzny. 21
Rys. 2.17. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wymiary gabarytowe. 21
Rys. 2.18. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – charakterystyka momentu obrotowego. 23
Rys. 2.19. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D. 24
Rys. 2.20. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D. 24
Rys. 2.21. Projekt uchwytu mocującego dla silnika – model 3D. 25
Rys. 2.22. Złożenie rzeczywiste silnik – uchwyt – blacha mocująca. 25
Rys. 2.23. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – badania laboratoryjne. 26
Rys. 2.24. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW. 27
Rys. 2.25. Zastosowanie silników PMSM Mela 85 i 140 kW. 27
Rys. 2.26. Silniki PMSM Mela 85 i 140 kW – charakterystyki momentu i sprawności [105]. 28
Rys. 2.27. Silnik PMSM Mela 85 – wymiary gabarytowe [105]. 28
Rys. 2.28. Silnik PMSM Mela 140 – wymiary gabarytowe [105]. 29
Rys. 2.29. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika. 29
Rys. 2.30. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika. 30
Rys. 2.31. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika. 30
Rys. 2.32. Komponenty dodatkowe dla układów napędowych. 31
Rys. 3.1. Gniazdo ładowania prądem stałym i przemiennym CCS Combo. 39
Rys. 3.2. Pojedyncza cela, moduł i pakiet baterii nissana leaf 2012 [75]. 40
Rys. 3.3. Moduł baterii nissana leaf 2012 [75]. 40
Rys. 3.4. Pojedyncze ogniwo litowo-jonowe nissana leaf [75]. 41
Rys. 3.5. Pakiet baterii nissana leaf 2012 [75]. 41
Rys. 3.6. Moduły baterii nissana leaf 2011–2018 [74]. 42
Rys. 3.7. Ogniwa baterii trakcyjnej pojazdu tesla. 42
Rys. 3.8. Wygląd pakietu baterii w renaulcie twizy [94]. 44

Rys. 3.9. Miejsce montażu pakietu baterii w renaulcie twizy [95]. 44
Rys. 3.10. Miejsce montażu pakietu baterii w renaulcie zoe [96]. 45
Rys. 3.11. Miejsce montażu pakietu baterii w BMW i3 [97]. 45
Rys. 3.12. Wygląd pakietu baterii w audi e-tron [98]. 46
Rys. 3.13. Rzeczywisty przekrój elektrycznego nissana leaf. 47
Rys. 3.14. Położenie baterii w nissanie leaf. 47
Rys. 3.15. Miejsce montażu pakietu baterii w audi e-tron [99]. 48
Rys. 3.16. Przepływ energii w audi e-tron podczas ładowania baterii [99]. 49
Rys. 3.17. Chłodzenie baterii w audi e-tron podczas jazdy [99]. 50
Rys. 3.19. Miejsce montażu pakietu baterii na dachu autobusu elektryczno-wodorowego ursus hydrogen demo bus [101]. 51
Rys. 3.20. Miejsce montażu pakietu baterii w luku bagażowym autobusu [102]. 51
Rys. 3.21. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [103]. 52
Rys. 3.22. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [103]. 52
Rys. 3.23. Moduły bateryjny 12S01P firmy BMZ [63]. 53
Rys. 3.24. Przykładowy rozkład modułów bateryjnych w projektowanym pojeździe. 54
Rys. 3.25. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ [11]. 54
Rys. 3.26. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ [11]. 55
Rys. 3.27. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ – wymiary gabarytowe [11]. 55
Rys. 4.1. Toyota prius I generacji – silnik spalinowy [32]. 63
Rys. 4.2. Toyota prius II generacji – silnik benzynowy [30]. 64
Rys. 4.3. Porównanie charakterystyk silników spalinowych kolejnych generacji napędów hybrydowych toyoty prius: a) momentu obrotowego, b) średniego ciśnienia użytkowego wraz z naniesionymi warunkami pracy tych silników w układach hybrydowych [28]. 65
Rys. 4.4. Toyota auris w wersji hybrid. 66
Rys. 4.5. Toyota auris hybrid – oznakowanie. 67
Rys. 4.6. Oryginalny bezprzewodowy interfejs ELM 327. 67
Rys. 4.7. Raport z systemu Hybrid Assistant. 68
Rys. 4.8. Podstawowe dane z jazdy. 69
Rys. 4.9. Dane wtyczki OBD i urządzenia mobilnego. 69
Rys. 4.10. SOC i prąd baterii. 70
Rys. 4.11. Statystyka SOC. 70
Rys. 4.12. Statystyki baterii HV. 71
Rys. 4.13. Średnie zużycie energii. 72
Rys. 4.14. Dystrybucja mocy. 72
Rys. 4.15. Bilans energetyczny. 73
Rys. 4.16. SOC i limity prądowe. 73
Rys. 4.17. Temperatura układu napędowego. 74
Rys. 4.18. Temperatury układu napędowego. 74
Rys. 4.19. Prędkość i SOC w funkcji czasu. 75
Rys. 4.20. Mapa zużycia paliwa w funkcji prędkości jazdy. 75
Rys. 4.21. Zużycie paliwa. 76
Rys. 4.22. Energia z silnika benzynowego. 76
Rys. 4.23. Tryby jazdy. 77
Rys. 4.24. Mapa mocy. 77
Rys. 4.25. Wykres rozrzutu obrotów. 78
Rys. 4.26. Przebieg korekt wtrysku paliwa. 78
Rys. 4.27. Próba baterii. 79
Rys. 4.28. Napięcia każdego bloku baterii. 79

Rys. 4.29. Statystyki bloków baterii. 80
Rys. 4.30. Różnice w napięciu modułów baterii. 80
Rys. 5.1. Różne standardy i wtyczki ładowania pojazdów elektrycznych [7]. 88
Rys. 5.2. Przewód ładowania z wtyczką 230 V. 89
Rys. 5.3. Gniazdko jednofazowe 230 V. 89
Rys. 5.4. Standard ładowania typ 1 [7]. 90
Rys. 5.5. Standard ładowania typ 2 [7]. 90
Rys. 5.6. Standard ładowania Tesla [106]. 91
Rys. 5.7. Standard ładowania CCS Combo 1 [7]. 92
Rys. 5.8. Standard ładowania CCS Combo 2 [7]. 92
Rys. 5.9. Standard ładowania Chademo [7]. 93
Rys. 5.10. Standard ładowania CCS Combo 2 [7]. 94
Rys. 5.11. Przewód ładujący [107]. 94
Rys. 5.12. Ładowarka naścienna typu wall box [17]. 95
Rys. 5.13. Słupki ładujące [17]. 96
Rys. 5.14. Ładowarka mobilna 20 kW [108]. 97
Rys. 5.15. Ładowarka mobilna 50 kW [108]. 97
Rys. 5.16. Ładowarka stacjonarna [109]. 98
Rys. 5.17. Rodzaje wtyczek ładowania w ładowarce stacjonarnej. 98
Rys. 5.18. Autobus ładowany pantografem. 99
Rys. 6.1. Stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych. 105
Rys. 6.2. Elektryczny nissan leaf II [82]. 106
Rys. 6.3. Bateria litowo-jonowa MLS 12/390. 107
Rys. 6.4. Ładowarka do baterii litowo-jonowych chargemaster 12/10. 109
Rys. 6.5. Watomierz z kalkulatorem energii. 109
Rys. 6.6. Słupki ładowania z gniazdem typ 2 i schuko (po prawej). 110
Rys. 6.7. Adapter elektryczny z gniazda typ 2 na gniazdko schuko. 111
Rys. 6.8. Obciążenie elektroniczne GW Instek PEL-300. 112
Rys. 6.9. Stanowisko podczas badania ładowania baterii. 113
Rys. 6.10. Przebieg mocy chwilowej i pobranej energii przez ładowarkę baterii litowo-jonowej. 114
Rys. 6.11. Przebieg prądu i napięcia ładowania baterii litowo-jonowej. 114
Rys. 6.12. Schemat funkcjonalny zintegrowanej stacji ładowania [83]. 115
Rys. 6.13. Pojazd elektryczny renault twizy. 117
Rys. 6.14. Pojazd elektryczny podczas ładowania baterii z minicarportu fotowoltaicznego. 118
Rys. 6.15. Układ elektryczny minicarportu. 119
Rys. 6.16. Podłączenie pojazdu elektrycznego do carportu celem ładowania baterii. . 119
Rys. 6.17. Przebieg parametrów podczas ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu. 120
Rys. 6.18. Przebieg w czasie pobranej energii i stanu naładowania baterii podczas procesu ładowania 121
Rys. 6.19. Carport fotowoltaiczny w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym. 122
Rys. 6.20. Wygląd ładowarki ecoMOTO [111]. 124
Rys. 6.21. Ładowanie pojazdu renault zoe ze stacji ecoMOTO. 124
Rys. 6.22. Stacja ładowania ecoMOTO podłączona do systemu fotowoltaicznego. 125
Rys. 6.23. Wizyta studentów WSEI w LPNT w celu testowania innowacyjnych rozwiązań. 126
Rys. 7.1. Zasada działania ogniwa paliwowego [55]. 132
Rys. 7.2. Typowe zastosowania różnych rodzajów ogniw paliwowych [57]. 133

Rys. 7.3. Widok stanowiska do badań ogniw paliwowych, znajdującego się na uniwersytecie w Trieście (Włochy). 134
Rys. 7.4. Mercedes citaro fuelCELL-hybrid w porcie w Hamburgu [112]. 136
Rys. 7.5. Kolejność przeprowadzania badań prototypu pojazdu zasilanego ogniwem paliwowym [57]. 137
Rys. 7.6. Wiązka 12 butli z wodorem. 141
Rys. 7.7. Oznaczenie butli z wodorem. 142
Rys. 7.*8*. Oznaczenie butli z wodorem. 142
Rys. 7.9. Tankowanie wodorowego ursusa. 142
Rys. 7.10. Zbiorniki z wodorem na dachu wodorowego ursusa. 143
Rys. 7.11. Naklejka homologacyjna na zbiorniku wodoru. 143
Rys. 7.12. Naklejka homologacyjna na zbiorniku wodoru. 144
Rys. 7.13. Produkcja modelu mirai. 145
Rys. 7.14. Schemat budowy i opis działania napędu wodorowego [113]. 146
Rys. 7.15. Dostarczanie tlenu i usuwanie wody w ogniwie paliwowym (widok trójwymiarowy) [113]. 147
Rys. 7.16. Budowa zbiornika wodorowego w toyocie mirai [113]. 148
Rys. 7.17. Rozmieszczenie głównych komponentów układu napędowego [58]. 149
Rys. 7.18. Zasilanie pojazdu z ogniw paliwowych [58]. 150
Rys. 7.19. Zasilanie pojazdu z baterii trakcyjnych [58]. 150
Rys. 7.20. Zasilanie pojazdu z ogniw paliwowych i z baterii trakcyjnych [58]. 150
Rys. 7.21. Zasilanie pojazdu z ogniw paliwowych i ładowanie baterii trakcyjnych [58]. 150
Rys. 7.22. Połączenie przewodu tankowania wodorem z toyotą mirai [114]. 151
Rys. 7.23. Rozmieszczenie stacji ładowania wodorem w Niemczech. oraz Europie. ..151
Rys. 7.24. Nowoczesna stacja ładowania wodoru w Belgii [114]. 152
Rys. 7.25. Końcówka tankowania WEH H70 [58]. 152
Rys. 7.26. Końcówka tankowania WEH H35 [58]. 152
Rys. 7.27. Przycisk do upuszczania wody [58]. 153
Rys. 7.28. Porównanie średniego zużycia energii elektrycznej przez różne rodzaje napędów [115]. 154
Rys. 7.29. Układ głównych komponentów układu napędowego [34]. 157
Rys. 7.30. Oś tylna autobusu elekryczno-wodorowego generacji 3 [34]. 157
Rys. 7.31. Projekty europejskie dotyczące autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi [34]. 158
Rys. 7.32. Okno platformy internetowej do monitoringu autobusu wodorowego [116]. 159
Rys. 7.33. Widok stanowiska badawczego ogniw paliwowych i elektrolizerów typu HTPEM. 165
Rys. 7.34. Widok rozstrzelony złożenia modelu elektrolizera typu HTPEM. 166
Rys. 7.35. Elektrolizer typu HTPEM w obudowie termicznej. 166
Rys. 7.36. Proces podgrzewania wysokotemperaturowego ogniwa/elektrolizera. 167
Rys. 7.37. Rozkład temperatury na płycie katody. 168
Rys. 7.38. Termogram elektrolizera podczas podgrzewania. 168
Rys. 7.39. Krzywa polaryzacji jednokomórkowego ogniwa paliwowego typu HTPEM. 169
Rys. 7.40. Charakterystyka prądowo-napięciowa jednokomórkowego elektrolizera typu HTPEM. 170

Spis tabel

Tabela 2.1. Dane finalne silnika 22
Tabela 2.2. Dane silnika 23
Tabela 2.3. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW – dane charakterystyczne [105] 27
Tabela 3.1. Dane techniczne modułu baterii nissana leaf 42
Tabela 3.2. Dane techniczne modułu baterii tesla 43
Tabela 3.3. Dane techniczne modułu baterii BMZ [63] 53
Tabela 6.1. Porównanie wybranych parametrów modułów baterii 108
Tabela 6.2. Dane renaulta twizy [85] 117
Tabela 7.1. Parametry zbudowanych autobusów wodorowych 156

Odpowiedzi do pytań testowych

Pytanie testowe 2.2		Pytanie testowe 3.5		Pytanie testowe 4.4		Pytanie testowe 5.3		Pytanie testowe 6.7		Pytanie testowe 7.6	
1	A	1	B	1	A	1	B	1	A	1	B
2	B	2	C	2	B	2	A	2	A	2	B
3	C	3	A	3	A	3	B	3	B	3	A
4	A	4	A	4	B	4	C	4	C	4	A
5	B	5	B	5	B	5	C	5	A	5	A
6	B	6	B	6	B	6	B	6	A	6	A
7	A	7	A	7	B	7	B	7	A	7	A
8	A	8	A	8	B	8	B	8	A	8	A
9	B	9	A	9	B	9	B	9	C	9	A
10	B	10	B	10	A	10	C	10	B	10	A
11	B	11	C	11	A					11	A
12	A	12	C	12	A					12	A
13	C	13	A	13	B					13	A
14	A	14	B	14	B					14	A
15	C	15	B	15	B					15	A
16	B	16	B	16	C					16	A
17	A	17	A	17	C					17	A
18	A	18	B	18	B					18	A
19	C	19	A	19	B					19	A
20	A	20	C	20	A					20	A
21	B	21	C	21	C						
22	A	22	B	22	A						
23	A	23	B	23	A						
24	B	24	B	24	B						
25	B	25	A	25	B						
26	B	26	A	26	A						
27	B	27	C	27	B						
28	B	28	C	28	A						
29	B	29	A	29	A						
30	B	30	A	30	A						
31	A			31	A						
32	B			32	B						
33	A			33	C						
34	C			34	B						
35	A			35	A						
36	B			36	A						
37	C			37	A						
38	B			38	B						
39	B			39	B						
40	A			40	A						

NAPĘDY POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH I HYBRYDOWYCH

Część druga
Studia przypadków

Arkadiusz Małek

Lublin 2021

Spis treści

Wprowadzenie 194

1. Napęd elektryczny pojazdu miejskiego renault twizy 195
   1.1. Klient 195
   1.2. Potrzeba 197
   1.3. Rozwiązanie 202
      1.3.1. Rozwój renaulta twizy 202
      1.3.2. Budowa renaulta twizy 207
      1.3.3. Produkcja renaulta twizy 224
      1.3.4. Ładowanie renaulta twizy 231
      1.3.5. Eksploatacja renaulta twizy 234
   1.4. Rezultaty 238
      1.4.1. Badanie renaulta twizy w warunkach drogowych 238
      1.4.2. Sprzedaż renaulta twizy 244

2. Napęd pojazdu elektrycznego BMW i3 z range extenderem 247
   2.1. Klient 247
   2.2. Potrzeba 248
   2.3. Rozwiązanie 249
      2.3.1. Idea i koncepcja pojazdu 249
      2.3.2. Napęd BMW i3 250
      2.3.3. Ładowanie BMW i3 257
      2.3.4. Inteligentny system zarządzania energią 258
      2.3.5. Produkcja BMW i3 259
      2.3.6. Tworzywa sztuczne w BMW i3 260
      2.3.7. Tryby jazdy BMW i3 262
   2.4. Rezultaty 265

3. Napęd elektrycznego pojazdu dostawczego ursus elvi 266
   3.1. Klient 266
   3.2. Potrzeba 266
      3.2.1. Wymagania Poczty Polskiej stawiane dostawczemu autu elektrycznemu 266
      3.2.2. Założenia – wymagania poczty niemieckiej 267
      3.2.3. Street Scooter jako odpowiedź na potrzeby poczty niemieckiej 268
   3.3. Rozwiązanie 274
      3.3.1. Polska odpowiedź na potrzeby rynkowe – ursus elvi 274
      3.3.2. Badania zasięgu ursus elvi 281
   3.4. Rezultaty 289
      3.4.1. Całkowite koszty użytkowania 290
      3.4.2. Koszty zakupu pojazdu 290
      3.4.3. Koszty użytkowania pojazdu 291
      3.4.4. Optymalizacja wyboru pojazdu dostawczego dla Poczty Polskiej 291

4. Napędy niskoemisyjnych autobusów marki Ursus Bus 294
4.1. Klient 294
4.2. Potrzeba 298
4.3. Rozwiązanie 298
4.3.1. Geneza produkcji niskoemisyjnych autobusów przez Ursus SA 298
4.3.2. Autobus elektryczny – generacja 1 299
4.3.3. Autobus elektryczny – generacja 2 301
4.3.4. Autobus elektryczno-wodorowy – generacja 3 302
4.4. Rezultaty 304
Porównanie parametrów i osiągów trzeciej generacji autobusów elektrycznych 304

5. Napęd pojazdu hybrydowego toyota prius 306
5.1. Klient 306
5.2. Potrzeba 306
5.3. Rozwiązanie 307
5.3.1. Toyota prius – I generacja 307
5.3.2. Toyota prius – II generacja 309
5.3.3. Toyota prius – III generacja 311
5.3.4. Toyota prius – IV generacja plug In 314
5.4. Rezultaty 321

Podsumowanie i wnioski 322
Bibliografia 324
Spis rysunków 329
Spis tabel 333

Wprowadzenie

XXI wiek w motoryzacji charakteryzuje się ciągłym rozwojem napędów pojazdów, które mają być coraz bardziej ekologiczne i ekonomiczne. Silnik spalinowy benzynowy osiągnął kres swoich możliwości, a silniki Diesla zostały skompromitowane podczas tzw. afery Volkswagena. Rozpoczęto wtedy szereg działań politycznych i gospodarczych, dążących do wyeliminowania napędów spalinowych z pojazdów osobowych. Wsparcie rozwoju napędów ekologicznych przyspieszyło ich wdrażanie na rynku globalnym. Od 1998 roku Toyota rozpoczęła rozwój napędów hybrydowych, które stały się ogniwem przejściowym pomiędzy pojazdami z silnikami spalinowymi a pojazdami całkowicie elektrycznymi. Następnie szybki rozwój technologii magazynowania dużych ilości energii elektrycznej w pojazdach przyspieszył wprowadzenie na rynek pojazdów elektrycznych. Można uznać, że rok 2012 stał się przełomowy, podczas którego kilka poważnych koncernów motoryzacyjnych wprowadziło do sprzedaży swoje pierwsze modele elektryczne. Dużą rolę w popularyzacji elektromobilności odegrały firmy Tesla oraz Nissan i Renault.

Kolejne lata rozwoju napędów elektrycznych i hybrydowych związane są ze zwiększeniem zasięgu pojazdu poprzez zwiększenie pakietów bateryjnych. Prace optymalizacyjne dotyczyły również zmniejszenia ceny pakietów oraz zwiększenia szybkości ich ładowania. Jednocześnie nastąpił bardzo szybki rozwój infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Poniżej zostanie przedstawione wnikliwe studium przypadków budowy i działania elektrycznych i hybrydowych napędów nowoczesnych pojazdów. Dzięki przestudiowaniu ich budowy oraz działania studenci będą mogli lepiej zrozumieć ich wyjątkowe zalety i w sposób bardziej świadomy stać się ich użytkownikami, projektantami, diagnostami i serwisantami.

1. Napęd elektryczny pojazdu miejskiego renault twizy

1.1. Klient

Potrzeba przemieszczania się jest jedną z podstawowych potrzeb człowieka w XXI wieku. Ludzie muszą dojeżdżać do pracy, do szkoły i załatwiać różne sprawy w różnych miejscach. Do przemieszczania się służą środki transportu indywidualnego i zbiorowego. W różnych krajach na świecie przyjęły się różne sposoby podróżowania, dedykowane rożnym grupom wiekowym i społecznym.

Według danych Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych (PSPA), pod koniec lutego 2020 roku w Polsce były zarejestrowane 9803 elektryczne samochody osobowe. W tym 58% (ok. 5700) to auta w 100% elektryczne (BEV, *ang. battery electric vehicles*), reszta to hybrydy typu plug-in, czyli z możliwością ładowania z gniazdka (PHEV, *plug-in hybrid electric vehicles*). Tylko w ciągu pierwszych dwóch miesięcy 2020 roku do wydziałów komunikacji zgłoszono 1166 pojazdów elektrycznych. Stanowi to blisko 200% wzrost w porównaniu z poprzednim rokiem. Oprócz tego w 2019 roku 28% Polaków zadeklarowało, że w ciągu 3 lat rozważy zakup samochodu elektrycznego. Dla porównania w 2018 roku było ich 17%, a rok wcześniej – tylko 12% [38].

Badanie przedstawione w [38] potwierdza też stereotyp ukuty przez lata, że brak odpowiedniej infrastruktury i zbyt mała liczba stacji ładowania aut elektrycznych to bariera dla rozwoju elektromobilności w Polsce. Aż 90% Polaków uważa, że liczba stacji ładowania pojazdów elektrycznych nie jest wystarczająco duża, by móc swobodnie poruszać się takim autem po ulicach (50% odpowiedziało „zdecydowanie za mało”, 40% – „za mało”) [38].

Tymczasem analitycy PSPA podkreślają, że w Polsce są już 1093 stacje ładowania samochodów elektrycznych, udostępniające łącznie 2028 punktów ładowania. Liczba ta rośnie z każdym miesiącem – jeszcze na koniec 2018 roku stacji ładowania było około 300, a pod koniec I kwartału 2019 r. ponad dwa razy więcej – 646. Dziś na jeden publicznie dostępny punkt ładowania w Polsce przypada średnio 3,5 BEV. A dla porównania w Niemczech i na Słowacji – 4 pojazdy elektryczne przypadające na jeden punkt ładowania [38].

To pokazuje, jak dynamicznie w Polsce zachodzą zmiany infrastrukturalne – komentują badacze i wskazują, że kolejne zmiany w infrastrukturze zajdą dzięki przyjętej dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844, która weszła w życie z dniem 9 lipca 2018 roku. Zgodnie z jej zapisami, we wszystkich krajach Unii Europejskiej przy nowych niemieszkalnych budynkach (np. biurowcach lub centrach handlowych), albo tych podlegających generalnemu odnowieniu, z liczbą miejsc parkingowych większą niż 10, będą musiały powstać miejsca dopasowane do ładowania aut elektrycznych. Na pięć zwykłych miejsc parkingowych, musi powstać minimum jedno miejsce dla pojazdów elektrycznych. Oprócz tego, dyrektywa nakłada obowiązek wyposażenia dodatkowych miejsc w infrastrukturę kablową, ułatwiającą późniejszą instalację punktu ładowania. Wszystkie kraje członkowskie UE miały czas na transpozycję tej dyrektywy do 10 marca 2020 roku.

W związku z powyższymi bardzo optymistycznymi danymi, związanymi ze wzrostem zarówno pojazdów elektrycznych, jak i stacji ich ładowania, pojawia się pytanie: Kim są klienci kupujący pojazdy elektryczne?

Wyniki badań przeprowadzonych w USA wykazały, że po pierwsze, czynniki społeczno-demograficzne, w tym wykształcenie i dochody, odegrały znaczącą rolę w atrybutach preferencji uczestników w zakresie zakupu/leasingu pojazdu elektrycznego oraz w zachowaniach i wzorcach podróżowania do pracy [12]. Po drugie, kwestie środowiskowe są głównym powodem zakupu/leasingu pojazdów elektrycznych, ale właściciele pojazdów elektrycznych, którzy mieli dłuższe dojazdy do pracy, byli bardziej zaniepokojeni ceną i statusem właściciela pojazdu elektrycznego oraz wydajnością i osiągami niż ci z krótszymi dojazdami. Wyniki modeli logit pokazały, że kobiety w starszym wieku, o wyższych dochodach i wyższym poziomie wykształcenia były bardziej zaniepokojone kwestiami środowiskowymi niż młodsze. Istnieje duża różnica między płciami w posiadaniu pojazdów elektrycznych w Maryland. Można spekulować, że istnieje kilka powodów dominacji mężczyzn w tym obszarze. Jest możliwe, że większość gospodarstw domowych rejestrowała swoje pojazdy elektryczne pod właścicielami gospodarstw domowych i to właśnie mężczyźni byli prawdopodobnie głównymi kierowcami pojazdów elektrycznych.

Kolejną bardzo ważną i dużą grupą potencjalnych użytkowników pojazdów elektrycznych są osoby młode, posiadające jednak zamożnych rodziców. Wiele aut elektrycznych jest oferowanych osobom młodym. Na przykład we Francji mogą one kierować takimi pojazdami od 14 roku życia. W Polsce prawo jazdy kategorii B1 można uzyskać od 16 roku życia. Dla takich osób istnieje wiele oferowanych na rynku pojazdów, w tym elektrycznych.

Bez względu na aktualne preferencje, dotyczące zakupu pojazdów elektrycznych w różnych krajach, z pewnością warto edukować młodzież, jak i osoby dorosłe w tym zakresie. Uczniowie w szkołach podstawowych, młodzież licealna, jak i studenci studiów wyższych powinni mieć dostęp do wiarygodnych danych, na podstawie których można kształtować ich podgląd na ekologię i ochronę środowiska. Ta właśnie cecha skłania najczęściej osoby do zakupu ekologicznych pojazdów elektrycznych.

Autor przedmiotowej książki od chwili zakupu pojazdu elektrycznego renault twizy w 2015 roku efektywnie propaguje ideę elektromobilności wśród mieszkańców Lublina. Już zakup nowego pojazdu elektrycznego stał się gorącym tematem medialnym kilka lat temu, jak to widać na rysunku 1.1. Następnie przyszedł czas na promocję elektromobilności wśród dzieci i młodzieży, a także studentów, co widać na rysunku 1.2.

Rys. 1.1. Zakup pojazdu i towarzysząca mu kampania medialna w Radiu Lublin.

Jak jeździć tanio i ekologicznie?

28 kwietnia na boisko naszego gimnazjum wjechało pomarańczowe autko – Renault Twizzy. To wyjątkowy samochód – zasilany wyłącznie elektrycznością! Nie potrzebuje benzyny, ropy ani gazu, ładuje się go przez podłączenie do elektrycznego gniazdka.

Klasy IIA i IA przy tej okazji odświeżyły i poszerzyły wiedzę z dziedziny paliw, spalania i ekologii. Dla najaktywniejszych uczniów nagrodą była przejażdżka Twizzy po boisku i wokół szkoły.

Samochód wzbudził zainteresowanie także innych nauczycieli i uczniów, którzy korzystając z pięknej pogody, przyszli obejrzeć auto. Pierwsze elektryczne auto w Lublinie!

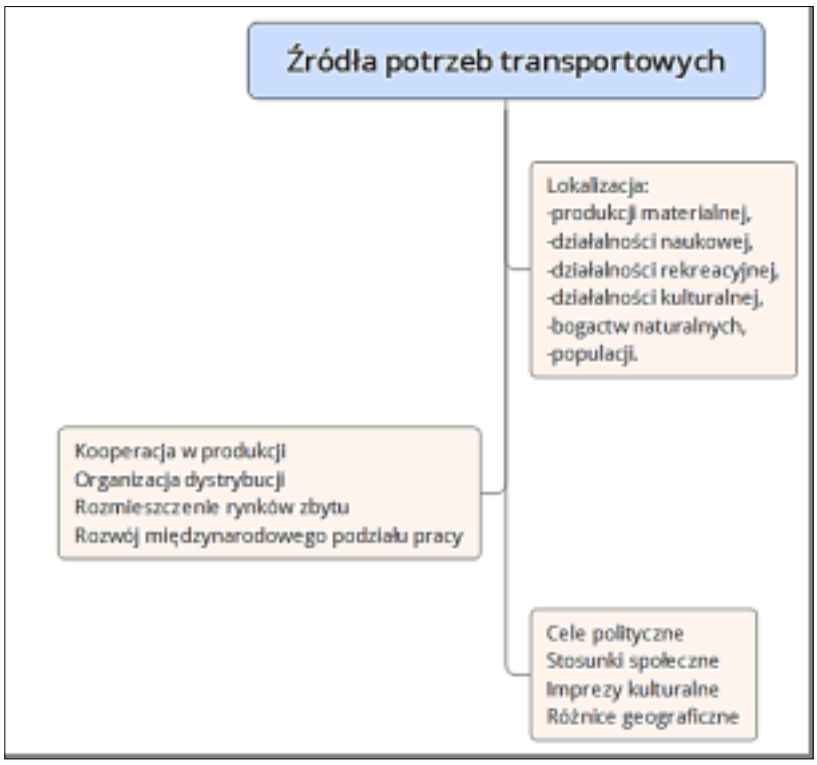
Rys. 1.2. Promocja elektromobilności wśród młodzieży [98].

1.2. Potrzeba

Transport na terenie aglomeracji miejskich odgrywa kluczową rolę i przekłada się na wzrost, bądź spadek atrakcyjności danego regionu. Ekspansja miast, która powszechnie występuje w większości aglomeracji, powoduje zmiany względem wymaganych ze strony pasażerów potrzeb transportowych. Zjawisko to wywołuje wzrost zapotrzebowania na szybkie, bezpieczne i sprawne przemieszczanie. Sprostanie temu trendowi jest niezwykle trudne i wymaga właściwego zarządzania i organizacji transportu miejskiego. Potrzeby, będące jednym z elementarnych pojęć teorii zachowań konsumentów, stanowią punkt wyjścia wszelkich ludzkich działań. Są one zawsze źródłem popytu i wynikają z konieczności nabycia przez klientów określonych przedmiotów (usług, produktów, pracy). Potrzeby ludności są rezultatem wymagań jednostki w całej strukturze społecznej oraz wpływu środowiska, w którym ona funkcjonuje. Potrzeby te uzupełniają się wzajemnie, tzn. są względem siebie komplementarne. Mogą również być substytucyjne, czyli zastępowane przez siebie.

Literatura określa wiele mechanizmów tworzenia się potrzeb. Przykładem jest mechanizm wtórnych celów, polegający na tym, że działanie zaspokajające daną potrzebę samo staje się samoistną potrzebą. Potrzeby transportowe dotyczą realizacji określonych celów, zadań i zamierzeń. Wiążą się one nierozerwalnie z produkcyjną i społeczną działalnością człowieka oraz z funkcjonowaniem gospodarki narodowej i organizacją życia społecznego.

Ogólną klasyfikację potrzeb transportowych przedstawiono na rysunku 1.3.



Rys. 1.3. Przyczyny występowania potrzeb transportowych.

Problemy cywilizacyjne XXI wieku nie są już znane tylko z filmów. Coraz częściej pojawiają się w polskich miastach, a nawet miasteczkach.

Zaliczamy do nich **po pierwsze** duże skażenie powietrza w centrach miast, spowodowane przez spaliny emitowane z pojazdów. W niesprzyjających warunkach meteorologicznych tworzą smog. Jest on szkodliwy nie tylko dla ludzi, ale także dla zwierząt i roślin. Cierpią także budynki, których fasady nie są odporne na deszcze, zawierające wiele szkodliwych kwasów. W związku ze wzrostem świadomości na temat zależności pomiędzy czystością powietrza a zachorowalnością mieszkańców, zwłaszcza miast, na różnego rodzaju choroby, rozpoczęto działania temu zapobiegające. Niektóre mają wymiar międzynarodowy, inne zaś wymiar krajowy lub lokalny. Na poziomie międzynarodowym należy wymienić normy emisji spalin Euro. Regulują one i egzekwują emisję regulowanych składników spalin z pojazdów napędzanych silnikami spalającymi paliwa kopalne. Normy Euro dotyczą pojazdów nowo produkowanych i są różne dla silników z zapłonem iskrowym i samoczynnym (diesli).W związku z aferą VW Komisja Europejska oraz niezależne rządy krajów członkowskich zwróciły szczególną uwagę na uciążliwość pojazdów z silnikiem Diesla. Emisja regulowanych i nieregulowanych toksycznych składników spalin z tychże silników jest duża, zwłaszcza podczas jazdy miejskiej. W różnych krajach rozpoczęły się procesy ograniczania wjazdu pojazdów z silnikami Diesla do centrów miast, a także śmiałe plany całkowitego wycofania z produkcji pojazdów osobowych zasilanych olejem napędowym. W związku z powyższymi krokami zarówno koncerny samochodowe, jak i jednostki naukowe powróciły do bardziej intensywnego rozwoju jednostek napędowych z zapłonem iskrowym, które coraz częściej pracują w układach hybrydowych.

Pojazdy spełniające normy emisji Euro 6 nazywane są pojazdami niskoemisyjnymi. Znane i coraz częściej używane w prasie jest również określenie pojazd zeroemisyjny. Określenie to dotyczy pojazdów, które podczas użytkowania nie wydzielają absolutnie żadnych szkodliwych dla człowieka i środowiska szkodliwych składników spalin. Określenie to dotyczy pojazdów o napędzie elektrycznym oraz zasilanych wodorem. Ten ostatni

podlegając reakcjom chemicznym w wodorowych ogniwach paliwowych wytwarza wodór oraz czystą wodę.

Kolejnym problemem cywilizacyjnym XXI wieku są wszechobecne, już nawet w małych polskich miasteczkach, korki. Są spowodowane ciągle zwiększającą się liczbą mieszkańców oraz pojazdów. Przy czym należy mówić o szybszym tempie wzrostu pojazdów niż mieszkańców nie tylko dużych miast, ale także mniejszych miasteczek. Duża liczba osób udających się zazwyczaj do pracy w centrum miast, gdzie są zlokalizowane biura w tym samym czasie powoduje zagęszczenie ruchu, a w skrajnych sytuacjach zablokowanie głównych arterii miejskich i podmiejskich. Prędkość jazdy wówczas jest bardzo mała, a czasami dochodzi do sytuacji, że pojazdy i kierujący nimi ludzie stoją w wielogodzinnych korkach. Duża liczba pojazdów stojących i pracujących na biegu jałowym wytwarza duże ilości spalin, które są wdychane przede wszystkim przez pasażerów tychże pojazdów.

Trzecim problemem cywilizacyjnym, ściśle związanym z drugim, jest brak miejsc parkingowych w centrach miast. Ludzie przyjeżdżający do pracy nie mają możliwości pozostawienia swojego pojazdu na czas pracy.

Rozwiązaniem powyższych problemów jest ekologiczny transport miejski na poziomie zarówno zbiorowym, jak i indywidualnym. W tym case study zajmiemy się ekologicznym transportem miejskim indywidualnym opartym na pojazdach elektrycznych. Ludzie pracujący w centrach dużych miast mogą zakupić pojazdy napędzane silnikami elektrycznymi i energią elektryczną, zmagazynowaną w baterii trakcyjnej. Rozwój technologii baterii, zwłaszcza w technologii litowo-jonowej, zapewnia odpowiedni zasięg do swobodnego poruszania się po mieście.

W chwili obecnej (rok 2020) klienci mają szeroki wybór elektrycznych pojazdów miejskich. Prawie każdy koncern motoryzacyjny posiada przynajmniej jeden model napędzany prądem elektrycznym. Należy przy tym wspomnieć, że w wersji elektrycznej produkowane są pojazdy od najmniejszych do największych, obejmujących luksusowe limuzyny oraz SUV-y. Dwa modele elektrycznych aut miejskich przedstawiono na rysunku 1.4. Pojazd po lewej stronie to **renault twizy**, pozwalający na przewóz dwóch osób. Pojazd po prawej stronie to **BMW i3**, który może pomieścić 4 osoby. Obydwa te pojazdy są godne uwagi i stanowią doskonałe przykłady do wnikliwej analizy stanowiącej cel tej książki. Renault twizy będzie przedmiotem opisu zawartego w rozdziale pierwszym, zaś BMW i3 w rozdziale drugim.

Rys. 1.4. Pojazdy elektryczne marki Renault i BMW.

Wybrane modele pojazdów elektrycznych są w stanie w różnym stopniu zwalczać lub unikać wspomniane wcześniej trzy problemy cywilizacyjne miast XXI wieku. Użytkując elektrycznego renaulta twizy nie emitujemy żadnych zanieczyszczeń do atmosfery. Z drugim problemem – korkami – rozprawiamy się tylko połowicznie. W Polsce w wielu miastach stosowane są tzw. buspasy. Mianem tym określane są oznakowane pasy, przeznaczone tylko dla wybranych rodzajów pojazdów. Mogą się po nich poruszać autobusy komunikacji miejskiej, taksówki, a także pojazdy elektryczne. Osoby korzystające z miejskiej komunikacji zbiorowej, a także z ekologicznych aut miejskich i taksówek nie stoją w korkach, mając do swojej dyspozycji wydzielone buspasy. Takie zabiegi zarządcze mają na celu przeciwdziałanie wszystkim trzem problemom cywilizacyjnym. Wiele osób przekonało się już, że lepiej skorzystać z autobusu miejskiego niż godzinami siedzieć w pojeździe stojącym w korku i jeszcze długo szukać miejsca do parkowania. Opłaty za całodzienny postój w Płatnej Strefie Parkowania skutecznie wyleczyły wiele osób z dojazdu do pracy własnym środkiem transportu. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby pojazd będący taksówką był pojazdem zeroemisyjnym lub napędzany prądem elektrycznym, jak przedstawiony na rysunku 1.5 **nissan leaf**.

Rys. 1.5. Pojazdy elektryczne marki Renault i Nissan.

Pojazdy elektryczne bardzo często zwolnione są z opłat w Strefach Płatnego Parkowania w centrach miast. Ich właściciele mogą także liczyć na wydzielone miejsca do parkowania z możliwością ładowania pojazdów podczas postoju.

Niektóre koncerny motoryzacyjne mają już w swojej ofercie całe floty pojazdów elektrycznych. Niekwestionowanym pionierem w tym obszarze jest Renault. Jak widać na rysunku 1.6 Renault w chwili obecnej produkuje na masową skalę cztery modele aut o napędzie elektrycznym. Najmniejszym z nich jest renault twizy. Kolejnym jest renault zoe, stanowiący auto klasy B. Następne renault kangoo Z.E. (gdzie Z.E. oznacza skrót od ang. *Zero Emission* oznaczające Zero Emisji), będące elektrycznym autem użytkowym. Największy renault master o dopuszczalnej masie całkowitej 3,5 jest w stanie przewieźć towar o dużej objętości i masie ok. 1000 kg. Pojazdy elektryczne na poważnie zaczęły się pojawiać na rynku od 2010 roku. Ale dopiero od 2012 roku można mówić o trendzie światowym zwanym **elektromobilnością**.

Rys. 1.6. Rodzina pojazdów elektrycznych marki Renault [35].

W niniejszym rozdziale zostanie udowodnione, że renault twizy może być odpowiedzią na cywilizacyjne problemy miast w XXI wieku.

Twizy jest autem niezwykle tanim w eksploatacji. Jedno ładowanie akumulatora to koszt zużycia energii elektrycznej za około 4 zł. Przejechanie ponad 100 km kosztuje więc niecałe 8 zł, natomiast ceny benzyny rzadko są niższe niż 5 zł za litr. Twizy jako innowacyjny model Renault nie jest, niestety, tanim autem w swojej klasie. Jego średnia cena wynosi ok. 35 000 zł. Jednak biorąc pod uwagę jego przykuwające uwagę wzornictwo, nowoczesną konstrukcję oraz funkcjonalność w warunkach miejskich, warto rozważyć samochód jako droższą alternatywę dla skutera lub motocykla. Korzystniejsze wydaje się porównanie twizy z miniaturowymi, popularnymi samochodami Smart, których nowsze modele kosztują od około 45 000 zł.

Największą zaletą auta są jego kompaktowe rozmiary, zapewniające łatwe parkowanie. Twizy ma zaledwie 2,34 m, a jego szerokość nie przekracza nawet 1,40 m. Co więcej, innowacyjne otwieranie drzwi do góry, dodatkowo minimalizujące przestrzeń potrzebną do zaparkowania auta. Możliwość wyposażenia auta w układ wspomagania parkowania tyłem, maksymalnie ułatwia wykorzystanie każdej najmniejszej wolnej przestrzeni do zaparkowania. Twizy stanowi interesującą alternatywę dla jednośladów w sezonie letnim. Jego przewagą jest lekka, zamknięta konstrukcja, która chroni przed wiosennymi i jesiennymi opadami.

Przestrzeń wewnętrzna auta, pomimo znacznych ograniczeń, zapewnia przestronność kierowcy, pasażer znajduje się z tyłu, w jednej osi za kierowcą, co przypomina nieco jazdę na jednośladzie. Dodatkowym wyposażeniem mogą być fartuchy ochronne dla kierowcy i pasażera, zapewniające optymalny komfort termiczny lub podkładka do przewozu dziecka. Za siedzeniem pasażera znajduje się niewielki, 31-litrowy bagażnik. Przenośny schowek w postaci torby o objętości 50 litrów, zaprojektowanej specjalnie do twizy, może być mocowany na tylnym fotelu pasażera, dzięki czemu można znacznie powiększyć przestrzeń bagażową samochodu. W desce rozdzielczej znajdują się dwa schowki, w tym jeden pojemniejszy

i zamykany na klucz. Wyposażenie i siedzenia, choć są skromne, to zapewniają przede wszystkim funkcjonalność lekkiej konstrukcji. Wyświetlacz panelu informuje o szybkości i o bieżącym zapasie energii w baterii pojazdu. Ważący blisko 500 kg twizy jest pojazdem bezpiecznym, porównywalnym pod tym względem z innymi miniaturowymi samochodami. Z pewnością bardziej bezpiecznym niż motocykl czy skuter. Oprócz klasycznych pasów, kierowca twizy jest zabezpieczony dodatkowym pasem, zakładanym na prawe ramię. Wersja standardowa zaopatrzona jest w poduszkę powietrzną kierowcy, zapewnia również wspomniane czteropunktowe pasy bezpieczeństwa z przodu oraz trzypunktowe z tyłu i hamulce tarczowe przy wszystkich kołach pojazdu.

Niewątpliwą zaletą samochodu Twizy jest jego innowacyjna estetyka, w której nie ma ograniczeń między przestrzenią wewnętrzną pojazdu, a jego funkcjonalnością. Twizy jako ultramobilny i cichy samochód zapoczątkował nową epokę pojazdów elektrycznych, przyjaznych środowisku naturalnemu, które odmienią styl poruszania się w dużych, zatłoczonych miastach. Nowatorska stylistyka karoserii twizy, jego futurystyczna konstrukcja z dachem podnoszą dodatkowo walory nowoczesnego urbanistycznego krajobrazu również i polskich miast, popularyzując idee powstawania sieci miejsc doładowań elektrycznych samochodów, zasilanych z odnawialnych źródeł energii [4].

W dalszej części rozdziału zostanie przedstawione, jak koncern rozwiązał udowodnioną przed chwilą potrzebę wprowadzenia na rynek małych pojazdów miejskich o napędzie elektrycznym.

1.3. Rozwiązanie

1.3.1. Rozwój renaulta twizy

Samochód Renault Twizy to pojazd ekologiczny – napędzany silnikiem elektrycznym, nieemitujący żadnych zanieczyszczeń do środowiska. Oprócz proekologicznych rozwiązań, twizy zaskakuje nowoczesną konstrukcją. Minimalistyczna forma pojazdu intryguje i skłania do zastanowienia, czy zaliczany do klasy osobowych czterokołowców jest na pewno samochodem. Swoim wyglądem przypomina bardziej innowacyjny skuter lub zadaszony quad, niż dotychczasowe modele miniaturowych aut elektrycznych i hybrydowych.

Prototyp modelu pojazdu twizy ZE concept został zaprezentowany w 2009 roku, na targach motoryzacyjnych Motor Show we Frankfurcie nad Menem jako najnowsze osiągnięcie fabryki Renault w hiszpańskim Valladolid (rysunek 1.7). Prototyp twizy był odpowiedzią na potrzebę lekkiego, kompaktowego auta, prostego w użytkowaniu, odpowiadającego klimatycznym warunkom śródziemnomorskim.

Rys. 1.7. Pojazd koncepcyjny renault twizy [23].

Współczesna wersja reanaulta twizy produkowana jest od 2012 roku, rok później była dostępna również w Polsce. Optymalne przystosowanie auta do warunków miejskich sprawia, że cieszy się on szczególną popularnością wśród mieszkańców nowoczesnych metropolii. Parametry techniczne twizy life 80 potwierdzają, że pojazd z powodzeniem łączy w sobie prostotę obsługi i swobodę przemieszczania się z inteligentnym wykorzystaniem nowoczesnych, energooszczędnych rozwiązań technicznych. Twizy life 80, napędzane silnikiem elektrycznym, potrzebuje niespełna 4 godzin do naładowania swojej baterii litowo-jonowej, zastępującej tradycyjny akumulator. Pozwala to na przebycie dystansu minimum 50 km, a przy stosowaniu zasad ekologicznej jazdy antycypacyjnej – utrzymywanie stałej prędkości przez płynną jazdę bez ostrego hamowania czy też gwałtownego przyspieszania, zwiększa zasięg przemieszczenia się przy jednym doładowaniu do 100 km. Umożliwia to zastosowanie mechanizmu hamowania odzyskowego, połączonego z napędem samochodu na tylne koła. Twizy life 80 jest autem zwrotnym, dynamicznie przyśpieszającym, co jest niezbędne do sprawnego wykonywania manewrów w ruchu miejskim. Dodatkowym ułatwieniem jest fakt, że twizy nie posiada skrzyni biegów. Zastąpiono ją przyciskami do jazdy do przodu i do tyłu, umieszczonymi po lewej stronie kierownicy. Przedstawiane przez producenta Renault dane zapewniają, że auto od 0 do 45 km/h rozpędza się w 6,1 s, a na pokonanie 50 m ruszając z zatrzymania potrzebuje 6,6 s. Twizy life 80 rozwija maksymalną szybkość 85 km/h, co jest w pełni wystarczające także w warunkach podmiejskich.

Dane techniczne pojazdu renault twizy przedstawiono w tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Dane techniczne samochodu Renault Twizy [74]

Rodzaj silnika	Elektryczny, asynchroniczny
Maksymalna moc	17 KM
Maksymalny moment obrotowy	57 Nm przy 1-2000 obr./min
Akumulator	Litowo-jonowy 6,1 kWh
Ładowanie	Z gniazda AC 230 V dł. przewodu 3 m
Zasięg teoretyczny	100 km
Przekładnia	Reduktor 1-stopniowy
Typ napędu	Na tylne koła
Hamulce przód/tył	Tarczowe
Zawieszenie przód/tył	Podwójny wahacz poprzeczny
Układ kierowniczy	Zębatkowy
Koła i ogumienie przód/tył	125/80 R13

Dodatkowym podkreśleniem zalet auta została nazwa modelu – „twizy”, stworzona przez połączenie dwóch angielskich słów – *twin* (podwójny, przeznaczony dla dwóch osób) i *easy* (łatwy w obsłudze). Umiejscowienie kierowcy i pasażera w tym malutkim pojeździe przedstawiono na schemacie na rysunku 1.8. Z fotografii przedstawionej na rysunku 1.9 widać, że rzeczywiście renaultem twizy mogą poruszać się dwie dorosłe i do tego wysokie osoby.

Rys. 1.8. Umiejscowienie kierowcy i pasażera w renaulcie twizy [27].

Rys. 1.9. Umiejscowienie kierowcy i pasażera w renaulcie twizy.

Takie umiejscowienie kierowcy i pasażera w pojeździe nazywane jest ułożeniem tandemowym siedzeń, gdzie jedna osoba siedzi za drugą. Układ tandemowy jest dobrze znany z lotnictwa, kajakarstwa i cyklizmu. Dzięki takiej konstrukcji pojazd elektryczny renault twizy charakteryzuje się bardzo małą szerokością, wynoszącą zaledwie 120 cm.

Nadwozie renaulta twizy występuje w kilku odmianach. Wersja pasażerska została wzbogacona o wersję cargo, przedstawioną na rysunku 1.10. W niej to przestrzeń pasażerska została odgrodzona od przestrzeni kierowcy, a z tyłu pojazdu zamontowano dodatkowe drzwi do załadunku i rozładunku towaru. Wersja cargo służy do przewożenia rzeczy. Wśród najpopularniejszych towarów dominują dokumenty oraz produkty spożywcze. Moda na zamawianie on-line posiłków i ich dowóz do klienta bardzo często wykorzystuje elektryczne pojazdy miejskie typu renault twizy.

Rys. 1.10. Renault twizy cargo [24].

Gdy potrzeba przewieźć jeszcze większy gabarytowo i cięższy ładunek można skorzystać z renaulta twizy w wersji delivery, przedstawionej na rysunku 1.11.

Rys. 1.11. Renault twizy delivery [25].

Koncepcję renaulta twizy delivery przedstawiono na rysunku 1.12. Widać na nim, że wykorzystano w niej standardowy model twizy poddany lekkiej modyfikacji tylnej części pojazdu. Została ona przystosowana do ciągnięcia niewielkiej naczepy. Na tej z kolei umieszczono moduł kontenera do przewożenia towarów.

Rys. 1.12. Koncepcja renaulta twizy delivery [25].

Dla miłośników sportowych emocji Renault przygotowało wersję sportową twizy RS F1, która została pokazana na rysunku 1.13. Układ napędowy twizy został zmodyfikowany i rozbudowany z wykorzystaniem komponentów występujących w Formule 1. Dzięki temu twizy RS F1 charakteryzuje się niesamowitymi osiągami. Dokładniej ta wersja zostanie opisana w następnym podrozdziale.

Rys. 1.13. Renault twizy RS F1 [26].

1.3.2. Budowa renaulta twizy

Renault twizy został zaprojektowany od podstaw jako pojazd w pełni elektryczny. Dzięki takiemu podejściu jego projektanci nie mieli żadnych ograniczeń w konstruowaniu zarówno nadwozia, jak i układu napędowego. Na początku mieli jedno założenie: skonstruować dwuosobowe auto miejskie o napędzie elektrycznym. Tematyką przedmiotowej książki jest analiza przypadków w konstruowaniu i we wdrożeniu rynkowym, zwłaszcza układów napędowych pojazdów elektrycznych. Jednak analiza układu napędowego nie może zostać oderwana od pojazdu, w którym taki układ napędowy został zamontowany i który napędza. Zatem zostanie teraz przedstawiona budowa pojazdu renault twizy z dużym naciskiem na konstrukcję, działanie i osiągi układu napędowego.

Aby dowiedzieć się czegoś na temat układu napędowego, przeważnie wystarczy podnieść przednią maskę, która zazwyczaj stanowi pokrywę silnika. Jednak na próżno jej szukać w renaulcie twizy. Odrobinę na temat układu napędowego można się dowiedzieć, podnosząc do góry pojazd na podnośniku i zdejmując pokrywę chroniącą komponenty podwozia, jak to przedstawiono na rysunku 1.14. Z takiego zabiegu można się dowiedzieć jedynie, że twizy posiada silnik elektryczny, napędzający tylne koła pojazdu. Aby dowiedzieć się więcej o samej konstrukcji układu napędowego, jak i parametrów, charakteryzujących poszczególne jego składowe, należy przeprowadzić zakrojoną na szeroką skalę analizę, obejmującą przestudiowanie materiałów promocyjnych koncernu Renault, książek obsługi technicznej oraz fora internetowe, na których użytkownicy tego pojazdu bardzo chętnie dzielą się informacjami na temat jego użytkowania i naprawy. Autor zechce poprowadzić czytelnika w usystematyzowany sposób, pokazując jak w XXI wieku należy pozyskiwać informacje. Pochodzą one nie tylko z Internetu, ale, co najważniejsze, oparte są na osobi-

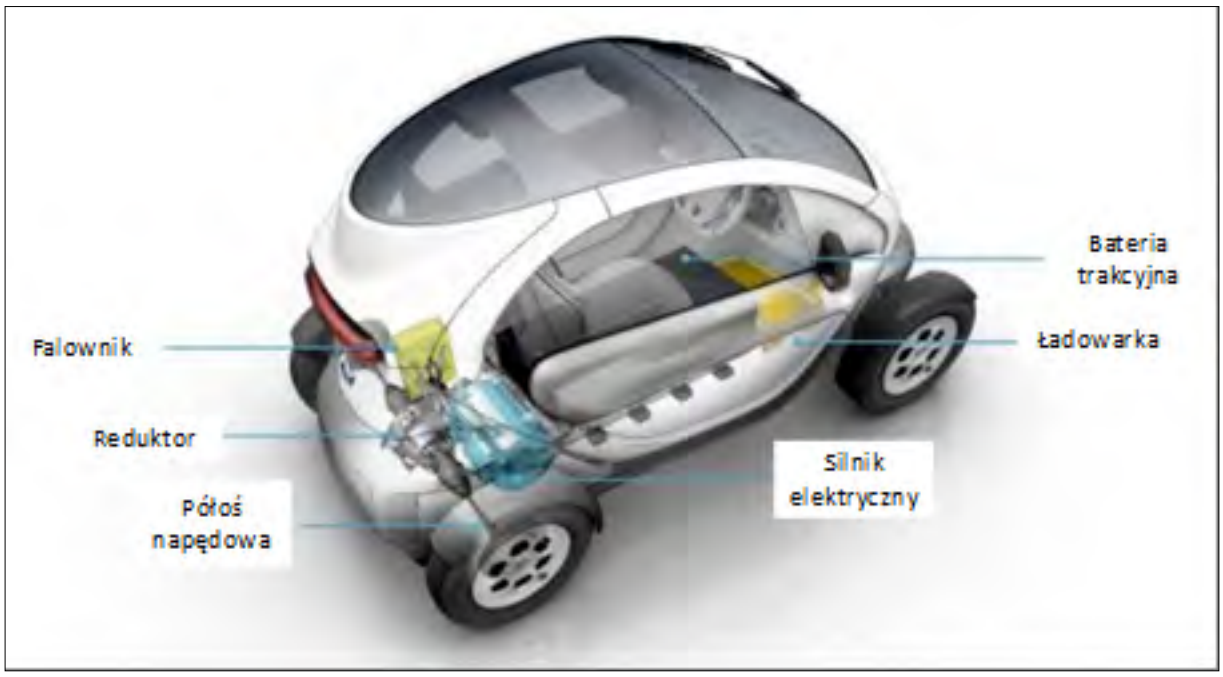
stych doświadczeniach i doznaniach autora jako wieloletniego użytkownika renaulta twizy. Przy tej okazji warto wspomnieć o genezie zakupu renaulta twizy przez autora, bo historia powstania pojazdu została już zaprezentowana. Tym bardziej należy o tym wspomnieć, że jest ona związana z miejscem projektowania pewnych komponentów elektrycznego układu napędowego innowacyjnego pojazdu.

Rys. 1.14. Komponenty renaulta twizy widziane od spodu pojazdu [32].

W 2013 roku autor był uczestnikiem wizyty studyjnej lubelskich naukowców w Parku Naukowo-Technologicznym Paterna w hiszpańskiej Walencji. To właśnie w tym parku cała grupa miała możliwość zwiedzania innowacyjnej firmy projektującej Elektroniczne Jednostki Sterujące dla pojazdów elektrycznych oraz wodorowych. Uwagę ciekawskich od razu przykuł zaparkowany przed siedzibą firmy bardzo mały, bardzo ładny i niespotykany dotąd na polskich drogach pojazd. Poprosiliśmy właściciela firmy o krótką prezentację pojazdu. Atrakcyjny design zewnętrzny i nietypowy sposób otwierania drzwi od razu zachęcały, by usiąść za kierownicą i przejechać się. Dzięki uprzejmości właściciela firmy, przejażdżka była możliwa i przerodziła się w trwającą do tej pory fascynację małymi pojazdami elektrycznymi (patrz rysunek 1.15). Autorska rada dla wszystkich czytelników: Jeśli macie możliwość przejażdżki innowacyjnym pojazdem lub przetestowania jakiegoś innowacyjnego produktu – skorzystajcie z tego. Wiedza teoretyczna, zdobywana z książek czy filmów edukacyjnych, daje podstawy do zrozumienia działania innowacji. Test jest kolejnym etapem poznania uwzględniającym inne obszary wiedzy oraz wrażeń. Warto również pamiętać, że parki naukowe, parki technologiczne i parki naukowo-technologiczne są miejscami rozwoju innowacyjnych projektów podobnych do innowacyjnego renaulta twizy. Ma to zastosowanie również w przypadku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego [39].

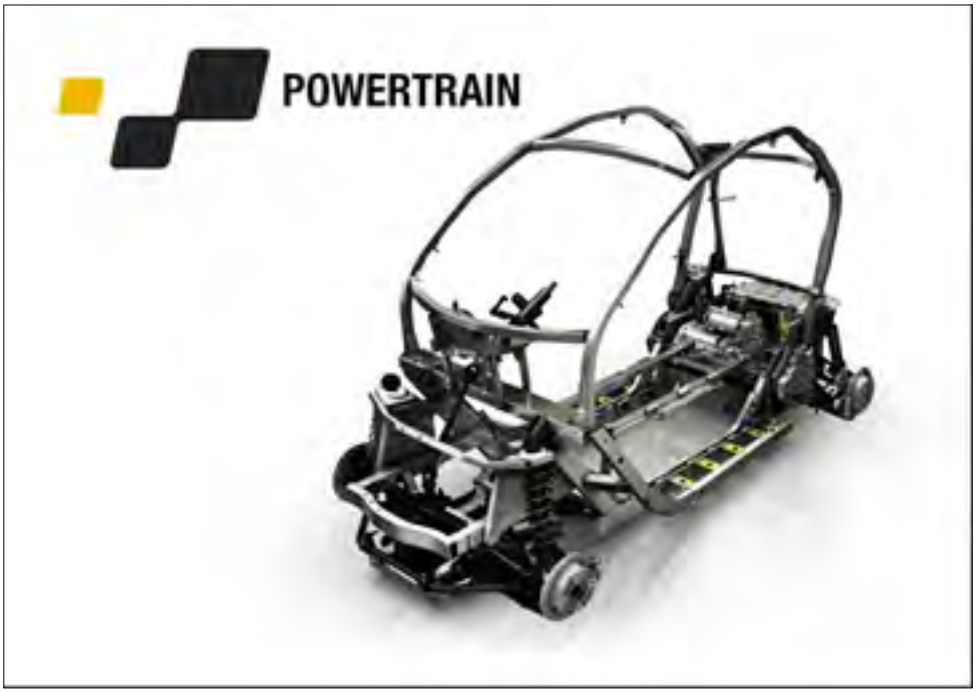
Rys. 1.15. Pierwsza przejażdżka autora renaultem twizy.

Więcej na temat budowy układu napędowego renaulta twizy można dowiedzieć się z materiałów promocyjnych, przygotowanych przez producenta. Najważniejsze komponenty pojazdu elektrycznego renault twizy przedstawiono na rysunku 1.16. Bardzo często stanowią one zaawansowane grafiki lub infografiki, obrazujące budowę oraz cechy innowacyjnego produktu. Mają one za zadanie zwiększenie wiedzy potencjalnego klienta na temat obiektu zakupowego w obszarze innowacyjnych właściwości pojazdu, jego ekologii oraz bezpieczeństwa. Na rysunku można zobaczyć, że silnik elektryczny wraz ze zintegrowanym reduktorem i falownikiem znajdują się w tylnej części pojazdu i napędzają tylną oś. Bateria trakcyjna znajduje się pod siedzeniem kierowcy, a ładowarka pod podłogą w przedniej części pojazdu. Już na podstawie takiego schematu można wnioskować o właściwościach trakcyjnych pojazdu.



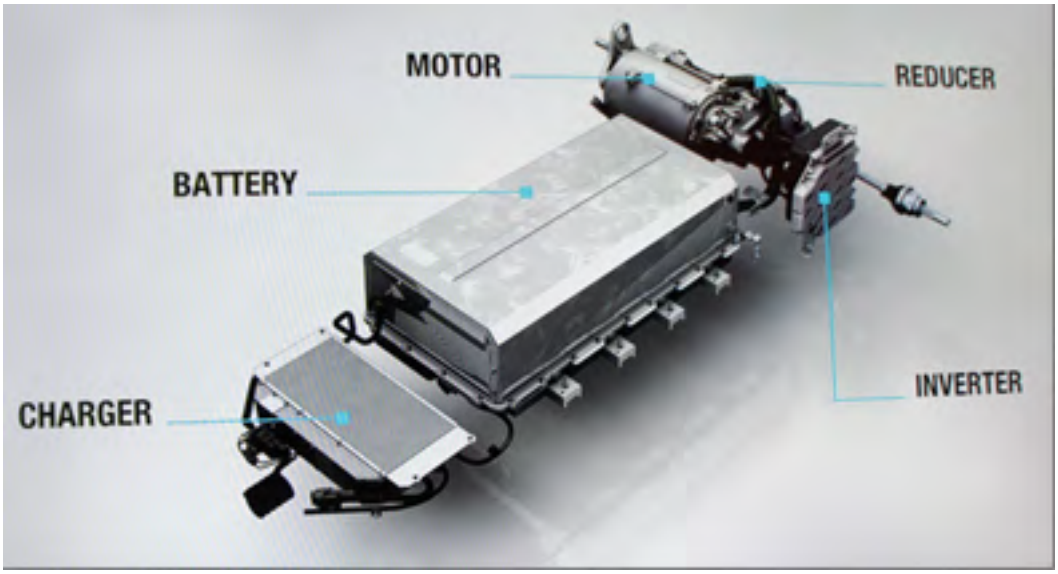
Rys. 1.16. Komponenty pojazdu renault twizy [99].

Jeszcze więcej szczegółów widać na modelu 3D pojazdu. Producent pojazdu dysponując kompletną dokumentacją w programie CAD jest w stanie tworzyć bardzo użyteczne materiały edukacyjne. W programie CAD, obejmującym złożenie wszystkich komponentów, można dowolnie wyświetlać i ukrywać wybrane z nich. Można też skorzystać z funkcji nadającej przezroczystość wybranym komponentom. Widok ramy wraz z przednim zawieszeniem oraz komponentami elektrycznego układu napędowego przedstawiono na rysunku 1.17.



Rys. 1.17. Komponenty układu napędowego renaulta twizy widziane na modelu 3D [100].

Kompletny elektryczny układ napędowy renaulta twizy zaprezentowano na innym modelu 3D przedstawionym na rysunku 1.18. Tym razem nie wyświetlono na złożeniu ramy, dzięki czemu widać dokładny wygląd zewnętrzny każdego z komponentów. Może to mieć znaczenie w identyfikacji konkretnego komponentu podczas zakupów używanych części zamiennych. Mamy też możliwość porównania wizualnego i proporcji komponentów względem siebie. Należy zwrócić uwagę, że informacji na temat budowy układu napędowego nie należy wyszukiwać w Internecie tylko w języku polskim. Bardzo wiele użytecznych materiałów znajdziemy dokonując wyszukiwania w języku angielskim lub francuskim. Ten ostatni świadczy o pochodzeniu koncernu Renault właśnie z Francji.



Rys. 1.18. Komponenty układu napędowego renaulta twizy widziane na modelu 3D [100].

Dokonajmy teraz krótkiej charakterystyki komponentów układu napędowego renaulta twizy. Następnie dokonamy charakterystyki szczegółowej.

Sinik elektryczny

Niewątpliwie sercem samochodu elektrycznego jest jego silnik elektryczny. Porównując dzisiejsze silniki z silnikami z początku ery samochodów elektrycznych można powiedzieć, że jedynie nazwy komponentu zostały bez zmian, a resztę dzieli ogromna przepaść technologiczna. Dzisiejsze silniki mają lepsze parametry, pozwalają na szybszą jazdę oraz zajmują mniej miejsca. Wyróżniamy dwa typy silników: prądu stałego oraz prądu zmiennego. W starszych modelach stosowano silniki prądu stałego, są one montowane zarówno na przedniej, jak i na tylnej osi, w lekkich konstrukcjach również w piastach kół.

Baterie trakcyjne

Kolejnym istotnym elementem w samochodach elektrycznych są baterie akumulatorów, z racji dużej masy montowane są najczęściej centralnie pod podłogą, aby osiągnąć jak najniższy środek ciężkości. Powszechnie używanymi ogniwami są ogniwa litowo-jonowe. Występują również inne ogniwa z rodziny litowych (litowo-żelazowo-fosforowe, litowo-polimerowe, litowo-tytanowe, potasowo-jonowe). Napięcie pojedynczego ogniwa litowo-jonowego wynosi 3,7 V. Te ogniwa nie lubią wysokich temperatur, podczas ładowania istnieje ryzyko, że może dojść do przegrzania baterii co grozi zwarciem, a nawet eksplozją baterii.

Falownik

Aby samochód elektryczny mógł płynnie jeździć, potrzebny jest mu sterownik silnika zwany powszechnie falownikiem. Urządzenie to idealnie zastępuje sprzęgło i skrzynię zmiany biegów, wystarczy pedał przyspiesznika jako potencjometr obrotów oraz przycisk zmiany kierunku jazdy. Rozwiązanie to przypomina trochę tradycyjny samochód z automatyczną skrzynią biegów. W starszych modelach, z silnikiem prądu stałego, stosowano prostą przekładnię do zmiany kierunku jazdy.

Reduktor

Ważnym elementem w pojeździe elektrycznym jest stała przekładnia redukcyjna zwana reduktorem. Silnik elektryczny ma tę cechę, że od startu posiada maksymalny moment obrotowy, a więc jego prędkość obrotowa jest kilka razy wyższa od prędkości obrotowej kół samochodu.

Półoś napędowa

Półoś napędowa, tak jak w tradycyjnym aucie, umożliwia przeniesienie momentu obrotowego na koła samochodu. W przypadku samochodów elektrycznych mechanizmem łączącym półoś z silnikiem nie jest skrzynia biegów, lecz opisana powyżej przekładnia redukcyjna (reduktor).

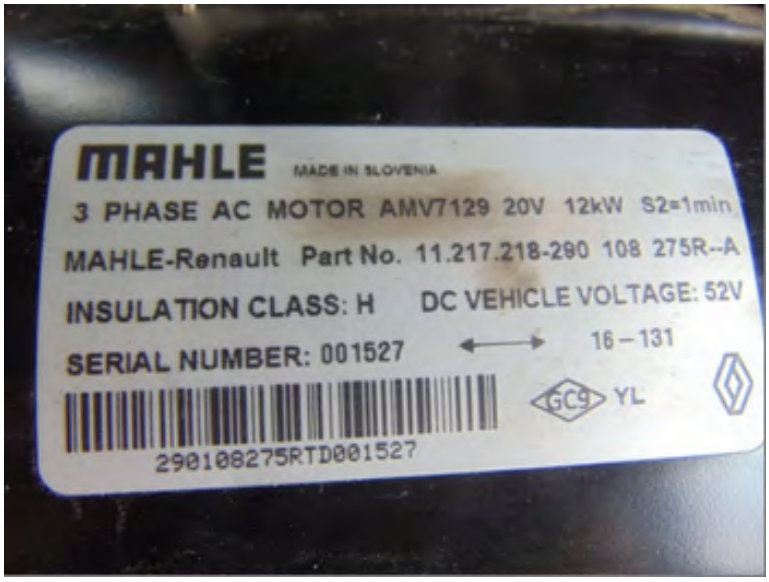
Silnik elektryczny renaulta twizy wytwarza moment obrotowy o wartości 57 Nm w zakresie prędkości obrotowych od 0 do 2000 obr./min. Prędkość maksymalna silnika wynosi 5800 obr./min. Moc silnika wynosi 12 kW (ok. 17 KM). Przy dłuższej jeździe z pedałem przyspiesznika wciśniętym w podłogę sprawność silnika spada o około 30%. Sam silnik elektryczny waży 38 kg. Silnik elektryczny renaulta twizy wraz z reduktorem przedstawiono na rysunku 1.19. Na rysunku tym widać jedynie, że silnik elektryczny jest zintegrowany z reduktorem prędkości obrotowej oraz nie ma zmiany kierunku prędkości obrotowej.

Rys. 1.19. Silnik elektryczny renaulta twizy wraz z reduktorem [32].

Aby dokonać szczegółowej charakterystyki silnika elektrycznego, należy przyjrzeć się jego budowie zewnętrznej oraz zapoznać się z informacjami zawartymi na tabliczce znamionowej silnika (rysunki 1.20 i 1.21). Można z niej dowiedzieć się, kto jest producentem silnika i z jakiego kraju pochodzi. Na etykiecie z rysunku 1.20 widnieje nazwa ISKRA, a na etykiecie na rysunku 1.21 MAHLE. Z obydwu etykiet wynika, że silnik jest produkowany w Słowenii. Etykieta z rysunku 1.20 zawiera dokładną datę produkcji silnika wraz z numerem seryjnym. Należy wnioskować, że silnik ISKRA napędzał jedne z pierwszym modeli Renault, które weszły na rynek w 2012 roku. Silnik renaulta twizy jest silnikiem trójfazowym prądu przemiennego o mocy 12 kW o napięciu 20 V przypadającym na jedną fazę. Z innych źródeł można się dowiedzieć, że jest to silnik indukcyjny, czyli asynchroniczny. Następnie na etykiecie znajduje się numer części. Numer części z rysunku 1.21 jest wyższy, co sugeruje, że jest to

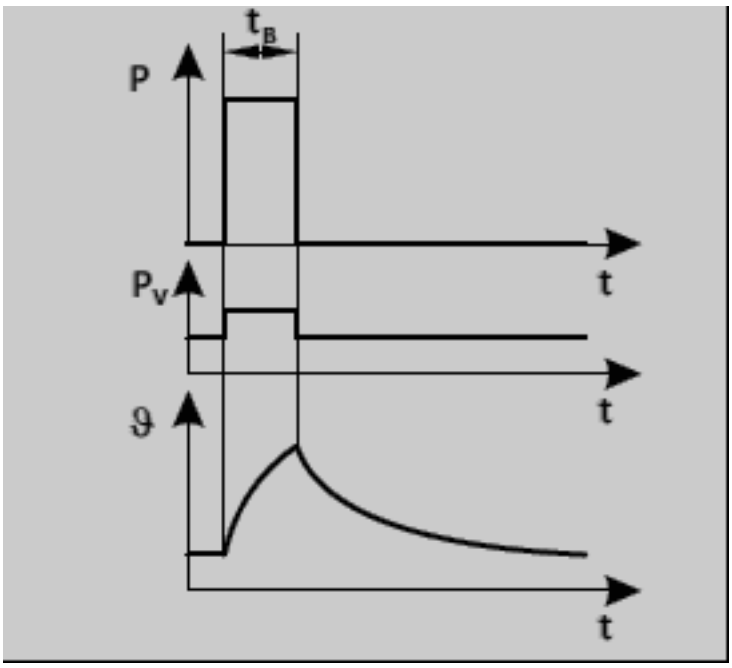
późniejsza wersja silnika. Warto go znać zamawiając nowy silnik do pojazdu. Stałe napięcie znamionowe zasilające silnik wynosi 52 V. Silnik posiada zmianę kierunku prędkości obrotowej w wyniku zmiany kolejności zasilania poszczególnych faz. Silnik zbudowano w klasie izolacji H. Na etykiecie znajduje się także logo Renault oraz kod kreskowy.

Rys. 1.20. Tabliczka znamionowa silnika elektrycznego renaulta twizy.



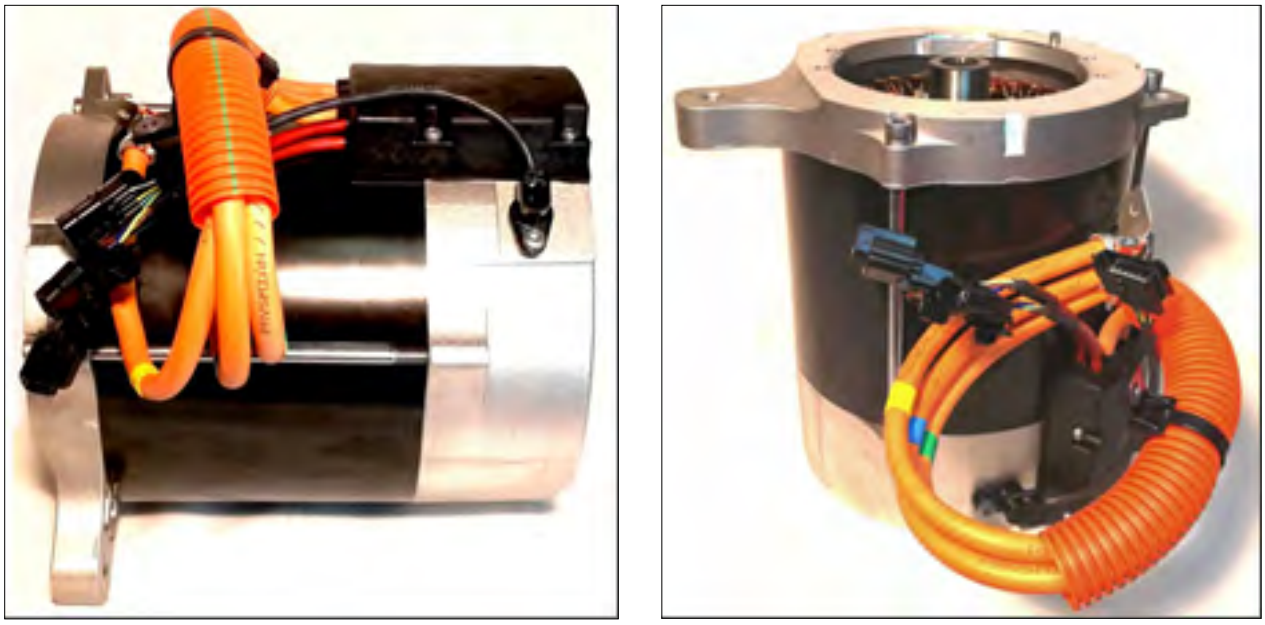
Rys. 1.21. Tabliczka znamionowa silnika elektrycznego renaulta twizy [32].

Określenie S2=1 min oznacza czas pracy silnika w trybie dorywczym. W przypadku pracy S2 silnik jest obciążony stałym momentem, jednak nie osiąga on stabilizacji termicznej, ponieważ po określonym czasie od uruchomienia jego praca jest przerywana, wówczas temperatura silnika zaczyna spadać, jak to przedstawiono na rysunku 1.22.



Rys. 1.22. Praca dorywcza S2 [41].

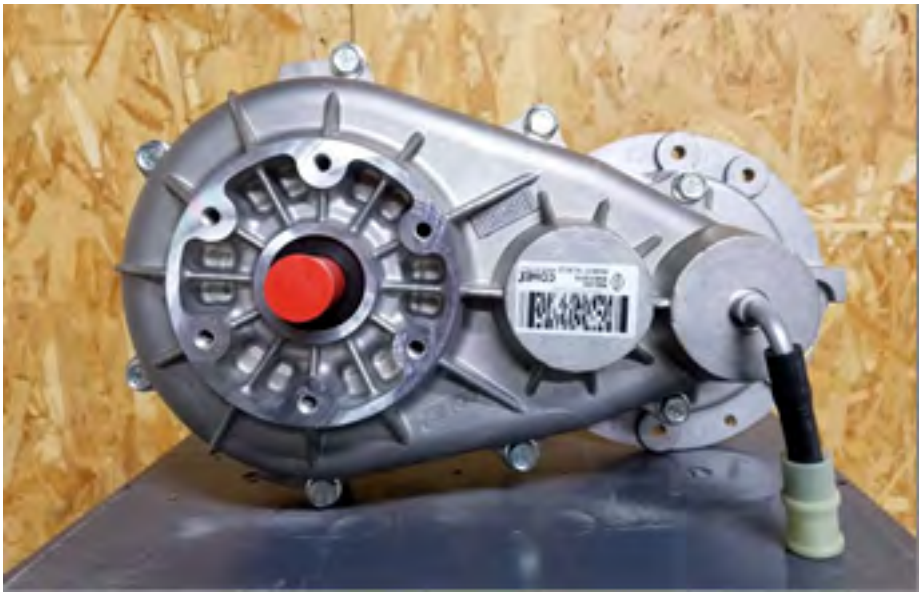
Znając producenta silnika elektrycznego, można pokusić się o wyszukanie w sieci ofert sprzedaży nowych, jak i używanych silników do przedmiotowego pojazdu (rysunek 1.23). Tym tropem natrafiono na ofertę sprzedaży nowego silnika elektrycznego do twizy. Z oferty dowiemy się, że silnik ten jest montowany zarówno w wersji twizy 80, jak i twizy 45 z ograniczoną do 45 km/h prędkością jazdy. Cena silnika wynosi 1032 € włączając w to podatek VAT. Zatem z takim wydatkiem należy się liczyć kupując renaulta twizy z uszkodzonym silnikiem elektrycznym.



Rys. 1.23. Stojan silnika elektrycznego renaulta twizy [40].

Sprzedawca oferujący przedmiotowy silnik, proponuje także reduktory do obydwu wersji twizy (rysunek 1.24). Są wykonywane przez tego samego producenta Iskra Comex (rysunek 1.25), różnią się one jednak przełożeniem. Twizy 80 ma przełożenie wynoszące 9,8, zaś twizy

45 13,4. Ze względu na wartość przełożenia reduktora twizy 80 osiąga prędkość 80 km/h, zaś twizy 45 – 45 km/h. Z oferty wynika, że reduktor posiada zintegrowany mechanizm różnicowy. Posiadając kompletne dane dotyczące parametrów znamionowych silnika elektrycznego, przełożenie reduktora oraz rozmiar ogumienia studenci, jak i ich promotorzy, mogą pokusić się o kompletne obliczenia trakcyjne układu napędowego dla twizy 80 i twizy 45.



Rys. 1.24. Reduktor silnika elektrycznego renaulta twizy.

Rys. 1.25. Producent reduktora silnika elektrycznego renaulta twizy.

Studium oryginalnych części zamiennych do renaulta twizy pozwoliło odnaleźć dane charakterystyczne również kontrolera silnika elektrycznego. Jest nim kontroler opisany jako SEVCON three-phase controller GEN4 4845 36V/48V 450A size 4 for RENAULT Twizy 80, przedstawiony na rysunku 1.26.

Rys. 1.26. Kontroler silnika elektrycznego renaulta twizy 80 [97].

Dane techniczne kontrolera SEVCON przedstawiono w tabeli 1.2. Kontroler służy do płynnej zmiany prędkości obrotowej silnika indukcyjnego z magnesami trwałymi.

Tabela 1.2. Dane techniczne SEVCON [97]

Type	GEN4 4845
DC nominal voltage	36 V / 48 V
Maximum RMS motor current	450 A
Size	4
For RENAULT Twizy	80
RENAULT Reference:	291A56940R
Replaces the reference	291A58343R

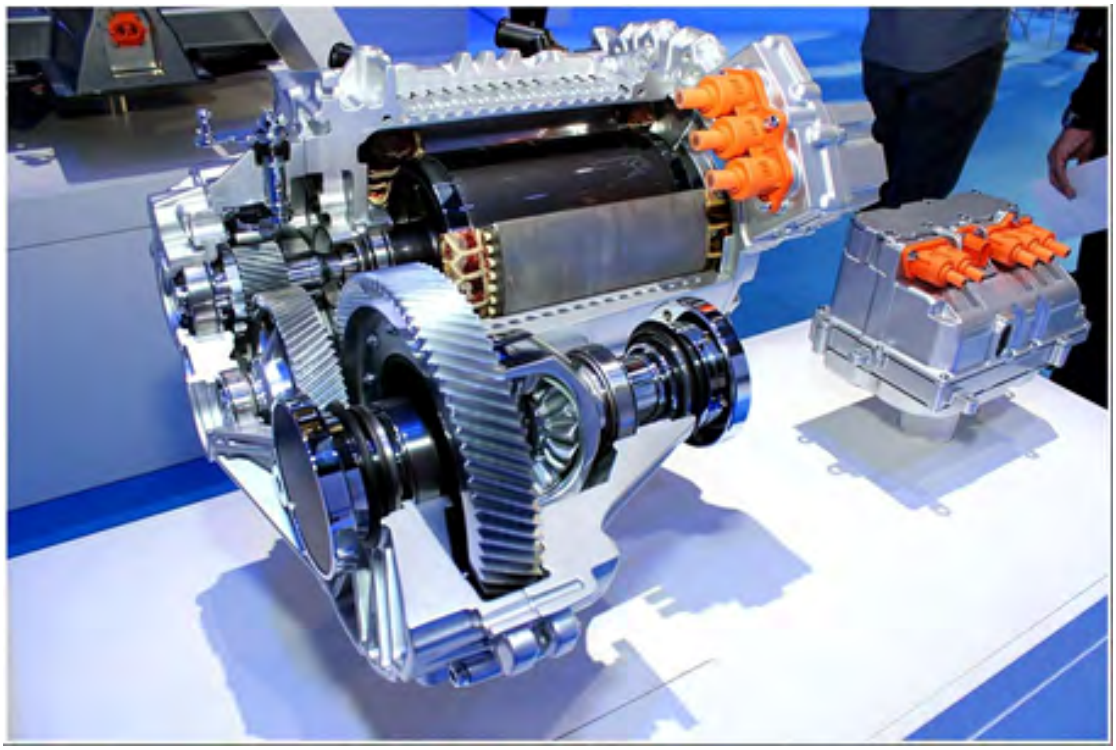
Na rysunku 1.27 można zobaczyć sposób podłączenia kontrolera do baterii trakcyjnej i silnika. Widać na nim nawet kolory poszczególnych przewodów zarówno w przypadku prądu stałego, jak i przemiennego. Takie zdjęcie może być przydatne dla osób, które kupiły pojazd niekompletny i nie posiadają dostępu do dokumentacji technicznej i serwisowej producenta. Fora internetowe są wówczas źródłem wymiany wiedzy pomiędzy użytkownikami, jak i mechanikami, elektrykami oraz elektronikami. Korzystając jednak z niezbyt profesjonalnych forów, na których brak jest nadzoru administratora nad poziomem merytorycznym, warto być przezornym i sprawdzić ważne informacje w kilku źródłach. Śmiem udzielać takich rad, gdyż rynek autoryzowanych serwisów pojazdów elektrycznych jest jeszcze w Polsce w powijakach. Ponadto nie wszystkie autoryzowane stacje obsługi danej marki są w stanie diagnozować, serwisować i naprawiać modele pojazdów elektrycznych. Zazwyczaj tylko kilka ASO w kraju ma uprawnienia producenta do kompleksowej obsługi pojazdów elektrycznych.

Rys. 1.27. Układ napędowy renaulta wizy w rzeczywistym pojeździe [32].

Koncern Renault wykorzystuje różne metody zaznajamiania klientów ze swoimi technologiami. Dla tych, którzy muszą dotknąć, aby uwierzyć, przygotowano rzeczywisty przekrój silnika wraz z reduktorem, który został przedstawiony na rysunku 1.27.

Po prawej stronie silnika znajduje się falownik, będący przekształtnikiem prądu stałego na przemienny podczas zasilania silnika z baterii trakcyjnej. Podczas hamowania regeneracyjnego każdy silnik w pojazdach elektrycznych w chwili obecnej ma możliwość odzysku energii. Wówczas falownik przekształca prąd przemienny generowany przez silnik pracujący w funkcji alternatora na prąd stały odpowiedni do ładowania baterii trakcyjnej. Dzięki odzyskowi energii hamowania można zwiększyć zasięg pojazdu elektrycznego poruszającego się w warunkach jazdy miejskiej o ok. 10–15%.

Wracając do reduktora, można na rysunku 1.28 zauważyć, że jest to reduktor dwustopniowy o kołach zębatych walcowych z zębami skośnymi. Z reduktorem zintegrowany jest mechanizm różnicowy. Z reduktora wychodzą końcówki do montażu półosi napędowych napędzających tylne koła pojazdu. Jako użytkownik renaulta twizy muszę przyznać, że reduktor jest stosunkowo głośny. Na usprawiedliwienie konstruktorów koncernu Renault muszę przypomnieć, że brak sinika spalinowego sprawia, iż podczas jazdy kierujący nim i pasażerowie słyszą wszelkie stuki w zawieszeniu i najcichsze szmery i tarcia.



Rys. 1.28. Układ napędowy renaulta twizy w ekspozycji [31].

Koncern Renault wykorzystuje w budowie swoich pojazdów elektrycznych technologie, które rozwija na poligonie badawczym, jakim jest Formuła 1. Historia zna wiele takich przypadków, kiedy stosowana w pojazdach Formuły 1 technologia z czasem trafia do klasy premium pojazdów drogowych, a później jest nawet obecna w standardowym wyposażeniu.

O możliwości zastosowania technologii rodem z Formuły 1 w pojeździe renault twizy przekonuje nas projekt renault twizy RS F1. Pojazd taki został przedstawiony na rysunkach 1.29 i 1.30. Cechami odróżniającymi twizy RS F1 od standardu są z pewnością spojler przedni i tylny, większe średnice oraz szerokości kół i ogumienia.

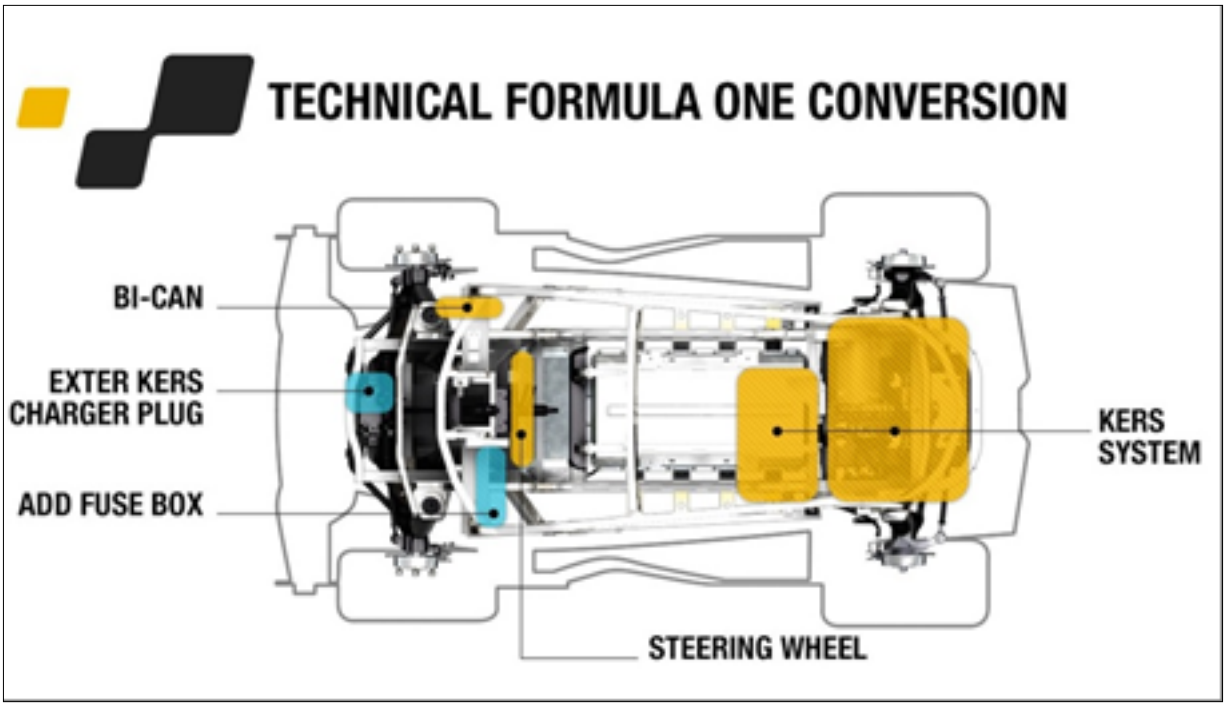
Rys. 1.29. Renault twizy RS F1 [28].

Rys. 1.30. Renault twizy RS F1 [28].

Jednak najistotniejsze zmiany dotknęły układu napędowego. Wiele z nich można wyczytać z rysunku 1.31. Konfiguracja silnika została nazwana podwójnym silnikiem z tego względu, że oprócz elektrycznego silnika twizy RS F1 posiada połączony równolegle system KERS pochodzący z Formuły 1. Następnie można dowiedzieć się, że zasięg sportowego twizy jest podobny do wersji standardowej. Pojazd ma jednak możliwość trwającego do 13 sekund przyspieszenia dodatkowego, pochodzącego z baterii F1. Z dalszych informacji można dowiedzieć się, że standardowe silniki elektryczne w twizy mają prędkości obrotowe do 10 000 obr./min, zaś silnik elektryczny F1 kręci się z prędkością do 36 000 obr./min. Silnik wersji standardowej, jak już dowiedzieliśmy się wcześniej, ma moc znamionową wynoszącą 12 kW, zaś silnik elektryczny wersji F1 rozwija moc 60 kW. Ostatnie informacje dotyczą magazynowania energii w pojeździe. Służą temu standardowe baterie połączone równolegle z bateriami F1.

Rys. 1.31. Porównanie parametrów pojazdu seryjnego i renault twizy RS F1 [28].

Rozkład komponentów z Formuły 1 w twizy RS F1 przedstawiono na rysunku 1.32. System KERS został zamontowany w tylnej części pojazdu przed silnikiem elektrycznym. Z przodu pojazdu umieszczono zewnętrzne złącze ładowania KERS, dodatkową skrzynkę bezpieczników oraz sieć komunikacyjną BI-CAN. Ważnym elementem, wskazanym na schemacie, jest także pochodzące z Formuły 1 koło kierownicy.

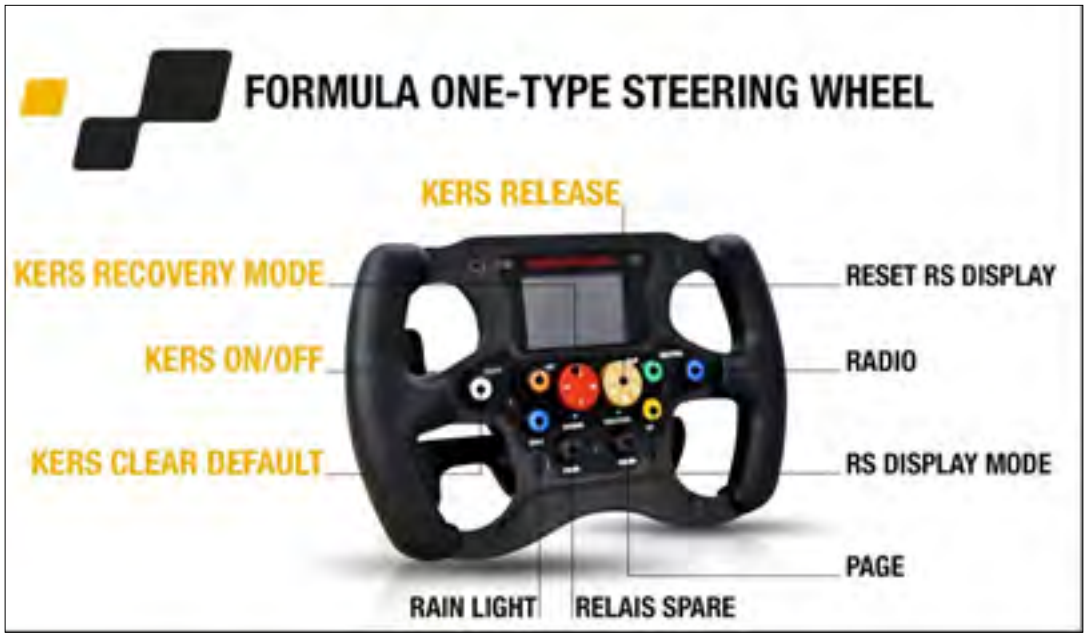


Rys. 1.32. Elementy z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28].

Inżynierowie Renault skonstruowali dach tak, by silnik oraz system KERS był widoczny dla zainteresowanych osób. Umożliwia to panoramiczny dach, który jest dostępny opcjonalnie nawet w drogowej wersji renaulta twizy (patrz rysunek 1.33).

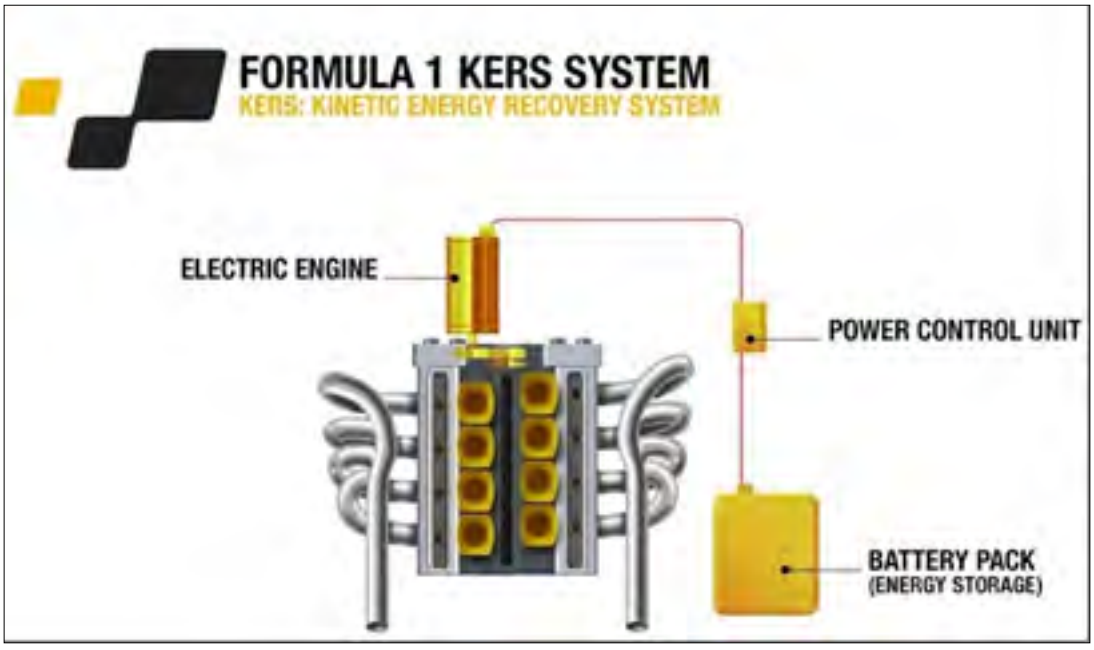
Rys. 1.33. Elementy z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28].

Pojazd renault twizy RS F1 wyposażono w kierownicę pochodzącą z bolidu Formuły 1. Jej wygląd wraz z opisem poszczególnych przycisków i funkcji przedstawiono na rysunku 1.34.



Rys. 1.34. Kierownica z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28].

Jak wynika ze schematu przedstawionego na rysunku 1.35 system KERS w renaulcie twizy RS F1 jest systemem elektryczno-mechanicznym sterowanym elektronicznie.



Rys. 1.35. System KERS z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28].

Kierowcą testowym i twarzą innowacyjnego renaulta twizy RS F1 został Sebastian Vettel, ówczesny i obecny kierowca bolidu teamu Formuły 1 RedBull Racing (rysunek 1.36).

Rys. 1.36. Pojazd Formuły 1 renault Red Bull kierowany przez Sebastiana Vettela [30].

Na rysunku 1.37 został przedstawiony Sebastian Vettel w otoczeniu dwóch pojazdów renault twizy. Po lewej znajduje się produkowana seryjnie wersja, zaś po prawej wersja RS F1. Jednostki napędowe od 2007 do 2018 roku dostarczała dla RedBull Racing firma Renault. Od roku 2019 dostawcą silników jest Honda. Wersja renault twizy RS F1 miała za zadanie reklamować wyścigi Formuły 1 i popularyzować napędy elektryczne w pojazdach.

Rys. 1.37. Porównanie pojazdu seryjnego i renaulta twizy RS F1 [29].

Jest to odpowiednie miejsce, by wspomnieć, że napędy elektryczne zagościły już na dobre w wyścigach Formuły E. Idea Formuły E powstała w 2012 roku, natomiast pierwszy sezon wystartował jesienią 2014 roku. Na pomysł wpadł londyński przedsiębiorca Enrique Banuleos i eks-eurodeputowany Alejandro Agag [43].

Aby wyrównać szanse, wszystkie drużyny wykorzystują bardzo podobny, jednoosobowy bolid o mocy 340 KM w kwalifikacjach i 272 KM w wyścigu. Aktualnie w wyścigach startuje 12 drużyn z całego świata, a kierowcy to zarówno znane z innych sportów motorowych

nazwiska (np. Felipe Massa), jak i młodzi, ale utalentowani, obiecujący zawodnicy, którzy dopiero rozpoczynają przygodę z wyścigami [43].

Samochody elektryczne najpopularniejsze są w miastach i dlatego wyścigi Formuły E odbywają się przede wszystkim w dużych metropoliach na całym świecie. Nie ma tylu spalin i hałasu. Bolid elektryczny wytwarza podczas szybkiej jazdy tylko 80 dB. Całe wydarzenie trwa zazwyczaj jeden dzień, tak żeby maksymalnie ograniczyć koszty zarówno zespołów, jak i fanów, którzy przyjeżdżają, aby zobaczyć wyścig [43].

Jeśli chodzi o porównanie osiągów seryjnie produkowanego twizy z RS F1 oraz innymi pojazdami sportowymi Renaulta takie porównanie można znaleźć w tabeli 1.3. W górnej jej części porównano parametry oraz osiągi seryjnie produkowanego twizy z RS F1. Kolejna część to porównanie wskaźników masowych mocy dla seryjnie produkowanego twizy z RS F1 oraz megane RS i bolidu Formuły 1. Na samym końcu tabeli przedstawiono porównanie wymiarów wybranych pojazdów.

Tabela 1.3. Dane pojazdu seryjnego i renaulta twizy RS F1

TECHNICAL DATA

	TWIZY RENAULT SPORT F1 CONCEPT CAR	TWIZY 80
Architecture	Asynchronous electric motor	Asynchronous electric motor
Maximum revs (rpm)	10,000	7,500
Max. power (kW/hp)	72 / 97	13 / 17
Main motor reducer gear ratio	1 : 9.23	1 : 9.23
Power gain due to the KERS	80hp, available for 14 seconds	-
Maximum revs of the KERS (rpm)	36,000	-
KERS reducer gear ratio	1 : 3.6	-
Top speed	110kph	85kph

AN OUTSTANDING WEIGHT-TO-POWER RATIO

	TWIZY RENAULT SPORT F1 CONCEPT CAR	TWIZY 80	MEGANE R.S	F1 CAR
Weight (kg)	564	473	1387	650
Power (hp)	97	17	365	750
Weight-to-power ratio (kg/hp)	5.8:1	25:1	5.2:1	0.86:1

DIMENSIONS

	TWIZY RENAULT SPORT F1 CONCEPT CAR
Length	2,60m
Width	1,49m
Height	1,45m

1.3.3. Produkcja renaulta twizy

W 2012 roku w fabryce samochodów w hiszpańskim Valladolid, należącej do koncernu Renault, na nowej linii produkcyjnej rozpoczęto montaż pojazdu elektrycznego renault twizy. W budynku, w pełni przystosowanym do produkcji zeroemisyjnych pojazdów, znajdują się takie działy jak: lakiernia, montownia pojazdów oraz akumulatorów, warsztat z wtryskarkami do form z tworzyw sztucznych oraz mały tor wewnętrzny. Cały budynek posiada powierzchnię 9000 m^2.

Podstawą nadwozia i podwozia renaulta twizy jest spawana z profili stalowych rama. Proces ręcznego spawania ramy przedstawiono na rysunku 1.38. W przyrządzie spawalniczym zamocowane są profile, które następnie są spawane przez dwóch spawaczy jednocześnie. Przyrząd spawalniczy ma możliwość obracania ramy wokół wzdłużnej jej osi, dzięki czemu spawacze mają lepszy dostęp do wykonania właściwych spoin. W XXI wieku ręczne spawanie ramy może usprawiedliwiać jedynie niewielka roczna produkcja pojazdów.

Rys. 1.38. Spawanie ramy renaulta twizy na linii produkcyjnej pojazdu w Hiszpanii [32].

Gotową ramę renaulta twizy można zobaczyć na rysunku 1.39. Wyglądem przypomina klatkę bezpieczeństwa, jaka stosowana jest w pojazdach terenowych i bolidach Formuły 1. Wyraźnie widać, że niektóre profile ramy są gięte, a inne jedynie cięte z długiego profilu. Po spawaniu rama jest myta w celu usunięcia kurzu oraz odtłuszczenia powierzchni. Następnie jest poddawana procesowi kataforezy w celu zabezpieczenia antykorozyjnego. Następnie rama poddawana jest procesowi kontroli jakości, aby zweryfikować poprawność wykonania procesu spawania oraz malowania.

Rys. 1.39. Rama renaulta twizy [33].

Po pozytywnym przejściu kontroli jakości rama trafia na linię produkcyjną. Tam zaczyna się montaż pozostałych komponentów. Rama pojazdu jest mocowana w specjalnym chwytaku w celu transportu wewnątrzzakładowego. Montaż odbywa się techniką gniazdową. Oznacza to, że chwytak wraz z ramą przemieszcza się z gniazda monterskiego do następnego. W każdym z gniazd wykonywany jest montaż ściśle określonych komponentów. Jak widać na rysunku 1.40 w pierwszym gnieździe zostaje zamontowana bateria trakcyjna.

Rys. 1.40. Montaż pakietu baterii do ramy renaulta twizy [32].

Następnie rama zostaje przetransportowana do kolejnego gniazda, w którym montowany jest silnik elektryczny wraz z jego osprzętem. W tym samym gnieździe jest montowane tylne zawieszenie, które, jak widać, jest zawieszeniem niezależnym, opartym na wahaczach poprzecznych i kolumnie McPhersona.

Rys. 1.41. Montaż silnika elektrycznego i tylnego zwieszenia do ramy renaulta twizy [32].

Równolegle do linii montażowej pojazdu odbywa się montaż magazynu energii w postaci baterii trakcyjnej. Jest to zatem odpowiednie miejsce, by przedstawić wygląd oraz budowę magazynu energii w renaulcie twizy. Jak widać na rysunku 1.42 bateria znajduje się w metalowym pojemniku o kształcie prostopadłościanu. Pakiet ma niewielkie wymiary, ale jego waga wynosi 105 kg.

Rys. 1.42. Pakiet baterii renaulta twizy [32].

Podstawą obudowy pakietu baterii renaulta twizy jest odlewana techniką kokilową aluminiowa podstawa przedstawiona na rysunku 1.43.

Rys. 1.43. Podstawa pakietu baterii renaulta twizy [32].

Na podstawie obudowy położony został kompletny pakiet bateryjny, jak to widać na rysunku 1.44. Został on oczywiście wcześniej przygotowany z gotowych modułów bateryjnych. Montaż ich odbywa się w systemie *just in time* na linii montażowej przedstawionej na rysunku 1.45.

Rys. 1.44. Montaż pakietu baterii renaulta twizy [32].

Rys. 1.45. Linia montażowa baterii renaulta twizy [32].

Pakiet baterii trakcyjnej renaulta twizy składa się z 13 modułów. Wygląd pojedynczego modułu baterii przedstawiono na rysunku 1.46. Moduły składają się z kilku cel pryzmatycznych w celu uzyskania żądanego napięcia modułu oraz pojemności energetycznej. Moduły bateryjne dla potrzeb koncernów Renault i Nissan produkowane są przez koreańską firmę LG Chem. Nazwa i logo tej firmy znajduje się na opakowaniu widocznym na rysunku 1.46.

Rys. 1.46. Moduł baterii renaulta twizy produkcji LG Chem [32].

Moduły są wypakowywane z paczek i trafiają na linię montażową, jak to widać na rysunku 1.47.

Rys. 1.47. Linia montażowa baterii renaulta twizy [32].

Następnie są one ręcznie montowane na podstawie baterii i łączone ze sobą oraz z obudową. W tym gnieździe odbywa się również łączenie elektryczne modułów w pakiet.

Rys. 1.48. Linia montażowa baterii renaulta twizy [32].

Po zamknięciu pokrywy górnej pakietu na zewnątrz wychodzą tylko dwa gniazda elektryczne, widoczne na rysunku 1.49. Pierwsze z nich o kolorze pomarańczowym to gniazdo napięciowe prądu stałego. Za jego pomocą pobierany jest prąd przez silnik elektryczny podczas jazdy oraz odbywa się ładowanie baterii z ładowarki pokładowej lub podczas hamowania odzyskowego. Drugie gniazdo, koloru czarnego, to wielopinowe gniazdo komunikacyjne. Przypomnę, że wewnątrz pakietu baterii znajduje się również Battery Management

System (BMS), który ma za zadanie zarządzać baterią. Zarządzanie takie obejmuje pomiar napięcia oraz temperatury poszczególnych modułów. Są to informacje potrzebne do określenia stopnia naładowania baterii – SoC (ang. *State of Charge*).

Rys. 1.49. Silnik trakcyjny i bateria trakcyjna renaulta twizy [32].

Równolegle do montażu całego pojazdu i pakietów baterii trakcyjnych odbywa się montaż silnika z reduktorem oraz innymi komponentami elektrycznego zasilania silnika. Zostało to przedstawione na rysunku 1.50.

Rys. 1.50. Linia montażowa silnika elektrycznego renaulta twizy [32].

Po zamontowaniu kompletnego układu napędowego oraz zawieszenia tylnego i przedniego rama pojazdu jest umieszczana na specjalnej platformie w celu montażu elementów wyposażenia wnętrza i poszycia zewnętrznego. Linia montażowa została pokazana na rysunku 1.51. Poszycie zewnętrzne renaulta twizy zostało wykonane z termoformowanego próżniowo tworzywa ABS. Dzięki temu jest wystarczająco wytrzymałe oraz odporne na korozję.

Rys. 1.51. Pojazd na linii produkcyjnej.

Dzięki zastosowaniu metalowej klatki bezpieczeństwa renault twizy jest pojazdem bardzo bezpiecznym. Przeszedł z dobrymi wynikami wszystkie testy zderzeniowe, przeprowadzone przez EURO NCAP, jak to widać na rysunku 1.52.

Rys. 1.52. Test zderzeniowy renaulta twizy [101].

1.3.4. Ładowanie renaulta twizy

Renault twizy, dzięki wbudowanej pokładowej przetwornicy, może być ładowany ze zwykłej sieci elektrycznej 230V. Wykorzystywane do tego są punkty dostępu do energii elektrycznej umieszczone na zewnątrz budynków (rysunek 1.53). Problemem pozostaje jednak ich liczba i dostęp do takich punktów. Kolejnym problemem jest samo rozliczenie poboru energii elektrycznej (ilość, cena oraz sposób zapłaty). Można do tego wykorzystać ogólnie dostępny watomierz z kalkulatorem energii dostępny już w większości marketów budowlanych w cenie ok. 50 PLN (rysunek 1.54).

Rys. 1.53. Ładowanie pojazdu elektrycznego z zewnętrznego gniazdka elektrycznego.

Rys. 1.54. Watomierz z kalkulatorem energii.

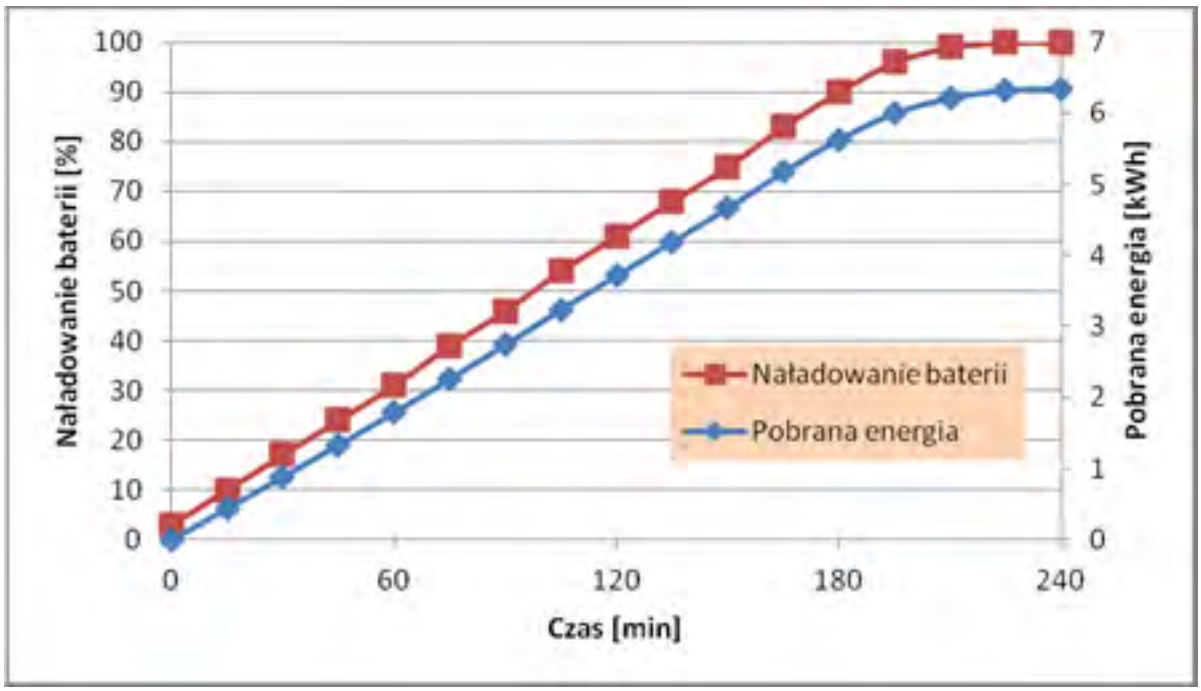
Przyjazny kierowcy renaulta twizy software pokładowy wyświetla stan naładowania akumulatora oraz podaje przybliżony zasięg przy zachowaniu podobnych warunków jazdy. Bardzo ułatwia to planowanie przejazdów z uwzględnieniem kolejnych doładowań akumulatorów. Software również działa podczas procesu ładowania. Przeprowadzone przez autorów liczne badania wykazały, że renault twizy podczas ładowania pobiera chwilową moc wynoszącą od 1700 do 2000 W. Pełne ładowanie (od niemal całkowitego rozładowania – 3% do

automatycznego zakończenia ładowania – 100%) trwa około 4 godzin, co wynika z danych zebranych w tabeli 1.4. W tym czasie pojazd pobiera z sieci ok. 7 kWh energii. Stanowi to koszt jednego ładowania od 2,1 PLN do 4,5 PLN w zależności od posiadanej taryfy zakupu energii elektrycznej. Zgromadzona energia pozwala na zasięg pojazdu od 50 do 90 km. Są to ogólne spostrzeżenia autora, będącego właścicielem renaulta twizy, na podstawie rocznego okresu eksploatacji w różnych warunkach drogowych i atmosferycznych. W tym czasie pojazd przejechał ponad 7500 km.

Tabela 1.4. Dane procesu ładowania pojazdu elektrycznego

Lp.	Czas [min]	Moc chwilowa [W]	Pobrana energia [kWh]	Naładowanie baterii [%]
1	0	1714	0	3
2	15	1767	0,442	10
3	30	1794	0,888	17
4	45	1830	1,335	24
5	60	1863	1,790	31
6	75	1883	2,263	39
7	90	1899	2,744	46
8	105	1915	3,240	54
9	120	1930	3,715	61
10	135	1951	4,195	68
11	150	1970	4,665	75
12	165	1985	5,176	83
13	180	1991	5,635	90
14	195	1991	6,002	96
15	210	361	6,218	99
16	225	358	6,330	100
17	240	35	6,346	100

Jak wynika z wykresu przedstawionego na rysunku 1.55 w procesie ładowania renaulta twizy można zauważyć 180-minutowy odcinek charakteryzujący się proporcjonalną zależnością stopnia naładowania baterii i pobieranej energii od czasu ładowania. W tym czasie naładowanie baterii osiąga 90%. W ciągu ostatnich 60 minut ładowania zostaje uzupełnionych kolejnych 10%. Moc chwilowa pobierana przez przetwornicę w tym ostatnim odcinku została znacznie zmniejszona w stosunku do głównego odcinka ładowania. W instrukcji obsługi pojazdu można przeczytać, że proces ładowania baterii trakcyjnej może zostać w każdej chwili rozpoczęty i przerwany. Możliwe jest zatem nawet krótkotrwałe doładowywanie baterii.



Rys. 1.55. Wykres przebiegu procesu ładowania baterii wraz z poborem energii.

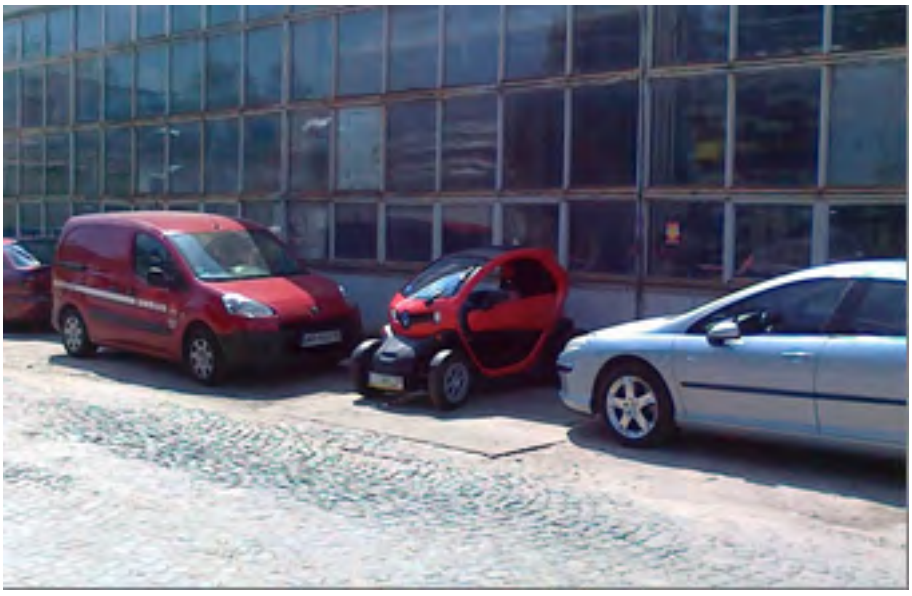
1.3.5. Eksploatacja renaulta twizy

Łatwe parkowanie

Łatwe parkowanie to dla renaulta twizy nic trudnego (patrz rysunki od 1.56 do 1.58). Pojazd posiada szerokość wynoszącą tylko 120 cm. Na jeszcze bliższe zbliżenie do zaparkowanych obok pojazdów lub przedmiotów pozwalają otwierane do góry drzwi, co zajmuje dużo mniej miejsca niż w klasycznych przypadkach.

Rys. 1.56. Parkowanie renaulta twizy w ciasnym miejscu.

Rys. 1.57. Parkowanie renaulta twizy w ciasnym miejscu.



Rys. 1.58. Parkowanie renaulta twizy w ciasnym miejscu.

Darmowe parkowanie

Włodarze polskich i światowych miast zdają sobie sprawę z ekologicznych zalet pojazdów elektrycznych. Jest to doceniane w ten sposób, że ich właściciele mogą liczyć na darmowe parkowanie, na przykład w Strefach Płatnego Parkowania. Aby skorzystać z takiego przywileju, pojazd elektryczny powinien być odpowiednio oznakowany, chociaż w przypadku renaulta twizy nie wydaje się to potrzebne. Design pojazdu i jego małe wymiary od razu sugerują, że nie jest to pojazd pospolity. Jednak w przypadku większości pojazdów elektrycznych odróżnienie zaparkowanego pojazdu elektrycznego od spalinowego nie już wcale takie oczywiste. Czasami jest to małe dodatkowe określenie „electric" lub w skrócie „e" przed nazwą modelu posiadającego również napędy spalinowe. Dlatego w różnych miastach Polski i świata wprowadzono różne sposoby oznaczania pojazdów elektrycznych.

W Lublinie były to identyfikatory dla pojazdów elektrycznych, które były wydawane przez Zarząd Dróg i Mostów (rysunek 1.59). Identyfikator miał być wkładany za szybę w czasie postoju, co było wymogiem problematycznym. Zostały one następnie zastąpione przez nalepki strefy czystego transportu, które miały być naklejane na szybie pojazdu w jej dolnym lewym rogu (rysunek 1.60). Nalepki były próbą unifikacji oznaczenia pojazdów elektrycznych na poziomie kraju.

Rys. 1.59. Identyfikator dla pojazdów ekologicznych.

Rys. 1.60. Nalepka strefy czystego transportu.

Warto podkreślić, że posiadając auto elektryczne można zaoszczędzić miesięcznie nawet kilkaset złotych. Tyle właśnie kosztują miesięczne abonamenty za jedno miejsce parkingowe w Strefie Płatnego Parkowania. Niektóre polskie miasta zaczęły wzorem miast

europejskich wprowadzać opłaty za wjazd pojazdów do ścisłych centrów miast lub tzw. stref czystego transportu. Stąd właśnie wzięła się nazwa powyżej opisanej nalepki. To też niejednokrotnie wiąże się z wniesieniem każdorazowej lub abonamentowej opłaty. Kierujący pojazdami elektrycznymi zazwyczaj są z niej całkowicie zwolnieni. Podsumowując miesięczne wydatki na opłaty parkingowe oraz wjazd do stref czystego transportu właściciele pojazdów elektrycznych mogą zaoszczędzić równowartość miesięcznych wydatków na paliwo dla pojazdu z silnikiem spalinowym. Takie oszczędności pozwalają w znacznym stopniu zrekompensować wyższą cenę zakupu pojazdu elektrycznego.

Jazda buspasami

Z odróżnieniem pojazdów elektrycznych od tradycyjnych spalinowych problem mieli również strażnicy miejscy oraz policjanci, egzekwujący zasady korzystania z tzw. buspasów. Kierowcy pojazdów elektrycznych mogą z nich korzystać od 22.02.2018 roku na podstawie Ustawy o elektromobilności. Pojawiło się wówczas wiele informacji o możliwości korzystania z buspasów i darmowego parkowania dla pojazdów elektrycznych. Jedna z nich została przedstawiona na rysunku 1.61.

Rys. 1.61. Informacja o możliwości korzystania z buspasów i darmowego parkowania dla pojazdów elektrycznych [37].

W dalszym ciągu do identyfikacji pojazdów elektrycznych służą nalepki strefy czystego transportu, które były wydawane do 31.12.2019 roku. Od 1.01.2020 roku nowo rejestrowane pojazdy elektryczne w całej Polsce można rozpoznać po zielonym tle tablic rejestracyjnych, jak to przedstawiono na rysunku 1.62.

Rys. 1.62. Zielone tablice rejestracyjne [37].

1.4. Rezultaty

1.4.1. Badanie renaulta twizy w warunkach drogowych

Pojazdy z napędem elektrycznym charakteryzują się zerową emisją szkodliwych składników do atmosfery w miejscu użytkowania. Także hybrydowe pojazdy z napędem spalinowo-elektrycznym emitują znacznie mniej zanieczyszczeń niż pojazdy napędzane tylko tradycyjnym silnikiem spalinowym. W stosunku do pojazdów elektrycznych bardzo często pada zarzut o brak ekologii, gdyż bardzo często prąd elektryczny do ich ładowania pochodzi ze spalania paliw kopalnianych, takich jak węgiel lub gaz ziemny. Mówimy wtedy o sytuacji, gdy emisja spalin jest przesunięta z miejsca użytkowania pojazdu do miejsca produkcji prądu elektrycznego. Takie przesunięcie emisji jest również bardzo korzystne ze względu na zmniejszenie efektu smogu w centrach dużych i małych miast w wielu krajach Europy i świata. Jednak najlepszym sposobem walki ze smogiem jest stosowanie zeroemisyjnych pojazdów z napędem elektrycznym, ładowanych energią elektryczną pochodzącą z odnawialnych źródeł energii.

Od 2012 roku w Europie i na całym świecie obserwowany jest trend zwany elektromobilnością. W niektórych krajach można mówić o prawdziwej rewolucji, gdy ponad 10% sprzedawanych nowych pojazdów stanowią bateryjne pojazdy elektryczne (BEV) lub hybrydy z możliwością ładowania baterii ze źródeł zewnętrznych (HEV). Coraz większe ilości pojazdów BEV i HEV odnotowuje się również w Polsce. Do wyboru tego rodzaju napędu przekonują klientów własności pojazdów elektrycznych, do których zaliczamy:

- cichą jazdę, wynikającą z braku silnika spalinowego w BEV lub w przypadku HEV z ograniczenia prędkości obrotowej silnika spalinowego,
- dużą dynamikę jazdy, wynikającą z dostępności momentu od niskich prędkości obrotowych w BEV lub jednoczesnego działania dwóch źródeł napędu w HEV,

- coraz większy zasięg produkowanych pojazdów BEV,
- stale rozwijającą się infrastrukturę do ładowania zarówno BEV, jak i HEV,
- bardzo niskie lub zerowe koszty ładowania baterii trakcyjnych w wielu publicznych miejscach.

Wyższe koszty zakupu pojazdów BEV i HEV w niektórych krajach są kompensowane dopłatami rządowymi. Tego rodzaju wsparcie może przyczynić się do dużego przyrostu pojazdów ekologicznych.

Atrakcyjny wygląd oraz własności pojazdów elektrycznych są wynikiem pracy inżynierów, pracujących w dużych koncernach motoryzacyjnych oraz naukowców, pracujących w uniwersytetach i instytutach badawczych. To dzięki rozwojowi inżynierii materiałowej pojazdy ekologiczne mają lekkie, wytrzymałe i charakteryzujące się małymi oporami powietrza nadwozia. Znaczące odkrycia i prace badawczo-rozwojowe prowadzą do wdrażania na rynku nowych rodzajów baterii trakcyjnych, zdolnych akumulować coraz większe ilości energii elektrycznej w mniejszej masie i objętości. Dzięki redukcji masy pojazdu oraz większej pojemności baterii trakcyjnych zasięg pojazdów elektrycznych przekracza obecnie ponad 400 km na jednym ładowaniu.

Kolejnym elementem wspierającym elektromobilność jest infrastruktura do ładowania pojazdów elektrycznych. Zazwyczaj każdy użytkownik pojazdu elektrycznego posiada możliwość wolnego ładowania baterii w ciągu nocy. Niemal wszystkie pojazdy elektryczne posiadają ładowarki pokładowe o mocy do 7 kW, zasilane prądem przemiennym jednofazowym o napięciu 230 V lub o mocy do 22 kW, zasilane prądem przemiennym trójfazowym o napięciu 400 V. Jednak właściciele takich pojazdów oczekują możliwości ładowania swoich pojazdów w publicznych punktach ładowania. Ma to ogromne znaczenie, zwłaszcza przy podróżach międzymiastowych i podczas długich podróży międzynarodowych. Oczekiwania te dotyczą możliwości szybkiego ładowania baterii trakcyjnych zewnętrznymi ładowarkami prądu stałego o mocach dochodzących do 150 kW. Liczba publicznych punktów do wolnego i szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych stale rośnie. W niektórych krajach jest wystarczająco rozwinięta i umożliwia bezproblemowe poruszanie się po całym kraju. Rozwój software na urządzenia mobilne umożliwia skorzystanie z jednej z wielu aplikacji pozwalających w szybki sposób znaleźć punkt ładowania i rozliczenia należności za usługę. Wiele podmiotów, takich jak hotele, banki oraz centra handlowe oferuje darmowe ładowanie baterii dla swoich klientów. Wynika to z kolejnego trendu, związanego z budowaniem proekologicznego wizerunku instytucji czy firmy w wyniku wspierania pojazdów elektrycznych.

Prędzej czy później pojawia się pytanie: Skąd brać prąd do ładowania pojazdów elektrycznych? Chodzi zarówno o pochodzenie produkowanego prądu, jak i o infrastrukturę do jego dystrybucji. W niektórych krajach infrastruktura produkcji i dystrybucji energii elektrycznej nie jest wystarczająca do obsługi wielu ładowarek dużej mocy i musi być znacząco rozbudowana. Energia elektryczna do ładowania pojazdów elektrycznych w różnych krajach pochodzi z różnych źródeł. W krajach Europy Zachodniej od wielu lat inwestuje się w produkcję energii elektrycznej z OZE. W Polsce od roku 2016 obserwowany jest duży wzrost instalacji fotowoltaicznych. Obejmuje zarówno małe instalacje domowe o mocy do 5 kWp, mikroinstalacje przemysłowe o mocy do 40 kWp oraz duże farmy fotowoltaiczne o mocach przekraczających 1 MWp. Atrakcyjność takich inwestycji jest spowodowana znacznymi dofinansowaniami ze strony rządu, jak i funduszy europejskich. Wiele osób i instytucji decyduje się na inwestycję w system fotowoltaiczny ze względu na szybki okres zwrotu i duże zyski, wynikające z produkcji energii na potrzeby własne.

Uwzględniając możliwości techniczne i finansowe, najlepszym rozwiązaniem ekologicznego i ekonomicznego poruszania się po mieście jest zakup pojazdu elektrycznego oraz budowa systemu fotowoltaicznego do jego ładowania. System powinien mieć możliwość oddawania nadmiaru produkowanej energii do pobliskiego budynku. Przed dokonaniem takich

inwestycji warto dokonać przeglądu literatury w tym zakresie. Warto poznać ofertę rynkową zarówno w obszarze elektrycznych pojazdów miejskich, jak i systemów fotowoltaicznych. Kluczowym wyzwaniem będzie dobór mocy szczytowej systemu fotowoltaicznego do pojemności energetycznej baterii trakcyjnej pojazdu.

Obiekt badań – renault twizy

Obiektem badań jest mały pojazd miejski o napędzie elektrycznym – renault twizy. Jest produkowany od 2012 roku przez koncern Renault. Został zaprojektowany jako pojazd typowo miejski, przeznaczony do przemieszczania na krótkich dystansach dwóch osób. Pojazd jest bardzo zwrotny ze względu na małe wymiary oraz mały promień skrętu, wynikający z zastosowanego napędu na tylne koła. Mała szerokość pojazdu, wynosząca niespełna 1,2 m, pozwala na łatwe parkowanie auta. Pojazd, posiadający masę własną 405 kg i DMC 600 kg, jest w stanie rozwijać prędkość maksymalną 85 km/h. Zastosowano w nim asynchroniczny silnik prądu przemiennego o mocy 13 kW, generujący moment obrotowy 57 Nm. Pojazd wyposażono w pakiet baterii litowo-jonowych o napięciu znamionowym 57 V i pojemności energetycznej 6,1 kWh. Bateria trakcyjna jest ładowana z sieci energetycznej prądu przemiennego o napięciu 230 V. Czas pełnego ładowania trwa ok. 3,5 godziny.

Pojazd posiada w standardzie otwarte nadwozie i w opcji może być doposażone w otwierane do góry drzwi. Nie posiada wewnętrznej wentylacji, ogrzewania i klimatyzacji. Posiada jedynie elektryczne podgrzewanie przedniej szyby. Jest to zatem pojazd przeznaczony na rynki o ciepłym klimacie.

Przedmiotowy pojazd został zakupiony w 2015 roku z jedyną w tamtym czasie opcją dzierżawy baterii trakcyjnej. Minimalny okres dzierżawy zakupionego nowego pojazdu wynosił 3 lata z limitem 25 000 km. Po upływie tego czasu umowy dzierżawy były dwukrotnie co rok aneksowane z przedłużeniem limitu kilometrów do 39 000 km.

Obiekt badań, renault twizy, podczas procesu ładowania baterii z carportu fotowoltaicznego przedstawiono na rysunku 1.63.

Rys. 1.63. Ładowanie pojazdu z carportu fotowoltaicznego.

Podstawowe dane techniczne renaulta twizy, mające wpływ na użytkowanie pojazdu, jak i przeprowadzenie badań, przedstawiono w tabeli 1.5.

Tabela 1.5. Dane renaulta twizy

Dane	**Wartość**
Masa własna	405 kg
Dopuszczalna masa całkowita	690 kg
Prędkość maksymalna	85 km/h
Typ silnika	Elektryczny – asynchroniczny
Moc silnika	13 kW (17 KM)
Typ baterii trakcyjnych	Litowo-jonowy
Pojemność baterii trakcyjnych	6,1 kWh
Zasięg w cyklu NEDC	100 km
Emisja CO_2	0 g/km
Znormalizowane zużycie prądu (od gniazda do koła)	63 Wh/km
Zasilanie ładowarki pokładowej	Gniazdko 230 V

Okres badań obejmuje 4 lata i 6 miesięcy użytkowania pojazdu w warunkach miejskich. Ze względu na umiarkowany klimat, panujący w Polsce, pojazd nie był użytkowany cały rok. Zazwyczaj był użytkowany od początku kwietnia do końca września. Zatem czas badań obejmuje 5 sezonów użytkowania pojazdu, w których przejechał 30 000 km. Pozostałych 6 miesięcy w roku, w okresie jesienno-zimowym, pojazd, z nielicznymi wyjątkami, nie był użytkowany.

Pierwsza kolumna w tabeli 1.6 zawiera kolejne lata eksploatacji pojazdu. W drugiej kolumnie zawarto rzeczywisty przebieg pojazdu w danym roku. W kolumnie trzeciej obliczono średni miesięczny przebieg pojazdu w przeliczeniu na 6 miesięcy rzeczywistego użytkowania pojazdu. W kolumnie czwartej przedstawiono maksymalny roczny zasięg, wynikający z umowy dzierżawy baterii. Kolumna piąta zawiera % obłożenia akumulatora będący wynikiem odejmowania kolumny 4 i 2. Ilość miesięcznych ładowań o założonej wartości 50% SOC zawarto w kolumnie szóstej. Została ona obliczona na podstawie średniego miesięcznego przebiegu podzielonego przez średni zasięg na jednym ładowaniu, wynoszącym 65 km, i pomnożona przez 2. Kolumna siódma zawiera ilość pobranej energii elektrycznej w ciągu roku. Po podliczeniu całkowitej ilości pobranej energii w ciągu 5 sezonów użytkowania i przejechania 30 000 km wyniosła ona 2721 kW. Wartość ta została potwierdzona przez odczyt wartości całkowitego bilansu energetycznego z Elektronicznej Jednostki Sterującej pojazdem za pomocą urządzenia diagnostycznego Bosch KTS. Wartość ta wyniosła 2707 kW. Tym samym potwierdzono założony wcześniej średni zasięg pojazdu na pełnym akumulatorze wynoszący 65 km. Zatem renault twizy do przejechania 100 km średnio potrzebuje 9,4 kWh energii. Ta wartość może być podstawą do dalszych analiz ekonomicznych.

Tabela 1.6. Dane z eksploatacji pojazdu

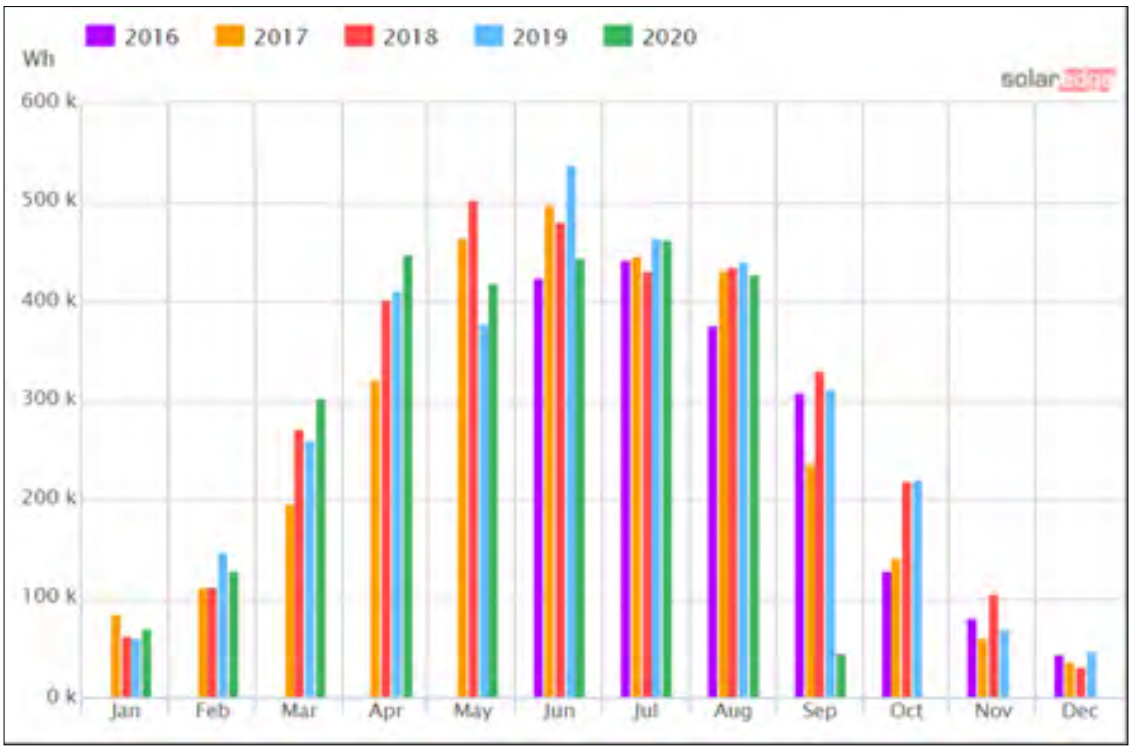
1	2	3	4	5	6	7
Rok	**Przebieg roczny [km]**	**Przebieg miesięczny [km]**	**Maks. przebieg wynikający z umowy dzierżawy [km]**	**Obłożenie akumulatora [%]**	**Ilość miesięcznych ładowań 50% SOC**	**Ilość pobranej energii rocznie [kWh]**
1	7100	1183	8333	85,2	36	666
2	6800	1133	8333	81,6	35	638
3	8100	1350	8333	97,2	42	760
4	3700	617	8000	46,3	19	347
5	3300	550	8000	41,3	17	310

Z analizy danych wynika, że w ciągu pierwszych 3 lat eksploatacji pojazd był obłożony na poziomie od 81,6 do 97,2%. Nie doszło do sytuacji przekroczenia maksymalnego rocznego zasięgu wynikającego z umowy dzierżawy baterii. Gdyby taka sytuacja miała miejsce, wiązałoby się to z koniecznością opłat za każde dodatkowe 100 km. Kolejne dwa lata eksploatacji (rok 4 i 5) były okresami mniejszej intensywności użytkowania pojazdu. Miesięczne przebiegi były ok. 2 razy krótsze, co przełożyło się także na mniejsze obłożenie akumulatora. Warto przyjrzeć się kolumnie szóstej. W całym okresie badawczym auto było ładowane z założonym SOC 50% ponad 130 razy. W tym czasie pojazd pobrał ok 414 kWh energii elektrycznej. Są to niewielkie ilości ładowań, by mogły spowodować znaczący spadek pojemności energetycznej baterii. Dla przypomnienia, ładowania odbywają się w trybie wolnego ładowania za pomocą ładowarki pokładowej o mocy 2 kW. W pierwszych trzech latach eksploatacji pojazd był ładowany ok. raz na dzień. W kolejnych dwóch latach ok. raz na dwa dni.

Obiekt badań – carport fotowoltaiczny 3 kWp

Dla zakupionego pojazdu elektrycznego renault twizy zaprojektowano i wykonano carport fotowoltaiczny. Carport fotowoltaiczny składa się z 12 monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych wykonanych w technologii szkło–szkło, posiadających indywidualny optymalizer. Carport posiada gniazdo energii elektrycznej typu Schuko i jest podłączony do segmentu 4 LPNT. Oznacza to, że gdy z carportu nie jest ładowany pojazd elektryczn,y oddaje on energię do budynku LPNT. Zastosowane podejście on-grid w podłączeniu carprotu do sieci energetycznej zapewnia ładowanie pojazdu w każdych warunkach nasłonecznienia. Jeśli moc generowana przez carport nie jest w stanie pokryć mocy potrzebnej do ładowania pojazdu elektrycznego, niedobór zostanie pobrany z sieci energetycznej. Jeśli natomiast moc generowana przez carport jest większa niż moc pobierana przez pojazd to jej nadmiar zostanie oddany do sieci energetycznej.

Badania carportu obejmują okres od początku czerwca 2016 do końca września 2019 roku. Carport jest w stanie wyprodukować ponad 3 MWh energii elektrycznej rocznie. Większość produkcji przypada na miesiące wiosenne i letnie, jak to widać na rysunku 1.64.



Rys. 1.64. Energia produkowana przez carport w poszczególnych miesiącach [34].

W tabeli 1.7 przedstawiono miesięczne oraz dzienne średnie wartości produkowanej przez carport energii elektrycznej. W ostatniej kolumnie zawarto liczbę pełnych cykli ładowania małego pojazdu elektrycznego. Na podstawie tych danych można stwierdzić, że średnia produkcja energii elektrycznej w wybranym okresie jest ok. 2 razy większa niż potrzebna do pełnego naładowania pojazdu elektrycznego (100% SOC). Przy projektowaniu carportu uwzględniono moc potrzebną do ładowania pojazdu elektrycznego. Można zatem jeszcze wysnuć wniosek, że ładując pojazd w czasie największego nasłonecznienia (pomiędzy godziną 10.00 a 15.00) można liczyć na całkowite pokrycie mocy z carportu fotowoltaicznego. Od grudnia 2019 roku w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym działają również dwie mikroinstalacje fotowoltaiczne o mocy 40 kWp każda. Zatem w przypadku braku pełnego pokrycia mocy potrzebnej do ładowania z carportu jest ona uzupełniana z jednej z mikroinstalacji. Jest to możliwe, gdyż zarówno carport, jak i mikroinstalacja są podłączone do jednego segmentu LPNT. Od początku uruchomienia na początku czerwca 2016 do końca września 2019 roku carport wyprodukował ok. 10 600 kWh energii. Pojazd w tym czasie pobrał ok. 2055 kWh, co stanowi 19,4% wyprodukowanej energii.

Tabela 1.7. Wartości średnie energii produkowanej przez carport

	Miesięczna produkcja energii [kWh]	**Dzienna produkcja energii [kWh]**	**Liczba pełnych ładowań**
Kwiecień	378,08	12,60	2,07
Maj	448,48	14,95	2,45
Czerwiec	484,73	16,16	2,65
Lipiec	445,60	14,85	2,43
Sierpień	420,91	14,03	2,30
Wrzesień	296,77	9,89	1,62

Wnioski

Połączenie technologii pojazdów elektrycznych z możliwością ich ładowania z odnawialnych źródeł energii jest najbardziej ekologicznym sposobem zasilania pojazdów. Do ładowania małego pojazdu elektrycznego posłużył carport fotowoltaiczny o mocy szczytowej 3 kWp. Badania obejmują 5 sezonów wiosenno-letnich, podczas których auto przejechało w sumie 30 000 km.

Długoterminowe badania pojazdu elektrycznego wykazały, że pokonywał on wyłącznie w ruchu miejskim rocznie od 3300 do 8100 km. Wymuszało to konieczność ładowania pojazdu o wartość 50% SOC raz na dwa dni w pierwszym przypadku i raz dziennie w drugim przypadku. Z analizy danych wynika, że w ciągu pierwszych 3 sezonów eksploatacji pojazd był obłożony na poziomie od 81,6 do 97,2%. Kolejne dwa sezony eksploatacji (rok 4 i 5) były okresami mniejszej intensywności użytkowania pojazdu, charakteryzującymi się obłożeniem wynoszącym 46,1 i 43,1%. W całym okresie badawczym auto było ładowane z założonym SOC 50% ponad 130 razy. Są to niewielkie ilości ładowań, by mogły spowodować znaczący spadek pojemności energetycznej baterii.

Na podstawie analiz ilości energii elektrycznej, produkowanej przez carport w sezonie użytkowania pojazdu elektrycznego, można stwierdzić, że średnia produkcja energii elektrycznej w wybranym okresie jest ok. 2 razy większa niż potrzebna do pełnego naładowania pojazdu elektrycznego (100% SOC). Przy projektowaniu carportu w sposób prawidłowy uwzględniono moc potrzebną do ładowania pojazdu elektrycznego. Można zatem jeszcze wysnuć wniosek, że ładując pojazd w czasie największego nasłonecznienia (pomiędzy godziną 10.00 a 15.00) można liczyć na całkowite pokrycie mocy z carportu fotowoltaicznego.

1.4.2. Sprzedaż renaulta twizy

Fabryka Renault Twizy w Hiszpanii została zbudowana z zamiarem produkcji 10 000 pojazdów rocznie. Jednak nigdy nie wykorzystano jej całkowitego potencjału. W tabeli 1.8 przedstawiono wyniki sprzedaży renaulta twizy w poszczególnych latach. W 2011 roku sprzedano tylko kilka sztuk. Były to prawdopodobnie pojazdy demonstracyjne na potrzeby koncernu Renault oraz najbliższych partnerów. Za to w 2012 roku sprzedaż była największa w początkowych latach. Wynikała zapewne z długiego oczekiwania na wejście na rynek innowacyjnego pojazdu. Niektórzy klienci dokonywali zapisów i czekali w kolejce na swojego twizy. W latach 2013–2016 sprzedaż roczna mieściła się w przedziale od 2000 do 3000 sztuk.

Tabela 1.8. Sprzedaż renaulta twizy w poszczególnych latach [36]

Rok	Sprzedaż
2016	2107
2015	2021
2014	2112
2013	2999
2012	9015
2011	11

Z danych dostępnych w sieci wynika, że na koniec grudnia 2019 roku całkowita produkcja i sprzedaż renaulta twizy wyniosła 29 118 sztuk. Od 2019 roku twizy jest produkowany w Busan, w Korei Południowej.

Renault twizy jest pojazdem o bardzo charakterystycznym designie zewnętrznym. Budzi ogromne zainteresowanie innych uczestników ruchu drogowego. Można go spotkać na

całym świecie. W Japonii, na rynek azjatycki oraz amerykański twizy sprzedawany jest pod marką Nissan. Można to zobaczyć na rysunku 1.65.

Rys. 1.65. Nissan twizy [44].

Pod znakiem Nissana twizy ma się doczekać modyfikacji. Wydają się one bardzo zasadne, zważywszy że przez 8 lat obecności na rynku nie były dokonywane żadne zmiany ani ulepszenia. Przydałyby się baterie o większej pojemności, zapewniające zasięg przynajmniej 120 km w teście WLTP.

Szef produkcji Nissana powiedział, że chce stworzyć auto, które będzie połączeniem zwrotności motocykla z ochroną przed warunkami pogodowymi samochodu. Ponadto Etienne Henry twierdzi, że co prawda twizy posiada oba te składniki (no, może nie do końca), ale nowe auto Nissana ma być o wiele lepsze [45].

Informacje na temat modelu są bardzo ograniczone, ale w sieci mówi się, że nowy model będzie dość wyraźnie nawiązywał do ciekawego projektu land glider, który pochyla się w zakrętach poprawiając zwrotność i stabilność przy wyższych prędkościach.

Rys. 1.66. Koncepcja następcy renaulta twizy [45].

Rys. 1.67. Koncepcja następcy renaulta twizy [45].

Renault twizy już po 8 latach obecności na rynku można uznać za auto kultowe. Odegrało ono ogromną rolę w promocji elektrycznych aut miejskich i stało się symbolem znaczenia koncernu Renault w rozwoju elektromobilności. Jest również bardzo ciekawym obiektem badań dla studentów na kierunku transport oraz mechanika i budowa maszyn.

2. Napęd pojazdu elektrycznego BMW i3 z range extenderem

2.1. Klient

Jakie auto zaproponowałbym osobie, która oczekuje więcej od pojazdu niż przedstawiony w rozdziale pierwszym renault twizy? Na pewno byłoby to BMW i3. Podobnie jak twizy najmniejszy pojazd elektryczny BMW został zaprojektowany od podstaw jako pojazd elektryczny. Dotyczy to wszystkich jego komponentów. Począwszy od oryginalnego, opartego na kompozytowym monokoku nadwozia, poprzez ekologiczne materiały oraz innowacyjny elektryczny napęd pojazdu. Jest to typowe auto miejskie, jednakże ma też możliwość jazdy na dłuższe trasy. Do przedłużenia zasięgu pojazdu służy specjalny range extender.

Na temat BMW i3 nie powinny wypowiadać się osoby, które nie miały przyjemności jeździć tym pojazdem. Z doświadczenia powiem, że BMW i3 zapewnia komfort i kulturę jazdy na najwyższym poziomie, znanym z najlepszych limuzyn tej marki. Cichy napęd, bardzo dobra dynamika jazdy, doskonałe własności jezdne są połączone z całkowitą ciszą podczas jazdy. Miłośnicy tej marki posiadający limuzyny lub SUV-y powinny posiadać również BMW i3 do zwinnego i wygodnego poruszania się po mieście.

BMW i3 jest pojazdem przeznaczonym dla ludzi w różnym wieku, jednak z zasobnym portfelem. Niemniej zastosowane innowacyjne technologie i uzyskane dzięki nim osiągi i cechy pojazdu, moim zdaniem, usprawiedliwiają cenę zakupu. Jest to po prostu pojazd inny niż wszystkie, oferujący niesamowite doznania podczas jazdy.

Klientem dla BMW i3 może być zarówno klient indywidualny, jak i instytucjonalny. Bardzo wiele tych pojazdów jest wykorzystywanych przez firmy carsheringowe. Zatem nie trzeba od razu kupować BMW i3, by cieszyć się jazdą. Można wypożyczyć go na minuty. W Warszawie takie usługi oferuje firma innogy GO!, która w kwietniu 2019 roku wprowadziła 500 takich aut (patrz rysunek 2.1).

Rys. 2.1. BMW i3 w innogy GO! [49].

Aplikację innogy Go! można pobierać na smartfony od 3 kwietnia 2019 roku. Tego dnia wystartował carsharing od innogy, w którym można wynająć na minuty BMW i3. Aplikacja jest dostępna na telefonach z system iOS i Android. Cena najmu na zachętę to 1 grosz, ale tylko jednorazowo przez pierwszych 15 minut korzystania z usługi. Normalna cena to 1,19 zł za minutę najmu za BMW i3 i 1,49 zł za jego szybszą wersję, BMW i3s. W carsharingu innogy nie zapłacimy za przejechane kilometry, liczony jest tylko czas najmu. Maksymalnie za dobę zapłacimy 239 zł lub 299 zł w przypadku droższego pojazdu.

2.2. Potrzeba

Przedefiniowanie mobilności miejskiej oznacza myślenie daleko wykraczające poza ekologiczną i zwinną jazdę. Rezultat: dzięki wizjonerskiemu designowi BMW i3 definiuje samochód jutra.

BMW i3 jest samochodem klasy B o nadwoziu typu hatchback, produkowanym i sprzedawanym przez koncern BMW. Samochód ten posiada innowacyjny elektryczny układ napędowy BMW eDrive, zaprojektowany w ramach technologii BMW Efficient-Dynamics. Napęd na tylną oś realizowany jest przez jednobiegową skrzynię biegów i akumulator litowo -jonowy, umieszczony pod płytą podłogową.

Rys. 2.2. Elektryczny BMW i3 [62].

2.3. Rozwiązanie

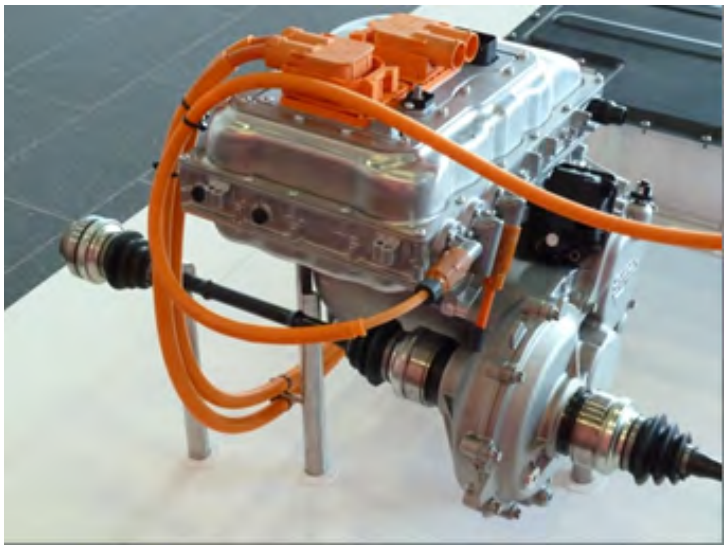
2.3.1. Idea i koncepcja pojazdu

Samochód koncepcyjny i3 został zaprezentowany na Międzynarodowych Targach Motoryzacyjnych w Niemczech w 2011 roku (patrz rysunek 2.3). W roku 2012 BMW zaprezentowało prototyp BMW i3 podczas Letnich Igrzysk Olimpijskich w Londynie, a wersja produkcyjna została zaprezentowana w lipcu 2013 roku.

Rys. 2.3. Elektryczny BMW i3 concept [70].

2.3.2. Napęd BMW i3

Silnik elektryczny BMW i3 jest idealnie dopasowany do użytku w ruchu miejskim i zapewnia moc 125 kW/170 KM przy momencie obrotowym 250 Nm. Wygląd silnika przedstawiono na rysunku 2.4. Pełen moment obrotowy, który jest typowy dla silników elektrycznych, jest dostępny natychmiast po rozpoczęciu jazdy i nie musi być najpierw zwiększany poprzez prędkość obrotową silnika, jak ma to miejsce w przypadku silników spalinowych. Dzięki temu BMW i3 jest wyjątkowo zwinne w każdej sytuacji i zapewnia imponujące wartości przyspieszenia: BMW i3 przyspiesza od 0 do 60 km/h w niecałe 4 sekundy, a do 100 km/h w zaledwie 7,2 sekundy (7,9 sekundy w wersji z range extenderem).

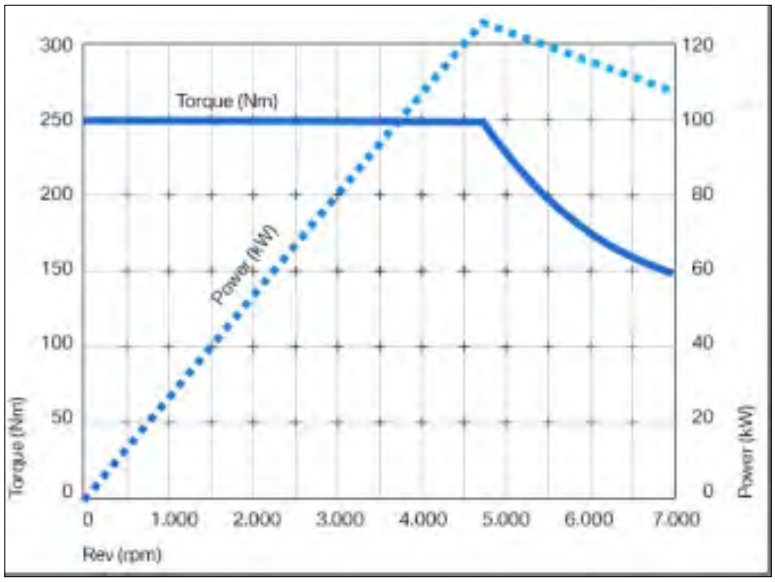


Rys. 2.4. Silnik elektryczny BMW i3 [70].

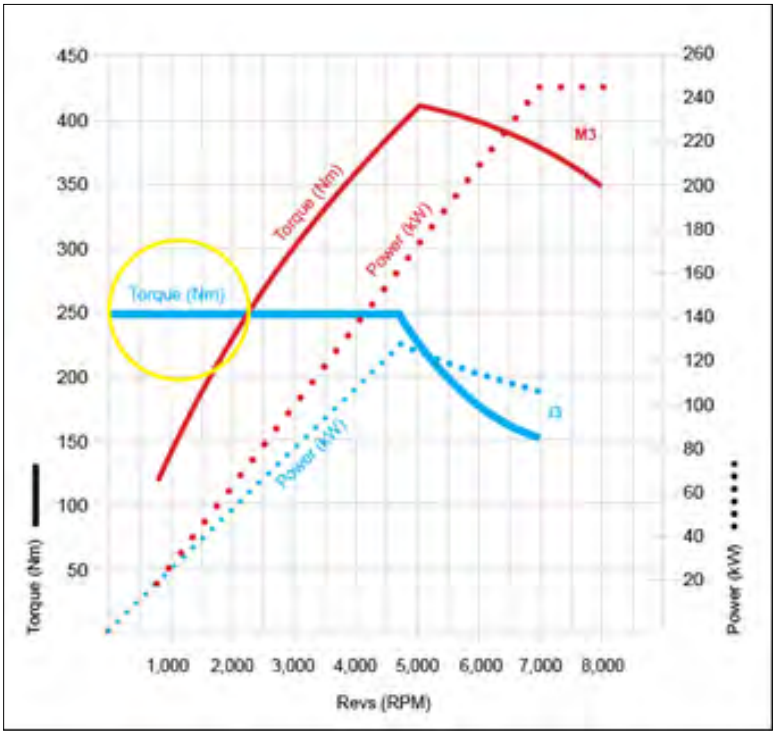
Poza tradycyjną natychmiastową reakcją silników elektrycznych podczas ruszania, rozwój mocy w BMW i3 pozostaje nieprzerwany również przy wyższych prędkościach. Moc jest przekazywana na tylne koła przez jednobiegową skrzynię biegów, umożliwiając BMW i3 przyspieszenie z nieprzerwanym przepływem mocy do maksymalnej prędkości, która jest ograniczona do 150 km/h.

Rys. 2.5. Układ przeniesienia napędu w elektrycznym BMW i3 [64].

To liniowe dostarczanie mocy, rozciągające się na wysokie zakresy obrotów, można przypisać specjalnej konstrukcji silnika elektrycznego opracowanej specjalnie dla BMW i3. Specyficzne rozmieszczenie i wymiary komponentów używanych do generowania napędu powodują efekt samomagnesowania tylko w innym przypadku indukowanym przez silniki reluktancyjne. To dodatkowe wzbudzenie powoduje, że pole elektromagnetyczne, utworzone przez dopływ prądu, pozostaje stabilne nawet przy wysokich obrotach. Maksymalne obroty silnika opracowanego dla BMW i3 – znanego jako hybrydowy silnik synchroniczny ze względu na swoją specyficzną kombinację właściwości – wynoszą 11 400 obr./min.

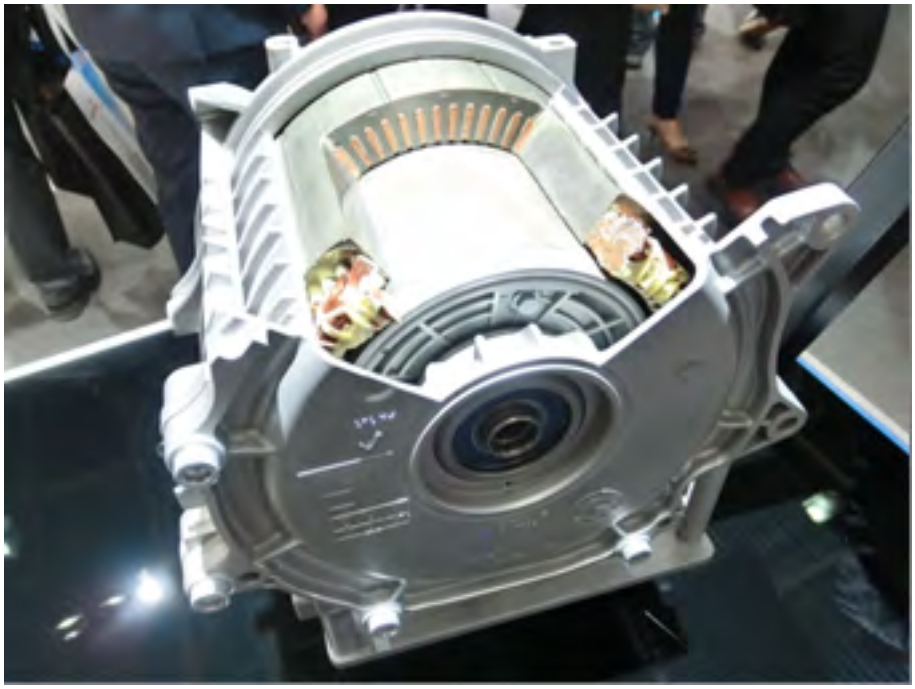


Rys. 2.6. Krzywa mocy i momentu elektrycznego BMW i3 [65].

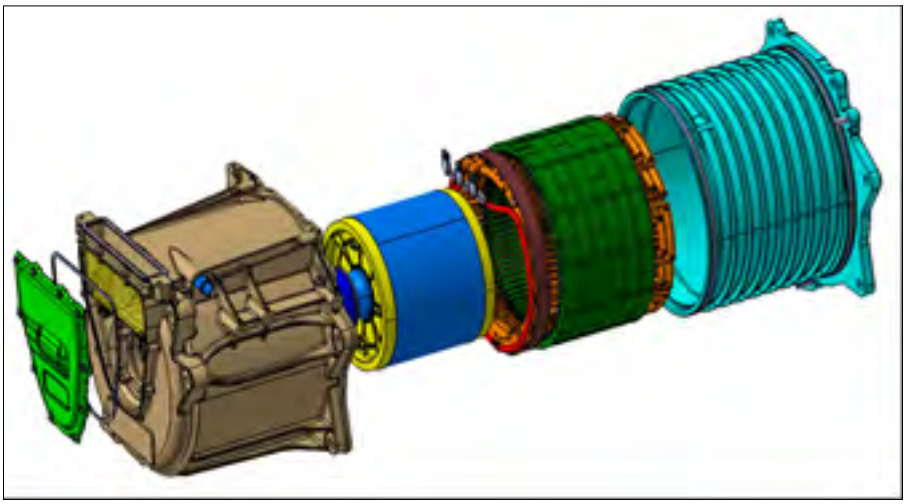


Rys. 2.7. Porównanie krzywej mocy i momentu elektrycznego BMW i3 oraz spalinowego BMW M3 [65].

Wygląd silnika elektrycznego BMW i3 został przedstawiony na rysunkach 2.8 i 2.9. Zasada konstrukcyjna, stojąca za silnikiem elektrycznym w BMW i3, pomaga mu niezwykle efektywnie pracować w szerokim zakresie obciążeń. Średnie zużycie energii przez silnik, wynoszące około 0,13 kWh na kilometr, w nowym europejskim cyklu jezdnym (NEDC) odgrywa kluczową rolę w optymalizacji zasięgu samochodu.



Rys. 2.8. Silnik elektryczny BMW i3 [71].



Rys. 2.9. Widok rozstrzelony silnika elektrycznego BMW i3 [71].

W zapewnieniu wrażeń z jazdy BMW i3 pomaga również funkcja sterowania jednym pedałem. Tryb rekuperacji jest aktywowany w momencie, gdy kierowca zdejmie nogę z pedału gazu. Silnik elektryczny przełącza się z trybu napędu w tryb generatora, dostarczając energię do akumulatora litowo-jonowego. Jednocześnie generuje precyzyjnie kontrolowany efekt hamowania.

Ta rekuperacja jest zależna od prędkości, co oznacza, że samochód „toczy się” z maksymalną wydajnością przy dużych prędkościach i generuje silny efekt hamowania przy ni-

skich prędkościach. Możliwość przyspieszania i hamowania za pomocą tylko jednego pedału tworzy wyjątkowo bezpośrednią interakcję między kierowcą a samochodem. Myślenie z wyprzedzeniem w ruchu miejskim może pozwolić kierowcy na wykonanie 75% manewrów hamowania bez wciskania pedału hamulca. Światła stopu zapalają się, jeśli stopień rekuperacji powoduje taki sam efekt hamowania, jak faktyczne naciśnięcie pedału hamulca. Tradycyjny układ hamulcowy włącza się do akcji tylko wtedy, gdy kierowca przywołuje większą siłę hamowania, naciskając pedał hamulca.

Intensywne wykorzystanie tej formy rekuperacji energii hamowania przez silnik zwiększa również zasięg BMW i3 aż o 20%. Funkcja „wybiegu" dodatkowo wzmacnia przyjazny dla użytkownika charakter sterowania jednym pedałem. Akcelerator BMW i3 ma wyraźną „neutralną" pozycję, tj. zamiast przełączać się bezpośrednio na odzyskiwanie energii, gdy kierowca zwolni pedał przyspieszenia, silnik elektryczny wykorzystuje sterowanie zerowym momentem obrotowym, aby odłączyć się od układu napędowego i wykorzystać tylko dostępną energię kinetyczną do napędu. W tym trybie BMW i3 ślizga się praktycznie bez zużycia energii.

Obecnie w wyposażeniu opcjonalnym jest dodatkowy silnik benzynowy, zwiększający zasięg. Spalinową jednostką napędową jest dwucylindrowy silnik benzynowy o pojemności 650 $cm^{3,}$ produkowany przez tajwańskiego producenta skuterów i motocykli – firmę Kymco.

Rys. 2.10. Układ napędowy BMW i3 [63].

Rys. 2.11. Układ napędowy BMW i3 z range extenderem [63].

System ma służyć jako awaryjne wsparcie, aby zwiększyć zasięg do następnego miejsca ładowania, a nie do podróży na duże odległości. Silnik o pojemności 647 cm^3 zamontowany w i3 REx ma obniżone parametry znamionowe w porównaniu z silnikiem o tej samej pojemności w C650 GT; silnik REx rozwija 34 KM (25 kW) i 55 Nm przy 4300 obr./min, osiągając tym samym zgodność z rygorystycznymi normami emisji spalin Euro 6. Silnik ten napędza generator, który z kolei ładuje akumulator wysokonapięciowy, dzięki czemu pojazd może dalej jeździć na energii elektrycznej.

Rys. 2.12.Silnik spalinowy range extendera w BMW i3 [70].

Tabela 2.1. Porównanie parametrów i osiągów BMWi3 bez i z range extenderem [66].

Wartości techniczne		BMW i3	BMW z range extender
Waga			
Masa własna	kg	1195	1315
BMW eDrive			
Silnik elektryczny synchroniczny			
Moc maksymalna	kW (KM)	125(170)	125(170)
Moc nominalna/obr.	kW (KM)/obr.	75(102)/4800	75(102)/4800
Maksymalny moment obrotowy	Nm		
Silnik			
Cylindry/zawory		-	2/4
Pojemność skokowa	cm^3	-	647
Skok tłoka/średnica tłoka	mm	-	66.0/79.0
Nominalna moc silnika/obr.	kW (KM)/obr.	-	28(38)/5000
Maksymalny moment obrotowy/obr.	Nm	-	56/4500
Standard emisji spalin		-	EU6
Osiągi			
Prędkość maksymalna	km/h	150	150
Przyspieszenie 0-60 km/h	s	3,7	3,9
Przyśpieszenie 0-100km/h	s	7,2	7,9
Przyśpieszenie 80-120km/h	s	4,9	5,5
Zużycie paliwa			
Cykl mieszany	l/100km	-	0,6
Emisja CO_2	g/km	0	13
Zużycie energii			
Cykl mieszany (NEDC)	kWh/100km	12,9	13,5
Średnie zużycie przeciętnego klienta	kWh/100km	14-17	15-18
Bateria wysokiego napięcia			
Typ baterii/pojemność	kWh	Li-ion/18.8	Li-ion/18.8
Zasięg w teście NEDC	km	190	170
Zasięg w normalnej jeździe	km	do 160	do 150
Dodatkowy zasięg z range extender	km	0	do 150
Zasięg całkowity w normalnej jeździe	km	do 160	do 300
Czas ładowania (szybkie DC)	h	<1	<1
Czas ładowania (szybkie AC z BMW i Wallbox Pure/Pro)	h	<5	<5
Czas ładowania (wolne AC z gniazda 230 V)	h	<8	<8

Baterie litowo-jonowe

Zasilanie napędu, jak również wszystkich innych funkcji pojazdu, zapewnia specjalnie opracowany wysokonapięciowy akumulator litowo-jonowy, który ponownie wyznacza nowe standardy w zakresie wydajności energetycznej. Inteligentny system ogrzewania/chłodzenia akumulatora wysokonapięciowego zapewnia, że na wydajność energetyczną (a tym samym zasięg pojazdu) mają mniejszy wpływ wahania temperatury niż w przypadku akumulatorów tego typu; w ten sposób ma to znaczący wpływ na wydajność i żywotność ogniw. Akumulator wysokonapięciowy objęty jest 8-letnią gwarancją lub 160 000 km (do 70% początkowej pojemności akumulatora).

Rys. 2.13. Pakiet baterii trakcyjnych w BMW i3 [61].

Akumulator litowo-jonowy umożliwia BMW i3 osiągnięcie zasięgu 80–100 mil (130–160 km) podczas codziennej jazdy. Można ją zwiększyć nawet o około 12% w trybie ECO PRO i ponownie o tę samą wartość w trybie ECO PRO+.

Oprócz akumulatora, BMW Group opracowała również liczne elementy systemu akumulatorów, w tym określone elementy, które zapewniają wzajemne połączenie samych ogniw, a także połączenie między systemem akumulatorów a pojazdem. Obejmują również zintegrowaną jednostkę sterującą i komponenty elektroniczne w pobliżu ogniw, w tym czujniki zarządzania baterią.

Oprócz zakupu ogniw bateryjnych od wyspecjalizowanego producenta, wszystkie etapy rozwoju i produkcji są realizowane w BMW Group. Akumulator wysokonapięciowy jest produkowany na najnowocześniejszej linii montażowej w fabryce BMW w Dingolfing.

Akumulator w BMW i3 składa się z ośmiu modułów (każdy z 12 osobnymi ogniwami), które razem wytwarzają napięcie znamionowe 360 V i generują około 22 kWh energii. W celu utrzymania wydajności ogniwa i pojemności magazynowania w czasie, system zarządzania akumulatorem kontroluje zarówno proces ładowania, jak i rozładowywania, a także temperaturę roboczą ogniw.

Gdy pojazd jest w ruchu, wszystkie ogniwa są jednakowo wykorzystywane do dostarczania energii. Istnieje jednak możliwość wymiany poszczególnych modułów w przypadku usterki. Płyn chłodzący do klimatyzacji służy do chłodzenia akumulatora wysokonapięciowego, a płyn ten można również podgrzać za pomocą wymiennika ciepła. Wszystkie te cechy umożliwiają osiągnięcie optymalnej temperatury roboczej wynoszącej około 20°C przed rozpoczęciem podróży, nawet przy niskiej temperaturze otoczenia.

To wstępne przygotowanie zapewnia optymalne działanie akumulatora pod względem mocy wyjściowej, zasięgu i trwałości. Grupa BMW zaplanowała i opracowała ten akumulator tak, aby działał przez cały okres eksploatacji pojazdu.

Akumulator jest zamontowany płasko w module drive i waży około 230 kg. Obudowa akumulatora i jej systemy mocowania, specyficzne dla modelu, zostały opracowane przez BMW Group, aby zapewnić akumulatorowi wysokonapięciowemu wszechstronną ochronę przed czynnikami środowiskowymi i w razie wypadku.

Trzy poziomy bezpieczeństwa, w tym mechanizm odcinający, dla oprogramowania i sprzętu samochodu zapewniają ochronę całego układu elektrycznego.

Elektroniczny układ sterowania

Elektroniczny układ sterowania odpowiedzialny za interakcję między akumulatorem i silnikiem elektrycznym został również opracowany przez BMW Group. Układ ten służy zarówno jako falownik do zasilania z akumulatora do silnika elektrycznego, jak i jako przetwornik napięcia współdziałający między akumulatorem wysokonapięciowym a pokładowym systemem zasilania 12 V.

Sterowanie programowe zapewnia możliwie najlepszy przepływ prądu w czasie odzysku energii podczas wybiegu. Działanie systemów ładowania akumulatorów jest również zintegrowane z elektroniką mocy, która reguluje moc ładowania od 3 kW do 50 kW, w zależności od źródła energii elektrycznej.

2.3.3. Ładowanie BMW i3

Dzięki BMW i Wallbox, BMW i Wallbox Plus oraz BMW i Wallbox Connect możliwe jest bezpieczne, szybkie i wygodne ładowanie BMW i3 w domu. W ciągu ok. trzech godzin bateria zostanie naładowana do 80% swojej pojemności. Jest to możliwe dzięki trójfazowej mocy ładowania nowego BMW i Wallbox do 11 kW (moduł Wallbox ma możliwość ładowania z mocą do 22 kW) w BMW i3.

Rys. 2.14. Ładowanie BMW i3 z Wallboxa [67].

W trosce o środowisko naturalne, możliwe jest korzystanie z modułów Wallbox z wykorzystaniem energii słonecznej lub innych form odnawialnych źródeł energii.

Koncern BMW udostępnił usługę Digital Charging Service (DCS), pozwalającą automatycznie ładować samochód po niskich cenach w oparciu o stawki za energię. Zmniejszają się dzięki temu koszty ładowania. DCS niezależnie kontroluje proces ładowania i zapewnia pełne naładowanie pojazdu w żądanym czasie. DCS ułatwia zrównoważone wykorzystanie energii odnawialnej przy pełnej przejrzystości. Dzięki BMW Connected DCS można bardzo łatwo obsługiwać za pomocą mobilnego urządzenia końcowego. W portalu ładowania BMW można uzyskać wgląd w aktualny plan ładowania, zużytą energię oraz pobrać historię ładowania.

BMW i3 umożliwia korzystanie z publicznych stacji ładowania na prąd zmienny (AC) lub stały (DC), co przedstawiono na rysunku 2.15. Pozwala to na elastyczne i jak najszybsze naładowanie pojazdu. Możliwe jest to dzięki temu, że w publicznej stacji ładowania prądu stałego energia jest przekazywana bezpośrednio do zasobnika wysokiego napięcia w akumulatorze pojazdu przy stałym natężeniu przepływu prądu. Dzięki temu BMW i3 można na-

ładować do 80% w ok. 45 minut. Alternatywnie, możliwe jest również naładowanie pojazdu na stacji ładowania AC do 80% w około trzy godziny. W związku z tym publiczne stacje ładowania AC są szczególnie przydatne podczas długich okresów postoju pojazdu, na przykład podczas zakupów.

Rys. 2.15. Ładowanie BMW i3 z szybkiej ładowarki DC.

2.3.4. Inteligentny system zarządzania energią

Aby zapewnić optymalny zasięg w każdej sytuacji na drodze, podczas projektowania BMW i3 szczególny nacisk położono na niskie zużycie energii przez podzespoły elektryczne. Na przykład system ogrzewania wnętrza oszczędza do 30% energii w porównaniu z konwencjonalnym systemem ogrzewania elektrycznego. Do oświetlenia wewnętrznego zastosowano energooszczędne diody LED, które są również dostępne jako opcja do oświetlenia zewnętrznego.

Ponadto, napęd elektryczny oferuje możliwość hamowania za pomocą pedału przyspieszenia. Jeśli kierowca zdejmie nogę z pedału przyspieszenia, silnik elektryczny przejmuje funkcję generatora i przekazuje energię uzyskaną z ruchu kół z powrotem do akumulatora wysokiego napięcia. Ta tak zwana rekuperacja energii generuje moment hamowania, który prowadzi do skutecznego wyhamowania pojazdu i opłaca się pod względem oszczędności energii w przypadku szczególnie przewidywalnego stylu jazdy.

Bmw i3 oferuje szeroki zakres inteligentnych systemów wspomagających jazdę.

Do systemów wspomagających jazdę należy zaliczyć:

- aktywny system kontroli trakcji z opcją Stop&Go,
- asystent kierowania i kontroli pasa ruchu,
- asystent jazdy w korku,
- asystent utrzymania pasa ruchu,
- system ostrzegania o opuszczeniu pasa ruchu,
- system ostrzegania o zmianie pasa ruchu,
- system Drive Assist i Drive Assist Plus,
- inteligentny system wizyjny,
- asystent parkowania.

Samochody elektryczne mają również elektryczne ogrzewanie. Nie mają silnika spalinowego, którego energię cieplną można by wykorzystać do ogrzewania wnętrza. To może ograniczać zasięg samochodu. Dlatego opracowany został, przydatny szczególnie zimą, innowacyjny system pompy ciepła pozyskujący energię z otaczającego powietrza. Oferowana opcjonalnie pompa ciepła włącza się automatycznie i ma nawet o 50% wyższą wydajność energetyczną niż konwencjonalne ogrzewanie. Zapewnia więc taki sam komfort cieplny, zwiększając przy tym zasięg w zależności od temperatury zewnętrznej nawet o 30%.

2.3.5. Produkcja BMW i3

BMW wdrożyło wydajne procesy produkcyjne i wykorzystuje materiały z recyklingu, aby zmniejszyć wpływ i3 na środowisko. BMW produkuje włókna węglowe, które stanowią podstawę nadwozia z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem węglowym i3 w nowej fabryce o wartości 100 milionów USD, zbudowanej w Moses Lake w stanie Waszyngton, przy użyciu surowca wysłanego z Japonii. Lokalizacja ta została wybrana w celu wykorzystania dużej mocy hydroelektrycznej dostępnej w tym regionie Stanów Zjednoczonych, ponieważ produkcja włókna węglowego wymaga znacznej energii, w przeciwnym razie emitowałaby dużo dwutlenku węgla. Włókno węglowe jest następnie wysyłane do Landshut w Niemczech, gdzie wytwarzane są elementy z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem węglowym, a linia montażowa pojazdów znajduje się w Lipsku (rysunek 2.16).

W listopadzie 2010 r. otwarto fabrykę w Lipsku, inwestując 400 mln euro (561 mln USD) do 2013 r. Fabryka znajduje się na terenie kompleksu BMW, który już produkuje warianty modelu serii 1. Koncepcyjna wersja BMW i3 coupé, odzwierciedlająca obecny stan rozwoju, została zaprezentowana podczas Salonu Samochodowego w Genewie w marcu 2013 roku. Pojazd produkcyjny został oficjalnie zaprezentowany jednocześ-nie w Nowym Jorku, Londynie i Pekinie 29 lipca 2013 r. Produkcja seryjna dla klientów detalicznych rozpoczęła się 18 września 2013 r., a pierwszy pojazd z linii produkcyjnej został przekazany niemieckiemu maratończykowi Janowi Fitschenowi. Samochód był czołowym pojazdem podczas Maratonu Berlińskiego 2013, 29 września.

Rys. 2.16. Linia produkcyjna BMW i3 [68].

Od lutego 2014 r. BMW produkowało średnio 70 samochodów dziennie, czyli mniej więcej połowę planowanej produkcji, przy niższej produkcji ze względu na wysoki wskaźnik defektów części węglowych. Późniejsza inwestycja w wysokości około 100 milionów euro w produkcję części węglowych miała na celu rozwiązanie problemów

z zaopatrzeniem. Według BMW w tamtym czasie było 11 000 zamówień, w tym 1200 od klientów z USA. W wyniku dużego popytu i powolnej produkcji czas oczekiwania na dostawę wydłużył się do września 2014 roku.

Od października 2017 r. produkcja BMW i3 wynosiła nieco ponad 120 samochodów dziennie. Pod koniec października 2017 roku 100-tysięczne BMW i3 zostało wyprodukowane w fabryce w Lipsku.

2.3.6. Tworzywa sztuczne w BMW i3

BMW i3 było pierwszym samochodem produkowanym masowo, którego większość konstrukcji wewnętrznej i nadwozie wykonano z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem węglowym (CFRP – z ang. *carbon-fiber reinforced plastic*). BMW skorzystało z braku przedniego silnika spalinowego, nadając i3 sportowy wygląd. Panele drzwiowe wykonane z włókien konopi, które zmieszane z tworzywem sztucznym pomagają obniżyć wagę każdego panelu o około 10%. Dodatkową dbałość o środowisko odzwierciedla opcjonalna skóra na siedzenia, garbowana ekstraktem z liści oliwnych oraz wykończenie deski rozdzielczej wykonanej z ekologicznego drewna, pochodzącego z certyfikowanych upraw w Europie.

Rys. 2.17. Monokokowe nadwozie i aluminiowe podwozie w BMW i3 [69].

W konstrukcji nowego pojazdu elektrycznego BMW i3 dużą rolę odegrały tworzywa sztuczne, dostarczone przez firmę BASF. Zostały one wykorzystane do produkcji kilku komponentów, jak np. oparcia przednich foteli, elementy wzmacniające wykonane z włókien węglowych oraz siedziska tylnej kanapy.

Model BMW i3 jest ogromnym skokiem w rozwoju przemysłu motoryzacyjnego, a inteligentne rozwiązania BASF mają tutaj istotne znaczenie. Oparcie siedziska w fotelu kierowcy i pasażera jest pierwszym formowanym wtryskowo i niepowlekanym elementem konstruk-

cyjnym wykorzystywanym we wnętrzu samochodu, wykonanym z poliamidu o widocznej powierzchni. Lekki, hybrydowy komponent waży zaledwie 2 kg. Oparcie wykonane jest z odpornego na promieniowanie UV poliamidu 6 Ultramid B3ZG8 UV. Materiał zapewnia odpowiednią sztywność, rozciągliwość i wytrzymałość w wymaganym zakresie temperatur: od -30 st. C do +80 st. C.

Rys. 2.18. Innowacyjne tworzywa sztuczne w wyposażeniu wnętrza BMW i3 [72].

Ważnym elementem jest dźwignia zwalniająca, która odpowiada za bezpieczeństwo w razie wypadku. Do jej produkcji wykorzystano specjalny materiał wzmocniony włóknem szklanym Ultramid Structure B3WG8 LF.

Oparcie zawdzięcza swój smukły kształt zastosowaniu uniwersalnego narzędzia symulacyjnego BASF Ultrasim we wczesnej fazie projektu. Dzięki dokładnej symulacji numerycznej materiałów stosowanych do produkcji oparcia, dźwigni zwalniającej i prowadnicy pasa, wyliczenia w zakresie zachowania w czasie zderzenia dokładnie pokryły się z kolejnymi testami rzeczywistymi.

Wykonane z włókna węglowego nadwozie BMW i3 posiada pomiędzy wewnętrzną a zewnętrzną powłoką elementy konstrukcyjne wykonane z PBT (politereftalanu butylenu). Największa część to tzw. komponent integralny, znajdujący się w tylnej części, pomiędzy karbonowymi powłokami nadwozia. Poza pełnieniem funkcji nośnej, komponent ten w przypadku zderzenia oddziela od siebie powłoki nadwozia.

Tworzywo PBT Ultradur B4040 G6 idealnie nadaje się do tych zastosowań ze względu na stabilność w zakresie odkształcania, niezależnie od panujących warunków klimatycznych i zapewnia niezbędną odporność na wyboczenia.

W pozostałych obszarach nadwozia wykorzystano również ponad dwadzieścia mniejszych komponentów z tworzywa Ultradur o łącznej masie ok. 9 kg. Służą do wzmocnienia konstrukcji i uzyskania lepszej akustyki wewnątrz pojazdu.

Samonośne siedzisko tylnej kanapy wyprodukowane zostało przy użyciu systemu poliuretanowego Elastolit. To tutaj po raz pierwszy w samochodzie produkcyjnym wykorzystano materiały z włókien węglowych w połączeniu z poliuretanową matrycą. Komponent łączy w sobie wiele funkcji, takich jak uchwyt na kubek czy schowek. Elastolit firmy BASF posiada bardzo szerokie okno przetwarzania, charakteryzuje się również wysoką wytrzymałością na zmęczenie i tolerancją na uszkodzenia. Dzięki specjalnym właściwościom materiału, istotny

element konstrukcyjny spełnia wymagania dotyczące bezpieczeństwa przy grubości zaledwie 1,4 mm.

Poliuretanowa pianka strukturalna Elastolit D stosowana jest jako materiał wzmacniający całą ramę dachu, w tym słupek A. Wysoko odporna na nacisk pianka wspomaga sztywność konstrukcji pojazdu.

W samochodzie BMW i3 wykorzystano również wiele innych elementów wykonanych z tworzyw sztucznych firmy BASF:

Materiały Ultramid, Ultradur oraz poliuretany wykorzystywane są w zastosowaniach z zakresu elektryki i elektroniki, np. skrzynka bezpieczników wyprodukowana z tworzywa Ultramid B3ZG3 o dobrych własnościach w zakresie sztywności i wytrzymałości na rozciąganie, a także złącza wysokiego napięcia wykonane z tworzywa Ultramid A3EG6. Ponadto do produkcji osłonek i dławików kablowych wykorzystuje się poliuretany Elastollan i Elastoflex.

We wnętrzu pojazdu półsztywna pianka PU Elastoflex E wykorzystywana jest do wypełniania tablicy rozdzielczej, natomiast poszycie słupka C wykonane jest w technologii Ultramid B3ZG3.

Dwa rodzaje pianek poliuretanowych Elastoflex E stosowane są do zapewnienia lepszej akustyki dachu; materiał znajduje się w podsufitce, tworząc rdzeń z kompozytu warstwowego, który wykazuje wysoką zdolność kształtowania termicznego i wysoką sztywność; pianka komórkowa Elastoflex E o niskiej gęstości wykorzystywana jest do wyciszania newralgicznych elementów pojazdu.

Przy produkcji modułów rozsuwanego dachu stosuje się odporny na promieniowanie UV i warunki atmosferyczne system hermetyczny Elastolit R 8919. Rama szyberdachu wykonana jest z tworzywa Ultradur B 4040 G6 – odpornej na deformację mieszanki PBT/PET.

Lekkie odbojniki sprężyn wyprodukowane z materiału Cellasto, specjalnego mikrokomórkowego elastomeru, znajdują się w przedniej i tylnej części zawieszenia BMW i3.

Design nowego BMW i3 współtworzy także dział powłok BASF, zapewniający dostawy lakieru bazowego w czterech kolorach dla nowej linii produkcyjnej modelu BMW i3 w fabryce w Lipsku. Powłoki spełniają wymagania w zakresie pokrycia komponentów dodatkowych oraz wykorzystywanych procesów lakierniczych.

Tak powszechne wykorzystanie tworzyw sztucznych w BMW i3 spowodowało niewiarygodne obniżenie masy własnej pojazdu. W porównaniu ze swoim odpowiednikiem renaultem zoe BMW i3 waży o prawie 300 kg mniej. Jest to masa odpowiadająca wadze na przykład pakietu baterii litowo-jonowych lub kompletowi pasażerów. Mała masa własna pojazdu przekłada się na dużo niższe niż u konkurencji zużycie energii.

2.3.7. Tryby jazdy BMW i3

W sportowym ustawieniu standardowym COMFORT zasięg BMW i3 wynosi od 130 do 160 kilometrów – w zależności od stylu jazdy, sytuacji na drogach i ukształtowania terenu na trasie. W trybie ECO PRO, który działa z dostosowaną charakterystyką pedału przyspieszenia i wymaga mniejszej mocy, możliwa droga przejechana wzrasta nawet o 20 kilometrów. Tryb ECO PRO+ jest specjalnie zorientowany na zasięg. Z tego powodu najwyższa prędkość BMW i3 jest w tym trybie redukowana do 90 km/h, a odbiorniki energii, takie jak ogrzewanie i klimatyzacja, są przełączane w tryb oszczędzania energii. W ten sposób w porównaniu z trybem COMFORT możliwy promień działania zwiększa się nawet o 40 km. Przycisk zmiany trybu pracy układu napędowego znajduje się na konsoli centralnej, jak to widać na rysunku 2.19.

Rys. 2.19. Konsola centralna BMW i3 [70].

Wbudowana karta SIM w BMW i3 to klucz, który odblokowuje usługi BMW ConnectedDrive dostępne w nowym modelu elektrycznym. Na przykład wprowadza usługi nawigacyjne, opracowane specjalnie w celu zwiększenia mobilności elektrycznej, obok znanych funkcji, takich jak centrum informacyjne Concierge Services i inteligentny system BMW Assist eCall.

Kierowcy mogą w dowolnym momencie korzystać z aplikacji BMW i Remote, aby udostępniać informacje swojemu samochodowi za pomocą smartfona. Funkcja nawigacji pieszej prowadzi kierowcę od miejsca parkingowego do miejsca docelowego i z powrotem, a BMW ConnectedDrive oferuje również intermodalne prowadzenie po trasie, uwzględniając połączenia lokalnego transportu publicznego w planowaniu podróży.

Usługi BMW ConnectedDrive zaprojektowane specjalnie dla BMW i3 koncentrują się na obszarach nawigacji i zarządzania energią. Asystent zasięgu jest zaangażowany zarówno w planowanie tras, jak i podczas już rozpoczętych podróży. Jeśli miejsce docelowe zaprogramowane w systemie nawigacji znajduje się poza zasięgiem samochodu, system sugeruje przełączenie na tryb ECO PRO lub ECO PRO+ i oblicza bardziej efektywną trasę. Jeśli kierowca musi naładować akumulator w publicznej stacji ładowania, wyświetlana jest lista dostępnych stacji w okolicy.

System nawigacji BMW i3 jest również wyposażony w wyświetlacz zakresu dynamicznego, który dostarcza kierowcy informacji o tym, czy poziom naładowania jest wystarczający, aby dotrzeć do celu, a jeśli tak, to ile mocy pozostanie na końcu podróży. W procesie obliczania, który przeprowadzany jest na serwerze BMW i przesyłany do systemu nawigacyjnego za pośrednictwem zainstalowanej w samochodzie karty SIM, bierze się pod uwagę wiele czynników wpływających na zasięg. Odczyt zasięgu prezentowany jest w postaci mapy pająków w systemie nawigacyjnym na centralnym wyświetlaczu informacyjnym.

Aplikacja BMW ConnectedDrive Remote dla BMW i3 umożliwia smartfonowi dostęp do przydatnych danych pojazdu do planowania podróży (rysunek 2.20). Jeśli BMW i3 jest podłączone do stacji ładującej, dopływem energii można sterować za pomocą smartfona, a funkcję klimatyzacji i ogrzewania akumulatora wysokonapięciowego można również aktywować zdalnie. Ponadto klienci mogą używać smartfona do wysyłania miejsc docelowych do systemu nawigacji w swoim samochodzie.

Rys. 2.20. Okno aplikacji BMW ConnectedDrive Remote [73].

Aplikacja pokazuje również stacje ładowania (zarówno dostępne, jak i używane) i może ustalić, czy samochód ma wystarczającą moc, aby do nich dotrzeć. Wyświetlany limit zasięgu samochodu na ekranie smartfona jest powtórzeniem informacji wyświetlanych przez system nawigacyjny samochodu.

BMW i3 jest również dostępne z szeregiem innych systemów wspomagających kierowcę BMW ConnectedDrive, opracowanych specjalnie w celu zwiększenia wygody i bezpieczeństwa w warunkach miejskich. Należą do nich asystent kierowcy plus, asystent parkowania, kamera cofania i informacja o ograniczeniach prędkości.

Driving Assistant Plus, który jest opcjonalnie dostępny dla BMW i3, obejmuje ostrzeżenie przed kolizją z funkcją zalewania hamulców, która jest aktywowana przy prędkościach do około 60 km/h i jest w stanie reagować zarówno na poruszające się, jak i zatrzymujące się pojazdy z przodu, a także pieszych. Jest również wyposażony w aktywny tempomat z funkcją Stop & Go.

Oprócz ostrzeżeń wizualnych i dźwiękowych, system jest ponadto zdolny do samodzielnego hamowania pojazdu, jeśli jest to wymagane, z maksymalną siłą hamowania.

Asystent parkowania wykonuje manewry kierowania w tym samym czasie, co sterowanie przyspieszeniem, hamulcem i wyborem biegów, umożliwiając w pełni zautomatyzowane parkowanie równoległe BMW i3. W BMW i3 dostępna jest również opcjonalna kamera cofania jako uzupełnienie standardowego Park Distance Control (PDC) z tylnymi czujnikami.

Kolejnym opcjonalnym dodatkiem jest asystent jazdy w korku, który pozwala kierowcom delegować zadania, polegające na ruszaniu, hamowaniu i kierowaniu, aby utrzymać pojazd na pasie ruchu. W międzyczasie w połączeniu z systemem nawigacji oferowany jest także system Speed Limit Info.

2.4. Rezultaty

BMW i3 jest autem doskonałym do car sharingu. Zapewnia bardzo duży komfort jazdy i jest niesamowicie dynamiczny. Car sharing z wykorzystaniem pojazdów elektrycznych jest coraz popularniejszy na całym świecie, a także w ostatnich latach w Polsce. Dlaczego car sharing jest dobrą alternatywą dla własnego samochodu? Odpowiada nam na to pytanie firma doradcza PwC [50].

Do najważniejszych czynników zachęcających do wyboru usługi car sharing jako środka komunikacji należą:

1. Wysoki koszt posiadania własnego samochodu. Zgodnie z szacunkami PwC roczny całkowity koszt posiadania (TCO) samochodu klasy średniej w Polsce, uwzględniający jego utratę wartości, paliwo za przejechanie 15 tys. km, serwis oraz ubezpieczenie wynosi ok. 15 tys. zł.
2. Substytucyjność usługi car sharing nie tylko względem posiadania własnego samochodu, ale również taksówek oraz transportu publicznego. Na porównywalnym dystansie średnia cena za przejazd tradycyjną taksówką jest niemal dwukrotnie wyższa niż przejazd samochodem w ramach usługi car sharing. W przypadku niewielkich odległości koszt przejazdu samochodem na minuty jest nieznacznie wyższy niż transport komunikacją miejską, dlatego wiele osób decyduje się na wybór usługi, która gwarantuje wysoki komfort oraz oszczędność czasu dzięki przejazdowi door to door.
3. Większa świadomość ekologiczna społeczeństwa. Według różnych szacunków jedno auto carsharingowe może zastąpić od 7 do 11 prywatnych samochodów, co wynika z faktu, że średnio samochód prywatny jest użytkowany przez godzinę dziennie, zaś pojazd w systemie car sharingu nawet do 10 godzin. W wielu miastach głównym źródłem zanieczyszczeń jest komunikacja samochodowa, dlatego zmniejszenie liczby samochodów w miastach znacznie przyczynia się do poprawy jakości powietrza. Zmniejszenie liczby samochodów przełoży się również na mniejsze zapotrzebowanie na miejsca parkingowe i pośrednio na zmniejszenie zagęszczenia ruchu.

Na przykładzie elektrycznego BMW i3 i firmy carsharingowej innogy GO! można zauważyć, że innowacyjne produkty i usługi mogą iść w parze.

3. Napęd elektrycznego pojazdu dostawczego ursus elvi

3.1. Klient

W przypadku pojazdów dostawczych o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony klientem jest zazwyczaj firma lub osoba fizyczna, prowadząca działalność gospodarczą. Tego rodzaju współpraca istnieje pomiędzy dużymi operatorami logistycznymi i indywidualnymi kurierami, świadczącymi dla nich usługi przewozowe.

3.2. Potrzeba

3.2.1. Wymagania Poczty Polskiej stawiane dostawczemu autu elektrycznemu

Poczta Polska (rysunek 3.1.) w najbliższych kilku latach zamierza wymienić flotę na pojazdy elektryczne. Decydującymi czynnikami są koszty eksploatacji oraz ekologia. Szczególny nacisk stawiany jest na ergonomię pojazdu, sposób ładowania towaru oraz łatwość jego rozmieszczenia. Istotna jest też ładowność pojazdu oraz wygoda kierowcy. Poczta Polska potrzebuje aut do wielu zadań. W swojej strukturze wykorzystuje pojazdy kurierskie, międzymagazynowe, dla listonoszy. Elvi z założenia miał być autem kurierskim i do przewozu listów między placówkami. Poczta Polska chciała samochód pojemny i ekonomiczny. Potrzebowała też cichych środków transportu do dostaw nocnych. Pojazd dla niej powinien mieć system szybkiego ładowania i zasięg co najmniej 100 km. Kryterium prędkości maksymalnej nie było decydujące.

Rys. 3.1. Poczta Polska – logo.

Lublin ma długą tradycję związaną z produkcją pojazdów użytkowych. Przy ulicy Mełgiewskiej kiedyś produkowano popularnego żuka, a następnie lublina. Po upadku Daewoo linię produkcyjną przejęła firma DZT Tymińscy i zaczęła produkować lekką, zmienioną, wersję lublina o nazwie handlowej pasagon. Wspólne zdjęcie pasagona i ursusa elvi przedstawiono na rysunku 3.2. Wydaje się, że wszystkie wymagania Poczty Polskiej spełnia ursus elvi.

Rys. 3.2. Porównanie pasagona (po lewej) i ursusa elvi (po prawej).

3.2.2. Założenia – wymagania poczty niemieckiej

Poczta niemiecka (rysunek 3.3) od dawna myślała o zmianie swojej floty samochodowej z silnikami Diesla na pojazdy elektryczne. Przemawiały za tym względy ekonomiczne i ekologiczne. Chciała dysponować pojazdami elektrycznymi specjalnie dostosowanymi do jej potrzeb. Przy tym pojazd taki nie mógł być drogi. Pierwsze założenia zakładały, że pojazd bez baterii i bez podatku VAT miał kosztować maksymalnie 5000 euro, a z tymi dodatkami nie przewyższać kwoty 10 000 euro. Nie udało się jednak spełnić tego warunku, dlatego dostawca usług logistycznych ściśle współpracował ze StreetScooter, specjalistą od e-mobilności w Aachen, aby opracować taki pojazd z przyjaznym dla środowiska napędem.

Do roku 2020, Deutsche Post DHL planuje poprawić swoją efektywność emisji CO_2 o 30% w porównaniu z rokiem 2007. Cele ochrony klimatu szczegółowo określone zostały w koncepcji „GoGreen”. Grupa chce to osiągnąć poprzez modernizację floty transportowej oraz wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Kluczową rolę odgrywa rozwój pojazdów z alternatywnymi koncepcjami napędu.

Poczta niemiecka testowała wiele pojazdów elektrycznych od wielu producentów. Żaden jednak nie spełniał pokładanych w nim nadziei. Chciała ona, żeby jej pojazdy jeździły bardziej ekologicznie. Zdecydowała się na wspólne opracowanie samochodu elektrycznego, zaprojektowanego specjalnie do wysyłki listów i paczek, we współpracy z Aachen StreetScooter GmbH. Pojazd ten, oparty miał być na istniejącej już „platformie StreetScooter” i przede wszystkim spełniać wymagania dostawcy usług logistycznych w zakresie codziennej użyteczności i ekonomii. Pojazd taki musi niezawodnie obsłużyć do 200 przystanków dziennie przez 300 dni w roku. Ponadto pożądana jest duża objętość ładunku oraz ergonomiczne wyposażenie, które spełnia wszystkie wymogi bezpieczeństwa.

Rys. 3.3. Deutsche Post – logo.

Dotychczas specjalne wymagania dotyczące e-pojazdu do miejskiej dostawy pocztowej są tylko częściowo spełnione przez pojazdy elektryczne, które były wcześniej dostępne na rynku. Szczególnie w produkcji, obecne napędy elektryczne nie są jeszcze wystarczająco ekonomiczne. Silnik dla pojazdu niemieckiej poczty nie musi osiągać dużych prędkości i powinien być używany tylko na krótkich dystansach. Przy takich założeniach można użyć baterii o niższej pojemności, co zwiększa ładowność pojazdu oraz znacznie obniża koszty produkcji.

3.2.3. Street Scooter jako odpowiedź na potrzeby poczty niemieckiej

Podwozie pojazdu

W pojazdach użytkowych bardzo ważnym zespołem jest podwozie. To ono definiuje przede wszystkim walory użytkowe takiego pojazdu. Walory te dotyczą zarówno kabiny, jak i skrzyni ładunkowej. Podwozie street scootera zostało przedstawione na rysunku 3.4. Widać, ze jest to podwozie podłużnicowe, ale nie na całej długości pojazdu. W przedniej części pojazdu podwozie ramowe tylne łączy się z kabiną, która stanowi element nośny przedniego zawieszenia. Dzięki takiej konstrukcji uzyskano nisko położoną kabinę, do której wsiada się jak do samochodu osobowego. Klasyczne pojazdy użytkowe o DMC mają podłużnice na całej długości i dużo wyżej umieszczoną kabinę.

Rys. 3.4. Podwozie street scootera na linii produkcyjnej [55].

Nadwozie pojazdu

Street scooter może mieć zabudowane różne typy nadwozia. Najpopularniejsze jest nadwozie kontenerowe, przedstawione na rysunku 3.5.

Rys. 3.5. Nadwozie street scootera [57].

Street scooter dostępny jest w trzech rozmiarach: jako kompaktowy wszechstronny WORK o łącznej długości 4,70 m, WORK L z możliwością przewiezienia ładunku o objętości 8 m^3 oraz w wersji WORK XL o długości 7 m i mieszczącej do 20 m^3 ładunku. Dostępne są w 3 różnych nadwoziach. Modele box i pick-up doskonale nadają się do wielu wymagań różnych branż (rysunek 3.6). Maksymalną elastyczność poza tym oferuje pure ze skrzynią zredukowaną do podwozia, którą można dowolnie zabudować i przystosować do własnych potrzeb.

Box		Pickup		Pure		WORK XL
WORK	WORK L	WORK	WORK L	WORK	WORK L	WORK XL
20/40	40	20/40	40	20/40	40	76
101/205	187	101/205	187	101/205	187	200*
720/585	905	720/585	890	900/765	1,135	1,150
4.3	8	–	–	–	–	20
85	85	85	85	85	85	90
35,950/40,950	45,450	33,950/38,950	43,450	31,950/36,950	41,450	–

Rys. 3.6. Rodzaje nadwozi street scootera [59].

Przemyślana koncepcja nadwozia street scootera jest absolutnie wyjątkowa wśród elektrycznych pojazdów użytkowych. Przednia maska, drzwi, zderzaki i dach są wykonane z zabarwionego tworzywa sztucznego. Są nie tylko wyjątkowo odporne na zarysowania i szczególnie wytrzymałe, ale również niedrogie w wymianie. Podobnie jak panele chroniące przed uderzeniami zamontowane na drzwiach kabin. Wszystko to redukuje koszty do minimum. Przedni zderzak, składający się z trzech oddzielnych segmentów z tworzywa sztucznego, opiera się na tej samej zasadzie. W większości przypadków uszkodzenie nie wymaga wymiany całego zderzaka. Testy zderzeniowe, które zostały przeprowadzone, udowodniły, że

street scooter przewyższa wymogi prawne dotyczące ochrony pasażerów przed uderzeniami z przodu i z boku. A konstrukcja z tworzywa sztucznego lepiej chroni pieszego, co udowodniono w crash testach (rysunek 3.7).

Rys. 3.7. Crash test street scootera [58].

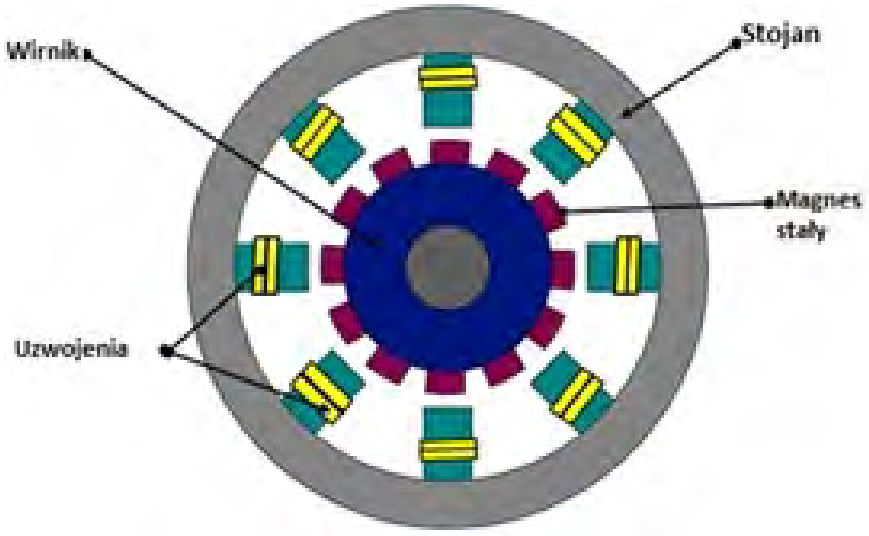
Schludny, prosty kokpit zapewnia dobry przegląd tablicy wskaźników i dobry dostęp do włączników. Ergonomicznie zaprojektowana kabina z podwyższonym miejscem do siedzenia oferuje miejsce dla 2 osób. Została specjalnie opracowana pod kątem wymagań operacji biznesowych (rysunek 3.8). Na przykład boczne wycięcie siedzenia kierowcy jest spłaszczone, aby umożliwić płynniejsze wchodzenie i wychodzenie z kabiny. Dzięki standardowym podgrzewanym fotelom, podgrzewanej przedniej szybie i podgrzewanym lusterkom wstecznym street scooter oferuje najwyższy komfort.

Rys. 3.8. Wnętrze street scootera [58].

Silnik elektryczny

Street Scooter w swoich pojazdach zastosował silniki synchroniczne z magnesami trwałymi (PMSM). Zwykle stosowane w silnikach o wysokiej wydajności i wysokiej sprawności. Wysokowydajne sterowanie silnikiem charakteryzuje się płynnym obrotem w całym zakresie prędkości silnika, pełnym sterowaniem momentem przy zerowej prędkości oraz szybkim przyspieszaniem i zwalnianiem. Aby osiągnąć taką kontrolę, stosuje się techniki sterowania wektorowego dla silników synchronicznych PM. Techniki sterowania wektorowego są zwykle określane jako sterowanie polowe (FOC). Podstawową ideą algorytmu sterowania wektorowego jest rozłożenie prądu stojana na część generującą pole magnetyczne i część generującą moment obrotowy. Oba składniki można kontrolować oddzielnie po rozpadzie. Następnie struktura kontrolera silnika (wektor kontrolera sterowania) jest prawie taka sama, jak oddzielnie wzbudzony silnik DC, co upraszcza sterowanie silnikiem synchronicznym z magnesem trwałym.

Silnik ten pozwala na uzyskanie mocy na poziomie 48 kW, czyli 65 KM (rysunek 3.9). Jego maksymalny moment obrotowy wynosi 200 Nm. Pozwala on na rozpędzenie samochodu maksymalnie do 85 km/h.



Rys. 3.9. Silnik elektryczny street scootera [57].

Baterie trakcyjne

Street Scooter w swojej ofercie posiada dwa rodzaje baterii. Są to baterie litowo-jonowe o pojemności energetycznej wynoszącej 20 kW lub 40 kW (rysunek 3.10). W zależności od warunków i sposobu użytkowania, baterie pozwalają na przejechanie od 50 do 80 km na jednym ładowaniu.

Do ich ładowania używany jest system typu 2, tj. 12 A 230V. Czas ładowania dla mniejszej baterii wynosi około 6 godzin, a dla 40 kW 11 godzin.

Rys. 3.10. Pakiet baterii street scootera [59].

Skrzynia ładunkowa

Street scooter posiada trzy podstawowe wersje skrzyni ładunkowej: box, pick-up, pure. Najbardziej pojemna jest wersja box. Jest to skrzynia umieszczona powyżej kół, co daje całkowicie płaską podłogę (rysunek 3.11). To pozwala w sposób ergonomiczny wykorzystać całą przestrzeń. Dla wygody użytkowników zostały zamontowane przesuwne drzwi boczne, duża tylna klapa oraz oświetlenie LED.

Wymiary skrzyni różnią się w zależności od wersji samochodu, dla wersji work długość wynosi 2055 mm a objętość 4,3 m^3. Pomieści zatem 3 palety do 720 kg łącznie. Wersja work L jest wydłużona aż do 5784 mm, co zwiększa objętość do 9 m^3, ładowność została również zwiększona i wynosi 905 kg.

Rys. 3.11. Street scooter – kontener [60].

Pick-up (rysunek 3.12) charakteryzuje się lekką aluminiową konstrukcją z rozkładanymi bocznymi burtami oraz 18-mm antypoślizgową podłogą. Ładowność dla wersji work o długości skrzyni 2087 to 620 kg, a wersji L dłuższej o ponad metr to 890 kg.

Rys. 3.12. Street scooter – skrzynia ładunkowa [60].

Najbardziej elastyczna jest wersja pure (rysunek 3.6). Ta wersja posiada jedynie stalową ramę, którą można dostosować do własnych potrzeb. Firma StreetScooter uzupełnia tę wersję gotowymi projektami różnego typu skrzyń, np.: chłodni, wywrotki, plandeki, samochodu serwisowego.

Komercjalizacja i produkcja street scootera

Poziom zainteresowania street scooterem przez firmy z dużymi flotami, handlowcami i przedsiębiorstwami komunalnymi jest ogromny. Zatwierdzenie produkcji wielkoseryjnej oznacza, że przy wypełnianiu zamówień flotowych duża liczba pojazdów może być bez problemu wprowadzana na drogę, w tym za granicą. Biorąc pod uwagę rosnące wielkości produkcji, jest to naprawdę ważny krok. Oprócz istniejącego zakładu produkcyjnego w Aachen, Street Scooter uruchomił drugi zakład produkcyjny w Düren pod koniec maja 2018 roku. Zwiększyło to zdolność produkcyjną firmy do 20 000 elektrycznych samochodów dostawczych rocznie [56].

Zatwierdzenie produkcji wielkoseryjnej dotyczy również innych krajów Unii Europejskiej (UE) oraz Szwajcarii i Norwegii. To znacznie ułatwia rejestrację pojazdów street scooter również w państwach spoza UE. Street Scooter ma już pojazdy na ulicach w różnych krajach UE. Brytyjski dostawca mleka Milk & More kupił w maju 2018 roku 200 skuterów ulicznych. DHL korzysta ze skuterów ulicznych do dostaw w Austrii i Holandii.

Linię produkcyjną street scootera przedstawiono na rysunku 3.13.

Rys. 3.13. Street scooter – linia produkcyjna w Aachen [56].

3.3. Rozwiązanie

3.3.1. Polska odpowiedź na potrzeby rynkowe – ursus elvi

Wzorem niemieckiej poczty i niemieckiego przemysłu motoryzacyjnego również strona polska postanowiła sama zaspokoić zapotrzebowanie rodzimego rynku na elektryczne auta dostawcze. Wyzwania podjęła się lubelska firma Ursus, znana przede wszystkim z produkcji ciągników i maszyn rolniczych.

Tak jak w przypadku pojazdów osobowych kategorii M istnieją na rynku konstrukcje pojazdów elektrycznych zbudowane od podstaw, tak w proponowanej kategorii N istnieje na rynku ewidentna nisza. Firma Ursus SA postanowiła zbudować elektryczny pojazd dostawczy od podstaw. Badania i rozwój pojazdu uwzględniają realizację wszystkich poziomów gotowości technologicznej (TRL) – tabela 3.1.

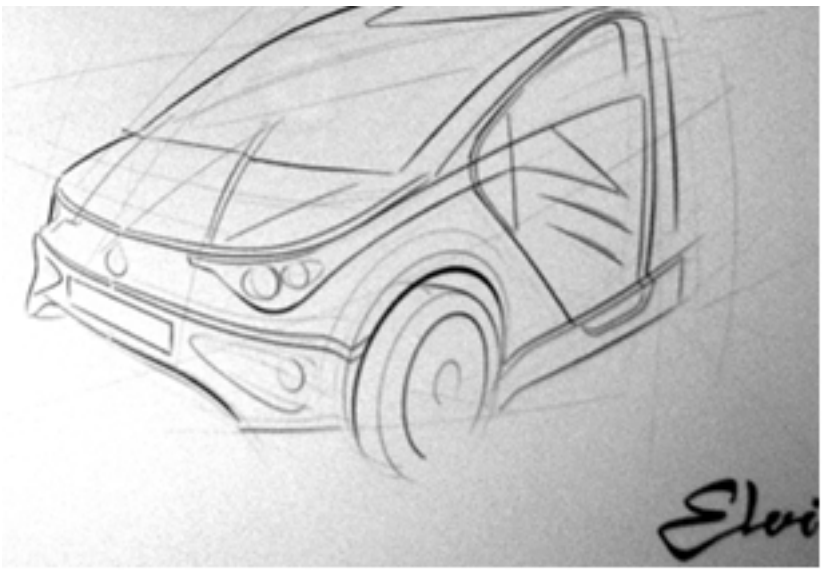
Badania nad innowacyjnymi produktami zazwyczaj są podzielone na dwie części (patrz tabela 3.1):

- Prace przemysłowe (TRL3 – TRL6).
- Badania rozwojowe (TRL7 – TRL9).

Tabela 3.1. Poziomy gotowości technologicznej [18]

Stopień TRL	Zakres badań i prac
TRL 1	Zaobserwowano podstawowe zasady danego zjawiska
TRL 2	Określono koncepcję technologii
TRL 3	Technologia została potwierdzona analitycznie i eksperymentalnie
TRL 4	Zweryfikowano technologię w warunkach laboratoryjnych
TRL 5	Technologię zweryfikowano w środowisku zbliżonym do rzeczywistego
TRL 6	Dokonano demonstracji technologii w warunkach zbliżonych do rzeczywistych
TRL 7	Dokonano demonstracji technologii w warunkach zbliżonych do operacyjnych
TRL 8	Zakończono badania i demonstrację ostatecznej formy technologii
TRL 9	Uruchomiono produkcję na skalę przemysłową na podstawie opracowanej technologii

Każdy projekt zaczyna się od serii szkiców, ukazujących ogólny kształt pojazdu oraz charakterystyczną formę nadwozia. Wykorzystywane są one zarówno do komunikacji wewnątrz firmy, jak i służą przedstawieniu pierwszych konceptów potencjalnym odbiorcom. Autorem designu na poziomie koncepcji i poszczególnych prototypów jest Grzegorz Czechowski, będący również autorem designu dla najnowszych traktorów marki Ursus. Przykładowy szkic pojazdu koncepcyjnego ursus elvi przedstawiono na rysunku 3.14.



Rys. 3.14. Szkic pojazdu koncepcyjnego ursus elvi [18].

Po zaproponowaniu poglądowych, szkicowych kształtów, zaczyna się proces modelowania za pomocą narzędzi do edycji powierzchni w środowisku modelowania 3D. Większość elementów modelowana jest jako osobne części i później składana w całościowe złożenie. Już na tym etapie projektanci Ursus SA uwzględniają uwarunkowania technologiczne (jak np. możliwość wyjęcia z formy, nadanie promieni powierzchniom, zachowanie odpowiedniej grubości etc.).

Model w skali 1:1 pojazdu koncepcyjnego ursus elvi zaprezentowano podczas targów pojazdów użytkowych w Hanowerze wiosną 2017 roku (rysunek 3.15). Model został wykonany technikami szybkiego prototypowania. Wykonanie pojazdu koncepcyjnego technikami przyrostowymi potwierdza potencjał polskich firm w tym obszarze. Z założenia miał to być nowoczesny, kompaktowy pojazd dostawczy (o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony, przy ładowności na poziomie 1100 kg, osiągający prędkość 100 km/h) o zasięgu (na w pełni naładowanych bateriach) około 150 kilometrów. Ładowność i zasięg pojazdu mają być odpowiedzią na zapotrzebowanie rynkowe w zakresie dystrybucji miejskiej i pozamiejskiej.

Futurystyczne kształty, mocno przeszklona kabina i długa maska ze światłami w technologii LED sprawiają, że jest to bardzo charakterystyczny design i trudno pomylić go z innym. Według pierwotnych założeń producenta, wysokość pojazdu nie będzie przekraczała 2 metrów.

Rys. 3.15. Pojazd koncepcyjny ursus elvi na targach Hannover Messe 2017 [18].

W ciągu pół roku inżynierowie z firmy Ursus rozwinęli pojazd z poziomu pojazdu koncepcyjnego, wykonanego w technologii druku 3D, do prototypu jeżdżącego nr 1, który został zaprezentowany na Kongresie 590 jesienią 2017 roku (patrz rysunek 3.16).

Rys. 3.16. Prototyp nr 1 pojazdu ursus elvi na Kongresie 590.

Coraz krótszy czas życia produktów oraz wymogi związane z ich innowacyjnymi własnościami, wymuszają zmianę podejścia do ich projektowania. Na przykład czas projektowania nowych modeli pojazdów został skrócony w ostatnich latach do 18 miesięcy, w stosunku do 6 lat występującego na przełomie wieków. Skrócenie czasu rozwoju produktu od koncepcji do wprowadzenia gotowego produktu na rynek jest możliwe dzięki komputerowemu wspomaganiu procesu projektowania i prototypowania. W erze globalizacji wszechstronne wykorzystanie narzędzi informatycznych oraz zautomatyzowanych procesów produkcji wpływa korzystnie na innowacyjność i konkurencyjność, istniejących specjalizacji oraz tworzenie nowych. Proces szybkiego projektowania wymaga posiadania programów do komputerowego wspomagania projektowania, skanerów i drukarek 3D oraz wspomaganego komputerowo wytwarzania części na maszynach sterowanych numerycznie.

Design kabiny i wnętrza

Metalowe poszycia drzwi, błotników, maski, pasa przedniego oraz zderzaka w wersji docelowej zastąpią elementy polimerowe (przedstawione na rysunku 3.17). Najbardziej odpowiednią technologią, ze względu na koszty i efekt wizualny, wydaje się być termoformowanie próżniowe tworzyw termoplastycznych, takich jak na przykład ABS. Zapewni to elementom poszycia zewnętrznego odporność na korozję. Ponadto technologia ta nie wymaga malowania powierzchniowego w celu uzyskania atrakcyjnego wyglądu. Wprowadzenie elementów polimerowych przyczyni się również do redukcji masy pojazdu.

Rys. 3.17. Wizualizacja 3D elementów poszycia kabiny [18].

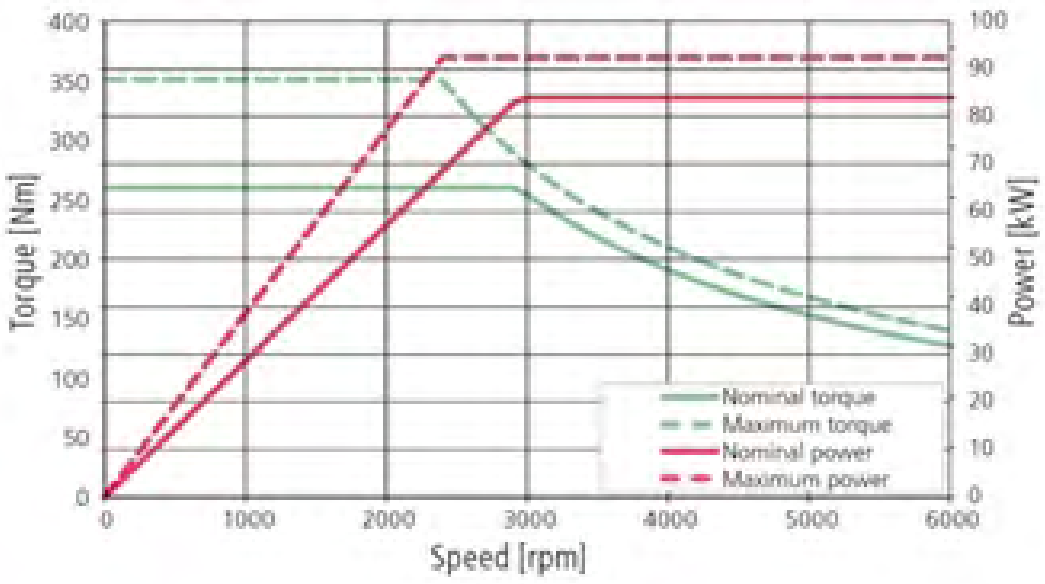
Dla pojazdu ursus elvi zaprojektowano również deskę rozdzielczą, przedstawioną na rysunku 3.18. Dla prototypu nr 1 deska została wykonana w technologii druku 3D z wykorzystaniem własnej wielkogabarytowej drukarki 3D. Docelowa deska rozdzielcza będzie zawierała dwa wyświetlacze ciekłokrystaliczne. Pierwszy z nich, umieszczony za kołem kierownicy, będzie tablicą wskaźników i kontrolek dla kierującego. Przejmie także funkcje wyświetlania parametrów napędu elektrycznego w postaci prędkości silnika, poboru i oddawania mocy przez silnik oraz stanu naładowania baterii trakcyjnych. Drugi, w formie dotykowego tabletu o przekątnej 10”, będzie przeznaczony do sterowania układem wentylacji, klimatyzacji, nawigacji oraz radia samochodowego.

Rys. 3.18. Wizualizacja 3D elementów deski rozdzielczej [18].

Elektryczny układ napędowy

Zadaniem elektrycznego układu napędowego jest efektywne przekazywanie napędu na koła jezdne w każdych warunkach pracy pojazdu dostawczego. W XXI wieku dostępnych jest wiele komponentów do zbudowania elektrycznego układu napędowego. Najważniejszą jego składową będzie silnik elektryczny, którego parametry będą decydować o przydatności do napędu pojazdu dostawczego o DMC 3,5 tony. Zgodnie ze światowymi i europejskimi trendami, zarówno w produkcji samochodów osobowych, jak i autobusów, powinien być to silnik synchroniczny z magnesami trwałymi (PMSM z ang. *Permanent-Magnet Synchronous Motor*). Silniki synchroniczne wzbudzane magnesami trwałymi posiadają wiele zalet w stosunku do silników asynchronicznych (indukcyjnych). Należą do nich między innymi duża sprawność oraz duży moment obrotowy, dostępny od niskich prędkości obrotowych. Konstrukcje te z pewnością można nazwać energooszczędnymi i niezawodnymi. Silniki elektryczne pojazdów dostawczych powinny być przystosowane do zmiennego obciążenia tych napędów, tzn. mieć niezmienną sprawność w dużym zakresie zmian obciążenia pozwalającą na racjonalizację zużycia energii.

Przykładowa charakterystyka silnika elektrycznego typu PMSM została przedstawiona na rysunku 3.19. Zazwyczaj są to silniki o bardzo kompaktowej budowie w celu zajmowania jak najmniejszej ilości miejsca w pojeździe. W tego typu silnikach na osiągi nominalne, jak i szczytowe, ogromnie wpływa efektywność chłodzenia silnika.



Rys. 3.19. Charakterystyka silnika typu PMSM.

Baterie trakcyjne i system ładowania

Kolejnym kluczowym komponentem elektrycznego pojazdu dostawczego są baterie trakcyjne. Najbardziej ich rozpowszechnioną technologią, wykorzystywaną w motoryzacji, są baterie litowo-jonowe dostępne w wielu odmianach. Zdaniem inżynierów z Ursusa SA, do zbudowania względnie taniego, ale bardzo niezawodnego systemu gromadzenia energii o dużej pojemności, powinny posłużyć baterie litowo-jonowe typu NMC (*lithium nickel manganese cobalt oxide battery* – LiNiMnCoO2 lub NMC), które z powodzeniem stosowane są w elektrycznych autobusach produkowanych przez Ursus Bus. Pakiet baterii o pojemności energetycznej 60 kWh zapewnia pojazdowi o DMC 3,5 tony autonomię od 150 do 200 km na jednym ładowaniu. System ładowania CCS Combo 2 zapewnia możliwość szybkiego ładowania baterii.

Pojazd będzie ładowany prądem stałym za pomocą ładowarek zewnętrznych o mocy od 10 do 250 kW za pomocą gniazda przedstawionego na rysunku 3.20.

Rys. 3.20. Gniazdo ładowania prądem stałym.

Przestrzeń ładunkowa

Według danych producenta tył pojazdu może być zabudowany w platformę, chłodnię, skrzynię, wywrotkę lub kontener. Ze względu na elastyczność zabudowy pojazdu dostawczego może być on wykorzystywany w wielu obszarach.

Na rysunku 3.21 przedstawiono pojazd ursus elvi z zabudową kontenerową. Powierzchnia podstawy jest w stanie pomieścić 4 europalety.

Rys. 3.21. Zabudowa kontenerowa pojazdu dostawczego ursus elvi [52].

Elvi zaprojektowano w wersji trzyosobowej. Tył pojazdu może być zamieniony w chłodnię, plandekę, kontener lub otwartą skrzynię. Może znaleźć się na wyposażeniu firm, zajmujących się wywozem odpadów, przewozem paczek, budownictwem czy dostawą żywności.

Nic nie stoi na przeszkodzie, by taki pojazd skonstruować na potrzeby służb medycznych czy straży pożarnej. Dzięki temu grono potencjalnych odbiorców może być bardzo szerokie. Największe szanse dla pojazdu pokładane są w usługach kurierskich. Na poziomie prototypu nr 1 masa całkowita pojazdu wynosi 3,5 tony, zaś ładowność 1100 kg. Na pełnej baterii pojazd może przebyć 150 km, co odpowiada zapotrzebowaniu firm i spółek bazujących w obrębie jednego miasta. Maksymalna prędkość pojazdu przewidziana przez producenta to 100 km/h.

Podsumowanie

Przy rozwoju pojazdu ursus elvi projektanci i konstruktorzy postawili na atrakcyjny design i nowoczesne rozwiązania technologiczne. Dzięki ich zastosowaniu pojazd charakteryzował się będzie następującymi cechami:

- Cichy i dynamiczny ze względu na zastosowanie elektrycznego napędu bez skrzyni biegów.
- Energooszczędny ze względu na zastosowanie wysokosprawnego silnika elektrycznego typu PMSM oraz aerodynamicznej konstrukcji kabiny.
- Posiadający pakiet baterii zdolnych zapewnić zasięg ponad 150 km z możliwością szybkiego ich ładowania prądem stałym.
- Łatwy w obsłudze i tani w eksploatacji.
- Posiadający możliwość elastycznej zabudowy różnych typów skrzyń ładunkowych.
- Niska kabina (poniżej 2 m) pozwoli na wjazd do większości parkingów podziemnych w celu garażowania, dystrybucji towaru oraz ładownia baterii.

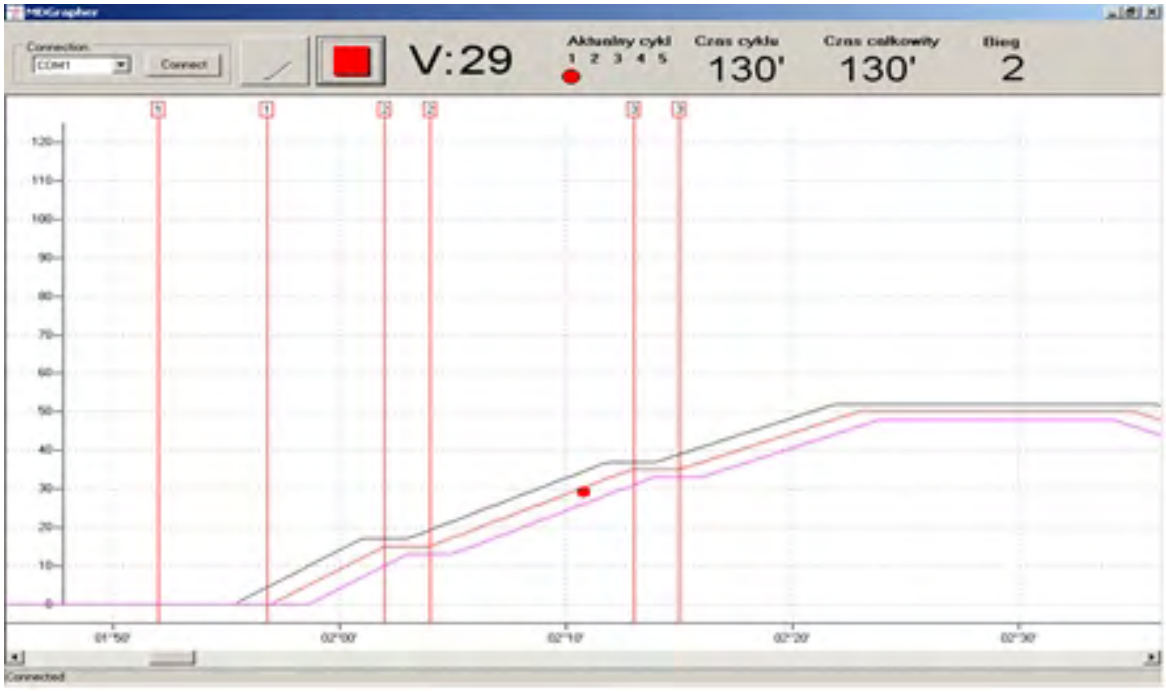
Testowany w warunkach drogowych prototyp pojazdu ursus elvi można już spotkać na ulicach Lublina. Firma Ursus SA rozpoczęła już całopojazdowe badania homologacyjne przedmiotowego pojazdu.

3.3.2. Badania zasięgu ursus elvi

Badania autonomii EV w warunkach laboratoryjnych odbywają się na hamowni podwoziowej, na której odwzorowuje się warunki ruchu związane ze współpracą kół napędowych z nawierzchnią drogi oraz z oporami jazdy. Autor w badaniach wykorzystywał hamownię podwoziową firmy V-Tech. Jest to hamownia jednoosiowa z hamulcem elektrowirowym. Obciążenie silnika realizowane jest za pośrednictwem: hamulca elektrowirowego, masy rolek, oporów toczenia oraz oporów mechanizmu napędowego. Jedną z funkcji hamowni podwoziowej jest tzw. cykl jezdny (*road test*). Umożliwia on hamowanie obciążeniowe z symulacją oporów powietrza, oporów toczenia i oporów bezwładności pojazdu, co stanowi odwzorowanie rzeczywistych oporów ruchu, występujących na drodze. W myśl Regulaminu 83 EKG ONZ hamownia wyposażona w taki moduł stanowi tzw. hamownię podwoziową ze stałą krzywą oporów i po przeprowadzeniu odpowiedniego wzorcowania może być użyta do realizacji testów jezdnych NEDC. W oknie programu (na rysunku 3.22) widnieją pola, w których wpisuje się m.in. masę pojazdu, współczynnik oporów powietrza, pole powierzchni czołowej pojazdu. Wpisując odpowiednie wartości tych parametrów dokonuje się wzorcowania hamowni podwoziowej.

Rys. 3.22. Okno programu DynaV-Tech, tryb pracy – hamowanie obciążeniowe z symulacją oporów jazdy.

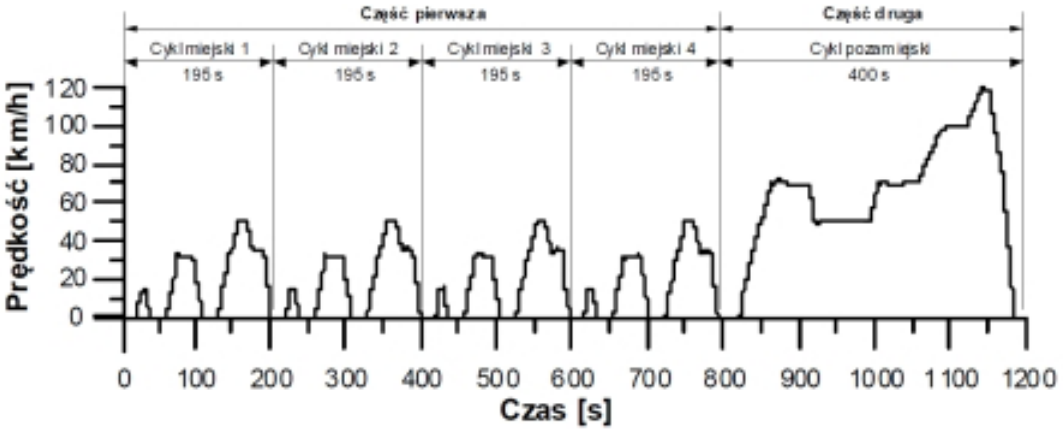
System nadzorczy testu służy do zadawania odpowiedniej prędkości pojazdu. Jest to napisany w języku C++ software, wyświetlający na ekranie monitora żądaną wartość prędkości pojazdu (linia czerwona), odchyłkę górną (linia granatowa), odchyłkę dolną (linia różowa), prędkość rzeczywistą pojazdu (czerwony punkt) a także momenty wysprzęgleń i zmian biegów. Dodatkowo na ekranie jest wyświetlany aktualnie realizowany cykl jezdny i czas jego trwania oraz czas całkowity testu. System ten został zrealizowany zgodnie z wszystkimi wytycznymi zawartymi w Regulaminie nr 83.



Rys. 3.23. Okno systemu nadzorczego testu NEDC [materiał własny].

Dla kategorii pojazdów M1 testem homologacyjnym jest badanie ECE opisane w Regulaminie 83 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych. Na hamowni podwoziowej realizowany jest test jezdny NEDC, przedstawiony na rysunku 3.24. Jest on obowiązującym testem jezdnym w krajach Unii Europejskiej i do tej pory służył do badania emisji spalin według norm Euro oraz do określenia zużycia paliwa na podstawie emisji CO_2.

NEDC jest odpowiedni ze względu na szeroki zakres pracy silnika (od biegu jałowego, przez cykle jezdne miejskie aż po cykl pozamiejski), jak i dużą powtarzalność obciążeń.



Rys. 3.24. Przebieg testu NEDC.

Test jezdny (NEDC – *New European Drive Cycle*) składa się z pięciu cykli, czterech miejskich (UDC – *Urban Drive Cycle*) oraz jednego pozamiejskiego (EUDC – *Extra Urban Drive Cycle*). Rozpoczyna się od rozruchu zimnego silnika. W teście tym samochód przejeżdża drogę około 11 km w czasie 1180 sekund ze średnią prędkością 33,6 km/h, osiągając maksymalną prędkość 120 km/h.

Zasięg wybranych pojazdów elektrycznych, badany w teście NEDC i warunkach rzeczywistych, przedstawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Autonomia pojazdów elektrycznych [9]

Marka i model pojazdu	Zasięg NEDC [km]	Zasięg rzeczywisty [km]
Renault twizy, bateria 6,1 kWh	100	70
Renault zoe, bateria 41 kWh	400	300
Renault kangoo Z.E., 33 kWh	270	200
Renault master Z.E., 33 kWh	200	120
BMW i3, 33,8 kWh (94 Ah)	300	200
Nissan leaf I, 24 kWh	199	150
Nissan leaf I, 30 kWh	250	200
Nissan leaf II, 40 kWh	378	250
Volkswagen e-golf, 36 kWh	300	200
Tesla model S 75D, 75 kWh	490	310
Tesla model S 100D, 100 kWh	632	399
Tesla model 3, 75 kWh	744	496
Chevrolet bolt EV, 60 kWh	520	380

Ze względu na odbiegające wyniki testu NEDC w porównaniu z jazdami rzeczywistymi, ostatnimi czasy przyjęto zupełnie nową procedurę badawczą o nazwie WLTP (ang. *Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*). WLTP będzie obowiązywać w krajach Unii Europejskiej, Japonii i Indiach, przy czym w Unii Europejskiej producenci pojazdów będą musieli podawać wyniki testu WLTP nie później niż od początku września 2018 roku.

Od stycznia 2018 r. rozpoczęto sprzedaż pojazdów homologowanych zgodnie z nową procedurą WLTP. Od września 2018 r. wszystkie samochody sprzedawane przez sieci salonów sprzedaży muszą mieć homologację WLTP. Jedyny wyjątek stanowi w tym przypadku

określona końcowa partia produkcji samochodów, których sprzedaż może trwać do września 2019 roku. Od września 2019 roku przepisami WLTP są również objęte lekkie pojazdy dostawcze o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony.

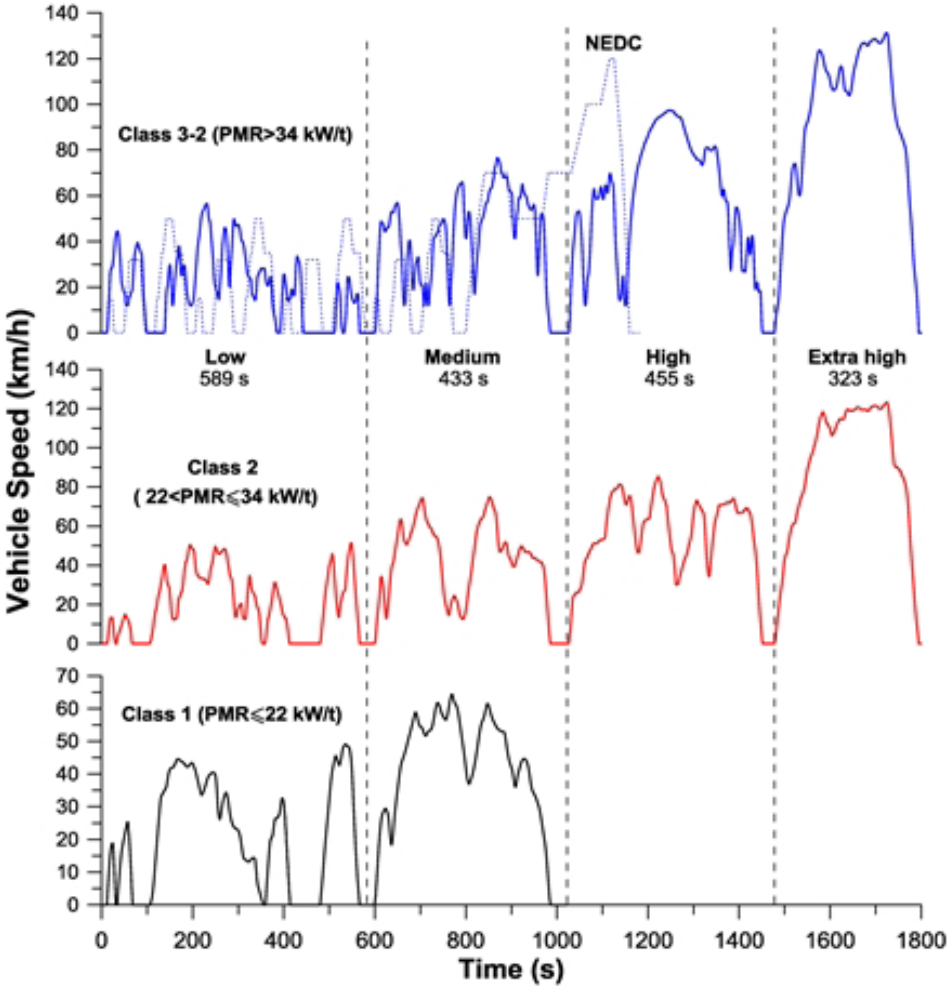
Jak się należy spodziewać, w okresie przejściowym zapewne będą podawane wyniki z obydwu testów: NEDC i WLTP.

Dzięki nowej metodzie badania WLTP będzie możliwe uzyskanie zbioru danych bardziej odpowiadającego warunkom jazdy w rzeczywistości. Dotyczyć to będzie zarówno emisji spalin i zużycia paliwa w przypadku pojazdów z silnikami spalinowymi oraz zużycia energii w przypadku pojazdów elektrycznych. Mówiąc krótko, wynik testu WLTP będzie bliższy wartościom, jakie można osiągnąć w codziennej jeździe.

Na przykład nowy test jest przeprowadzany w szerszym zakresie temperatur, trwa dłużej i obejmuje więcej niż dwukrotność dystansu jazdy testowej w ramach NEDC. Aby dokładniej odzwierciedlić typowe warunki jazdy, nowy cykl testowy obejmuje ostrzejsze przyspieszanie, krótsze przestoje, wyższą średnią prędkość i wyższą prędkość maksymalną.

Zamiast zestawiania ze sobą symulowanej jazdy w warunkach miejskich i pozamiejskich, samochód jest teraz testowany w czterech zakresach prędkości. Otrzymane wyniki odzwierciedlają styl jazdy i warunki drogowe. Wartości te uwzględniają również różnice w wyposażeniu pojazdu, w tym indywidualne opcje dla każdego testowanego modelu.

Na rysunku 3.25 przedstawiono przebiegi testu WLTP dla różnych rodzajów pojazdów. Dla pojazdów osobowych kategorii M i N oraz lekkich pojazdów dostawczych stosowany będzie test Class 3-2 (niebieska linia na rysunku 3.25). Dla porównania zaznaczono (linią niebieską przerywaną) przebieg testu NEDC.



Rys. 3.25. Przebieg prędkości jazdy w teście WLTP [3].

Różnice w obydwu testach są widoczne na pierwszy rzut oka. WLTP trwa dłużej niż NEDC, pojazd przejeżdża większy dystans z większymi prędkościami. Dodatkowo da się zauważyć większe wartości przyspieszeń i opóźnień podczas jazdy. Niektóre źródła literaturowe dokonują dokładnej analizy porównawczej obydwu testów.

Pomimo większego rygoru badawczego, cykl WLTP pozostaje testem czysto laboratoryjnym. W celu zapewnienia jeszcze bardziej reprezentatywnych wyników, wprowadzana jest druga procedura testowa.

Nosi nazwę RDE (ang. *Real Driving Emissions Test*), czyli test emisji spalin w rzeczywistym ruchu drogowym. Nakłada on obowiązek przetestowania samochodów na drodze, w warunkach dokładniej odzwierciedlających autentyczne scenariusze na trasie.

Test RDE obejmuje pokonywanie wzniesień i zjeżdżanie z nich, jazdę po mieście z małymi prędkościami, jazdę drogami pozamiejskimi ze średnimi prędkościami i szybką jazdę na autostradach. Uwzględnia dodatkowo wysokość nad poziomem morza, na której znajduje się samochód, jego obciążenie i jazdę w różnych temperaturach otoczenia.

Wszystkie nowe samochody osobowe i lekkie pojazdy dostawcze przechodzą testy RDE od września 2019 roku.

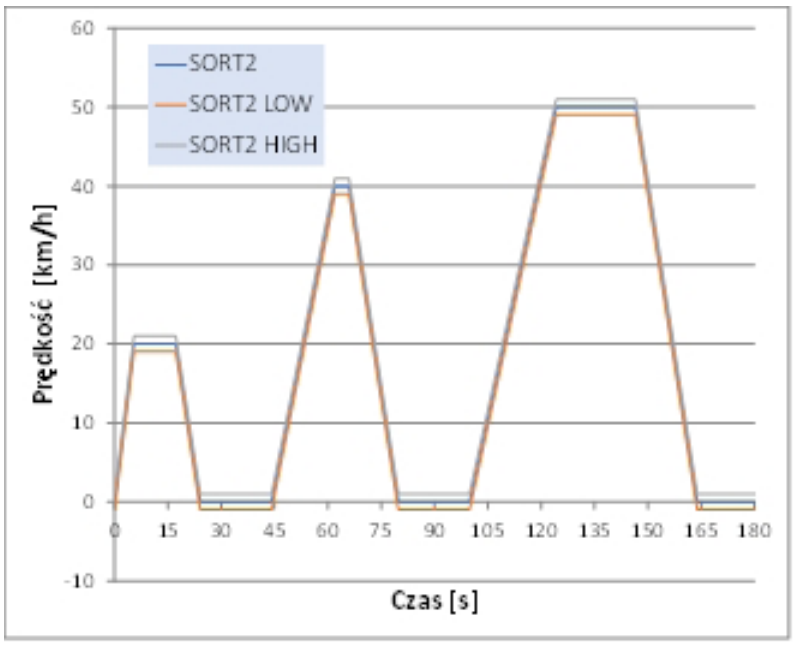
Przejdźmy teraz do badań zasięgu pojazdów elektrycznych w warunkach drogowych. Posłużymy się badaniami powszechnie stosowanymi dla autobusów miejskich, w tym w ostatnim czasie dla autobusów z napędem elektrycznym.

W celu wyznaczenia zasięgu autobusu elektrycznego konieczne było przeprowadzenie odpowiednich badań, które stanowią część badań homologacyjnych. Mają na celu określenie zużycia energii elektrycznej zgromadzonej w bateriach trakcyjnych w przeliczeniu na przejechany kilometr (kWh/km). Badania takie muszą być wykonane przez akredytowaną jednostkę. Jednym z takich podmiotów jest Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie.

Bardzo często podczas przetargów na zakup autobusów, zamawiający życzą sobie przeprowadzenia testów SORT. Jest to sposób, by dowiedzieć się, jakie jest rzeczywiste zużycie paliwa czy energii przez pojazd. Dla producenta autobusów jest to dodatkowe zadanie, które wymaga czasu oraz powoduje dodatkowe koszty.

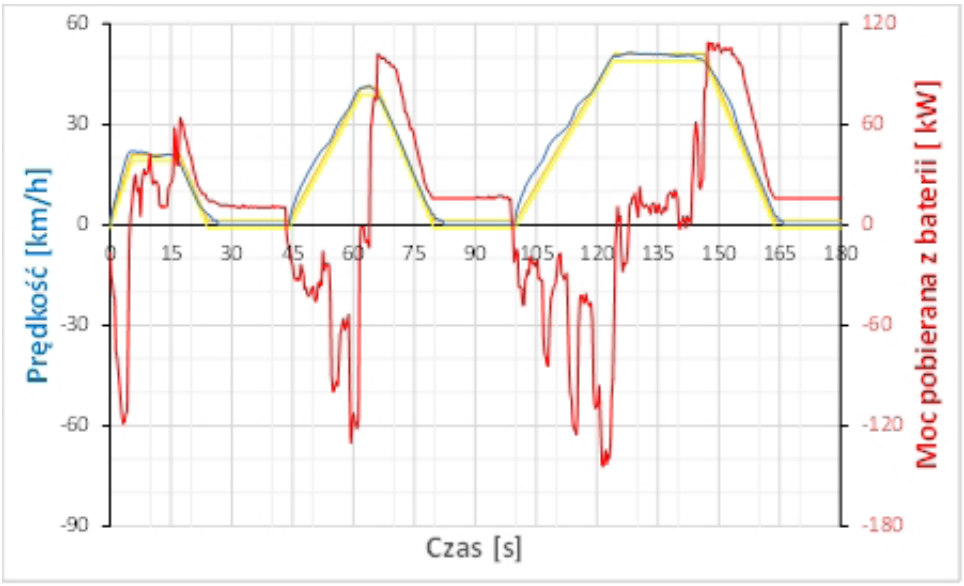
Ale co oznacza skrót SORT? SORT (ang. *Standardised On–Road Test*) to procedura pozwalająca na obliczenie zużycia paliwa i energii w ruchu miejskim. Zasady realizacji testów zostały opracowane przez Światowe Stowarzyszenie Transportu Publicznego (UITP). Okazały się na tyle przydatne i pożyteczne, że są bardzo często wykorzystywane jako jedno z pozacenowych kryteriów przetargowych, zarówno w Polsce, jak i za granicą. Przewoźnik, mając do wyboru kilka ofert pojazdów do zakupu, może porównać ich rzeczywiste zapotrzebowanie na paliwo lub energię elektryczną.

Na rysunku 3.26 przedstawiono przebieg prędkości zadanej w teście SORT. Oznaczono także odchyłkę dolną i górną. Taka mała wartość odchyłki wymaga dużej dokładności odwzorowania testu i nie jest łatwa do realizacji w rzeczywistych warunkach drogowych.



Rys. 3.26. Przebieg prędkości jazdy w teście SORT.

Parametry z jazdy testowej autobusu elektrycznego podczas testu SORT przedstawiono na rysunku 3.27.



Rys. 3.27. Parametry z jazdy testowej autobusu elektrycznego podczas testu SORT.

Na rysunku 3.27 linią żółtą oznaczono prędkość zadaną, niebieską prędkość rzeczywistą, zaś czerwoną moc pobieraną z baterii trakcyjnych pojazdu elektrycznego. Ujemne wartości mocy wskazują na jej pobór, zaś dodatnie na jej odzyskiwanie w wyniku rekuperacji energii hamowania. Generowana przez silniki w piastach kół moc pojawia się podczas zwalniania prędkości i hamowania. Pobierana moc przez silniki elektryczne podczas testu SORT wynosi nawet 140 kW. Maksymalna zarejestrowana moc odzyskiwana podczas przejazdu wynosiła ok. 110 kW.

Badania zasięgu prototypu pojazdu elektrycznego ursus elvi

Obiektem badań był pojazd prototypowy ursus elvi, przedstawiony na rysunku 3.28. Jest to pojazd dostawczy o dopuszczalnej masie całkowitej 3,5 tony i ładowności 1,2 tony. Badany pojazd posiada zabudowę kontenerową, zdolną pomieścić 4 europalety z ładunkiem. Prototyp nr 1 pojazdu został po raz pierwszy przedstawiony na Kongresie 590 w 2017 roku.

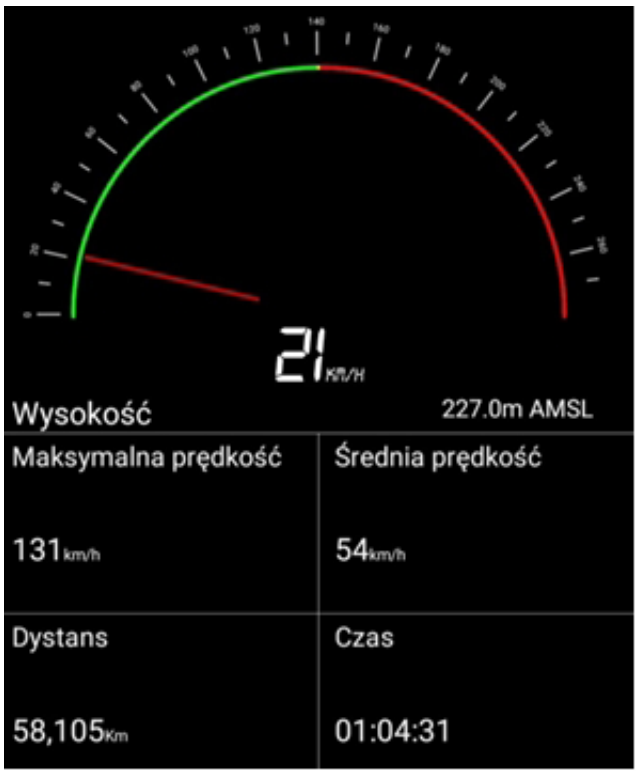
Rys. 3.28. Ursus elvi w zabudowie kontenerowej.

Dla prototypowego pojazdu rozwinięto tablicę wskaźników, która została pokazana na rysunku 3.29. W centralnej części wyświetlacza znajduje się wyświetlacz aktualnej prędkości jazdy, zarówno w wersji wskazówkowej, jak i cyfrowej. Pod nim znajduje się status układu napędowego DNR (ang. *Drive, Neutral, Reverse*), wskazujący na jazdę do przodu, położenie neutralne i jazdę do tyłu. Po lewej stronie znajduje się stan naładowania baterii tzw. SOC (ang. *State of Charge*), wyrażony w %. Po prawej stronie zaś pobór energii podczas jazdy lub energię uzyskiwaną podczas hamowania rekuperacyjnego, wyrażone w kW.

Rys. 3.29. Tablica wskaźników ursus elvi.

Badania pojazdu wykonywano wiosenną porą w temperaturze otoczenia około 20 stopni Celsjusza. Przed wykonaniem badań dokonano także sprawdzenia ciśnienia w ogumieniu. Badania wykonano z wyłączoną funkcją odzysku energii podczas hamowania.

Do wykonania badań zasięgu pojazdu wykorzystano aplikację mobilną działającą w oparciu o moduł GPS (patrz rysunek 3.30). Aplikacja ma możliwość obliczania i rejestrowania prędkości jazdy, przebytej drogi, maksymalnej oraz średniej prędkości.



Rys. 3.30. Okno aplikacji mobilnej – prędkościomierz GPS APK.

Badania zasięgu pojazdu prototypowego ursus elvi wykonano w warunkach drogowych. Przeprowadzono je w cyklu mieszanym, obejmującym część jazdy w warunkach miejskich, zaś część – w warunkach pozamiejskich. Badania przeprowadzono w dwóch wariantach obciążenia pojazdu dostawczego. Wariant pierwszy obejmował pojazd niezaładowany, czyli masę własną pojazdu oraz dwóch pasażerów (autorzy artykułu). Wariant drugi obejmował badania pojazdu z dopuszczalną masą całkowitą równą 3,5 tony

Wyniki z jazd przedstawiono w tabeli 3.3. Wartości związane z prędkościami i przebytą drogą uzyskano z opisanej powyżej aplikacji. Dane dotyczące stanu naładowania baterii SOC uzyskano z systemu zarządzania baterią trakcyjną BMS (ang. *Battery Management System*). Następnie rzeczywiście przejechany dystans na ubytku naładowania baterii odniesiono do wartości SOC = 100%, w celu obliczenia zasięgu maksymalnego.

Tabela 3.3.Wyniki testów drogowych ursusa elvi [9]

Warianty jazdy	Przejechany dystans [km]	Czas [min]	Prędkość średnia [km/h]	Prędkość maks. [km/h]	Użyte SOC [%]	Zasięg maksymalny [km]
WARIANT 1						
Jazda nr 1	58,1	64	54,5	131	23	252,6
Jazda nr 2	70	78	53,8	130	42	166,7
Jazda nr 3	62,1	85	43,8	75	25	248,4
WARIANT 2						
Jazda nr 1	58	79	44,7	91,8	30	193,3
Jazda nr 2	78,3	58,6	80,2	130	48	150,6

Badania drogowe zasięgu pojazdu ursus elvi potwierdziły dane podawane przez producenta, znajdujące się na oficjalnej stronie internetowej.

W tej części książki przedstawiono metody badania zasięgu pojazdów elektrycznych, zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i drogowych. Dopiero wykorzystanie testu NEDC do pomiaru zasięgu pojazdów elektrycznych wykazało ogromne rozbieżności pomiędzy wynikami laboratoryjnymi i rzeczywistymi. Zdaniem autorów, wprowadzenie nowych standardów testowania WLTP pozwoli uzyskiwać bardziej wiarygodne wyniki zasięgu pojazdów elektrycznych.

Badania w warunkach laboratoryjnych pozwalają na powtarzalność i porównywanie osiąganych wyników. Przeprowadzanie takich testów pozwala na unikanie wielu ryzyk, związanych z badaniem pojazdów w warunkach drogowych. Jednak do ich przeprowadzenia potrzebna jest hamownia podwoziowa z możliwością zadawania oporów ruchu oraz realizacji cykli jezdnych. W chwili obecnej wiele instytutów badawczych będzie musiało opracować lub zakupić moduł odtwarzania testu WLTP.

Badania zasięgu pojazdów elektrycznych w warunkach drogowych w oparciu o masę rzeczywistą pojazdu oraz prędkość średnią z jazdy jest dobrym sposobem pomiaru orientacyjnego maksymalnego zasięgu. Może być wykorzystywane do planowania tras przejazdu na dłuższych dystansach. Zdaniem autorów, każdy użytkownik pojazdu elektrycznego powinien wykonać zaproponowane badania w celu poznania rzeczywistego zasięgu własnego pojazdu. Badania te mogą posłużyć do sprawdzenia poprawności obliczeń wykonywanych przez komputer pokładowy EV.

Badania drogowe zasięgu pojazdu ursus elvi potwierdziły dane producenta, znajdujące się na oficjalnej stronie internetowej. Pojazd jest w stanie przejechać nawet 250 km z niewielkim ładunkiem na jednym naładowaniu baterii trakcyjnych. Poruszając się z dopuszczalną masą całkowitą, wynoszącą 3,5 tony, jego zasięg zawierał się pomiędzy 150 a 200 km w zależności od prędkości średniej i dynamiki jazdy.

3.4. Rezultaty

Niestety, jeśli chodzi o rezultaty polskich i niemieckich inżynierów w zakresie budowy elektrycznego pojazdu dostawczego dla poczty nie są one zadowalające w obydwu przypadkach. Poczta niemiecka uruchomiła produkcję, ale niestety zakład upadł w 2019 roku generując duże straty. Polski Ursus SA, mający ambicje produkować pojazd ursus elvi, do tej pory nie wprowadził masowej produkcji. Skończyło się na prezentacji jeżdżącego prototypu. Poczta Polska musi zatem poszukiwać odpowiedniego dla niej auta dostawczego u innych producentów.

Dnia 14.02.2019 roku Poczta Polska rozpoczęła testy pojazdów elektrycznych na terenie miasta Lublin. Testy trwały do połowy maja 2019 roku i były kontynuacją testów przepro-

wadzonych w 2018, w których udział wzięły homologowane samochody elektryczne o ładowności do 800 kg.

Jako że Poczta Polska podjęła decyzję o dołączeniu do swojej floty kilkudziesięciu aut o napędzie elektrycznym, to na tym etapie testów sprawdzane będą najnowsze typy samochodów o całkowitej masie dopuszczalnej do 3,5 t i ładowności pow. 800 kg [3]. W testach udział weźmie osiem aut marek: Renault Master Z.E. (wyjechał na polskie drogi w styczniu 2019 r.), Volkswagen e-Crafter (od czwartego kwartału 2018 r.), Maxus-Hitachi (od września 2018) oraz 5 egzemplarzy Mercedesa e-Vito (od stycznia 2019 r.). Testowane pojazdy to mało dostępne w naszym kraju nieliczne egzemplarze. Kierowcy Poczty Polskiej sprawdzą parametry techniczno-użytkowe, takie jak przyspieszenie, hamowanie, komfort jazdy i obsługi, sposób ładowania akumulatorów i możliwą do przejechania liczbę kilometrów. Po przeprowadzeniu testu każdy użytkownik sporządzi krótki opis i ogólną charakterystykę pojazdu.

3.4.1. Całkowite koszty użytkowania

Total Cost of Ownership (TCO), to termin służący określeniu struktury kosztów związanych z funkcjonowaniem aktywów w firmie, w odniesieniu do firmowych pojazdów oznacza natomiast całkowity koszt użytkowania pojazdu służbowego. Próba jego zarysowania pozwala natomiast możliwie precyzyjnie określić główne grupy wydatków związanych z obsługą samochodów, a tym samym lepiej planować ich ograniczenia.

Analizę kosztów utrzymania samochodu w firmie należy rozpocząć od stwierdzenia, że ich struktura zależy od formy pozyskania samochodów i sposobu zarządzania nimi. Inaczej rozkładają się one – przynajmniej z księgowego punktu widzenia – w przypadku floty własnej, inaczej w przypadku floty leasingowanej lub wynajmowanej. W pierwszym przypadku do najważniejszych kosztów flotowych zaliczają się wydatki na zakup pojazdów i koszty paliwowe. W przypadku korzystania z leasingu i wynajmu największym obciążeniem oprócz wydatków na paliwo są sumy, na które składają się comiesięczne raty leasingowe.

Wydatki na paliwo są tym elementem flotowego budżetu. W przypadku pojazdów elektrycznych będzie to koszt ładowania baterii trakcyjnych pojazdów elektrycznych.

3.4.2. Koszty zakupu pojazdu

Samochody elektrycznie są zdecydowanie droższe od ich spalinowych odpowiedników. Na przykład nissan leaf z pakietem baterii 30 kWh kosztuje od 147 500 PLN. Gwarancja na baterie to 8 lat lub 150 000 km lub 100 000 mil (w zależności od kraju).

Z powyższych danych wynika, że cena samych baterii w nissanie leaf może wynosić ok. 70 000 PLN. Zatem reszta pojazdu kosztuje ok. 77 500 PLN, czyli tyle, ile kosztuje auto klasy compact (odpowiednik nissana leaf) z silnikiem benzynowym lub Diesla, z przyzwoitym wyposażeniem.

Warto zauważyć, że do Nissana, jak i do całego koncernu Renault, baterie produkuje firma LG Chem, która jest trzecim co do wielkości producentem baterii litowo-jonowych na świecie. W samym 2016 roku LG Chem wyprodukował 2 285 MWh, co odpowiada 2 285 000 kWh/30 kWh= 76 000 baterii dla nissana leaf.

Na podstawie powyższych analiz można wnioskować, że pojazd elektryczny o DMC 3,5 tony z baterią 60 kWh może kosztować nawet 300 000 złotych. Połowę tej kwoty stanowi pakiet baterii litowo-jonowych.

3.4.3. Koszty użytkowania pojazdu

Koszty użytkowania pojazdu elektrycznego zależą od zużycia prądu potrzebnego do przejechania danego zasięgu oraz ceny energii elektrycznej. Rozpatrując rzeczywiste potrzeby Poczty Polskiej oraz rzeczywiste warunki jazdy miejskiej w mieście Lublin można dokonać przybliżonej kalkulacji kosztów użytkowania pojazdu elektrycznego. Z badań przedstawionych w tabeli 3.3 wynika, że ursus elvi podczas jazdy miejskiej w Lublinie na jednym ładowaniu był w stanie przejechać od 166 do 252 km dla wariantu 1, który oznaczał pojazd załadowany w niewielkim stopniu. Dla wariantu 2, oznaczającego jazdę z DMC 3,5 tony, zasięg wynosił od 150 do 193 km i również był zależny od prędkości.

Z przedstawionych badań można wyciągnąć wniosek, że średnio obciążony ursus elvi jest w stanie przejechać w warunkach jazdy miejskiej ok. 200 km na jednym ładowaniu. Uwzględniając pojemność maksymalną baterii tego pojazdu wynoszącą 60 kWh można obliczyć, że średnie zużycie energii przez taki pojazd wynosi ok. 30 kWh/100 km. Jest to około 2 razy więcej niż wynosi zużycie pojazdu klasy C jak np.: nissan leaf. Ale również masa własna pojazdu, jak i rzeczywista masa pojazdu są zdecydowanie inne.

Według badań przeprowadzonych na zlecenie Volkswagena, średnie obciążenie auta kurierskiego to 875 kg, a średni dzienny przebieg w dostawach miejskich to do 100 km. Biorąc pod uwagę liczbę dni roboczych w roku, która wynosi ok. 250, łatwo można obliczyć roczny przebieg pojazdu. 25 000 km to tyle średnio pokonują pojazdy kurierskie w ciągu roku.

3.4.4. Optymalizacja wyboru pojazdu dostawczego dla Poczty Polskiej

W tabeli 3.4 przedstawiono porównanie parametrów, a w tabeli 3.5 kosztów wybranych pojazdów dostawczych o DMC 3,5 t o napędzie elektrycznym. Koszt prądu będzie wynosił 0,9 PLN/1kWh, co jest stawką powszechnie występującą w Polsce dla firm. Założono roczny przebieg pojazdów wynoszący 25 000 km oraz czas eksploatacji 8 lat. TCO stanowi sumę zakupu pojazdu i koszty ładowania w tym czasie.

Tabela 3.4. Porównanie parametrów wybranych pojazdów dostawczych

Pojazd	Moc silnika [kW]	Pojemność baterii [kWh]	Dopuszczalna ładowność [kg]	Maksymalny zasięg [km]	Czas ładowania [h]
Renault master Z.E.	57	33	brak	120	6 type 2
VW e-crafter	100	35	970	173	1 CCS
Hitachi maxus	60	56	950	200	2 CCS
Mercedes e-vito	84	41,4	1073	150	5,3 type 2
Ursus elvi	80	60	1300	200	1,5 CCS

Z porównania wynika, że najmocniejszy silnik posiada VW e-crafter, najsłabszy zaś renault master Z.E. Tenże pojazd posiada też najmniejszą baterię. Największą baterię ma zaś hitachi maxus i ursus elvi. Jednak ten ostatni nigdy nie wszedł do produkcji i obecnie nie liczy się w teście aut dla Poczt Polskiej. Ursusa elvi wzięto do porównania ze względu na ocenę konkurencyjności prototypu z 2018 roku z obecnymi na rynku masowo produkowanymi pojazdami w 2020 roku. Maksymalny zasięg renaulta wynosi tylko 120 km. Ale zgodnie z przedstawionymi wcześniej badaniami jest to wystarczająca wartość do poruszania się po mieście pojazdem kurierskim. Rekordzistami są hitachi maxus i ursus elvi z zasięgiem 200 km na jednym

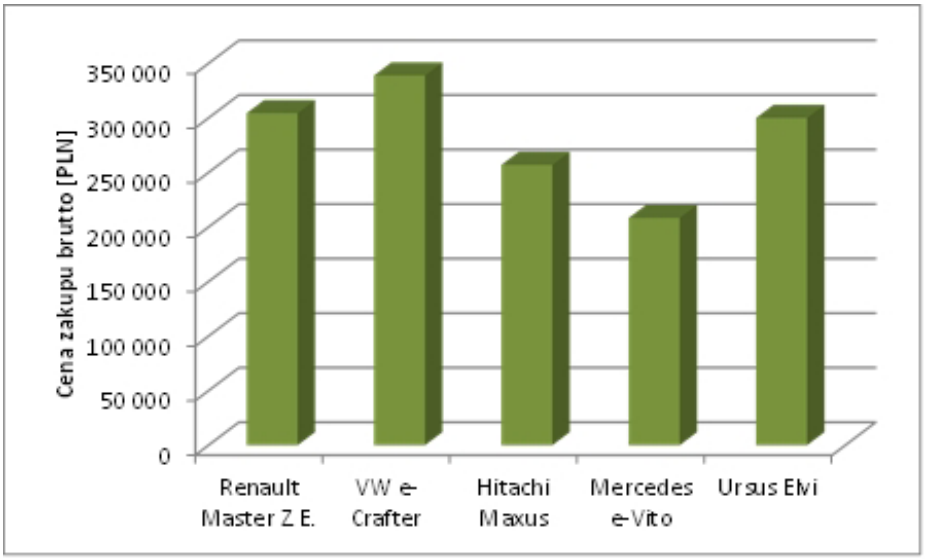
ładowaniu. Najkrócej ładuje się VW wyposażony standardowo w złącze CCS. Najdłużej zaś, renault posiadający jedynie złącze type 2.

Jednak w przypadku pojazdów elektrycznych ogromne znaczenie ma cena zakupu auta. W tabeli 3.5 podano ceny brutto zakupu aut elektrycznych.

Tabela 3.5. Porównanie kosztów wybranych pojazdów dostawczych

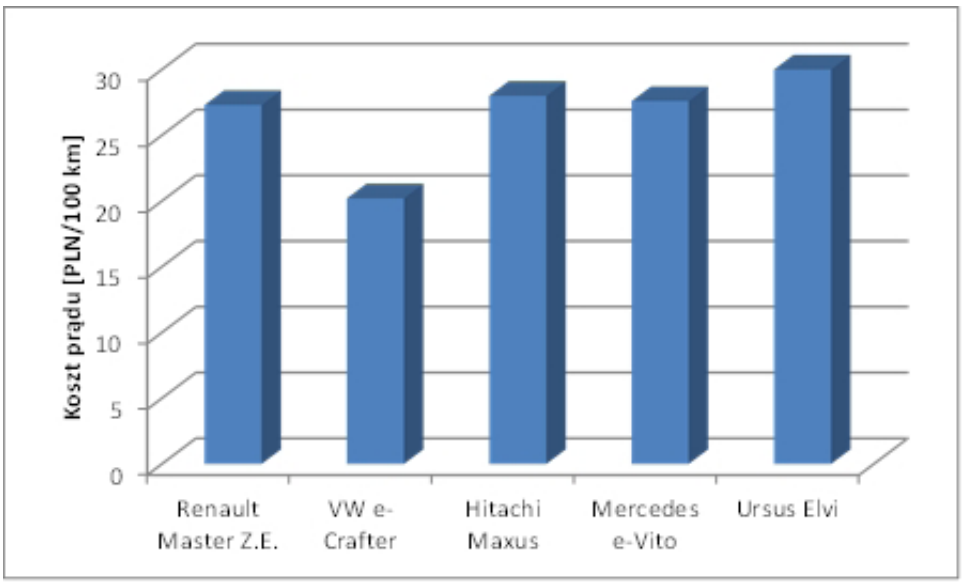
Pojazd	**Koszt zakupu [PLN]**	**Średnie zużycie prądu [kWh/ 100 km]**	**Koszt prądu [PLN/100 km]**	**Koszt prądu całk. [PLN]**	**TCO [PLN]**	**Koszt prądu/ Koszt zakupu [%]**
Renault master Z.E.	304 400	27,3	24,57	49 400	353 800	16,23
VW e-crafter	338 948	20,2	18,18	36 360	375 308	10,73
Hitachi maxus	257 000	28	25,2	50 400	307 400	19,61
Merce-des e-vito	208 362	27,6	24,84	49 680	258 042	23,84
Ursus elvi	300 000	30	27	54 000	354 000	18

Najtańszy jest w zakupie mercedes e-vito. Jest on tańszy o ok. 100 000 PLN od swoich konkurentów (rysunek 3.31).



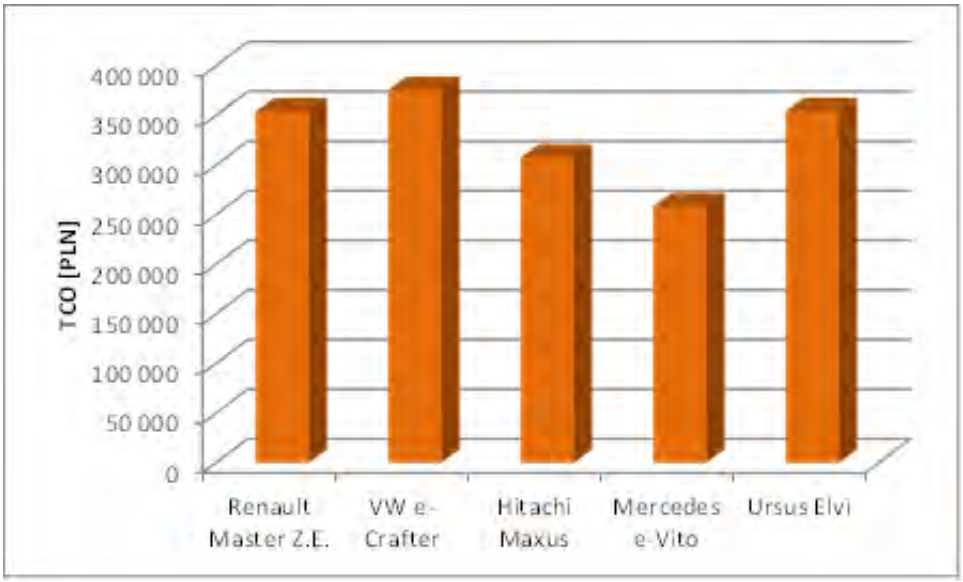
Rys. 3.31. Porównanie cen brutto zakupu pojazdów.

Następnie uwzględniając średnie zużycie prądu oraz jego cenę policzono koszt przejechania 100 km. Najbardziej ekonomiczny okazał się VW e-crafter, zaś najmniej ekonomiczny ursus elvi (rysunek 3.32).



Rys. 3.32. Porównanie kosztów przejazdu 100 km.

Podsumowano także koszty całkowite prądu, potrzebnego do ładowania pojazdu na dystansie 200 000 km. Następnie dokonano obliczenia TCO. Najtańszym TCO charakteryzuje się mercedes. Różnica w kosztach TCO jest bardzo duża w przypadku poszczególnych modeli (rysunek 3.33). Policzono również stosunek procentowy całkowitych kosztów prądu do ceny zakupu. Okazuje się, że wynosi on od 10 do ponad 20%.



Rys. 3.33. Porównanie TCO.

Ze względu na całkowite koszty użytkowania TCO najbardziej optymalnym wyborem dla Poczty Polskiej jest mercedes e-vito.

4. Napędy niskoemisyjnych autobusów marki Ursus Bus

4.1. Klient

W grudniu 2019 roku segment nowych elektrobusów w Polsce odnotował dziewięć nowych rejestracji i tym samym na koniec 2019 mieliśmy 216 autobusów elektrycznych w naszym kraju [47]. Po dobrym początku ubiegłego roku, w lutym nastało pięć trudnych miesięcy dla polskich elektrobusów. W lutym, marcu, kwietniu, maju i czerwcu nie zarejestrowano w naszym kraju ani jednego elektrycznego autobusu. W lipcu nastąpił przełom i swoje pojazdy zarejestrowały trzy miasta: Bełchatów, Łomianki i Ostróda. Potem znowu mieliśmy przestój, który przerwał październik, kiedy ruszyła kolejna elektryczna fala. W październiku dodaliśmy jedną sztukę – urbino 18 electric dla Poznania, w listopadzie – osiem kolejnych takich pojazdów, a w grudniu – łącznie dziewięć pojazdów, w tym 6 szt. urbino 18 electric dla MPK Poznań oraz 3 szt. urbino 12 electric dla MPK Inowrocław. Tym samym liczba zarejestrowanych autobusów elektrycznych w Polsce osiągnęła poziom 216 szt. pojazdów. Łącznie w 2019 r. w Polsce zarejestrowano 54 szt. autobusów elektrycznych, co oznacza spadek w porównaniu z 2018 r. o 9 szt., kiedy odnotowaliśmy 63 rejestracje e-busów. Najwięcej elektrobusów w zeszłym roku zarejestrowano w: Poznaniu – 15 szt., w Rzeszowie – 10 szt. W rankingu e-marek w 2019 roku dominował Solaris (39) przed Volvo (8) i Ursusem (7). Dla porównania dodajmy, że w ubiegłym roku w całym segmencie miejskim odnotowaliśmy 1036 rejestracji, co daje elektrobusom udział w sprzedaży na poziomie 5,2%. W 2018 roku wyniósł on dokładnie tyle samo (sprzedano wówczas więcej elektrobusów, ale także cały miejski rynek był większy). Oczywiście spodziewamy się, że ten wskaźnik będzie rósł w kolejnych latach.

Aktualnie najwięcej autobusów elektrycznych zarejestrowanych w naszym kraju jest w:

- Zielonej Górze – 43 szt.
- Warszawie – 31 szt.
- Krakowie – 26 szt.
- Jaworznie – 24 szt.

W przeliczeniu na poszczególne województwa najwięcej elektrycznych autobusów mamy w:

- Lubuskiem – 43 szt.
- Mazowieckiem – 36 szt.
- Śląskiem – 34 szt.

Jeżeli chodzi o najpopularniejsze marki to zdecydowanie wygrywa tutaj Solaris, który od 2015 r. do stycznia 2019 r. dostarczył na polski rynek 136 elektrobusów. Drugie miejsce ma Ursus z liczbą 68 szt., a stawkę trzech najmocniejszych e-marek zamyka Volvo, które w tym roku awansowało na podium dzięki inowrocławskiemu zamówieniu (8 szt.).

Dane za 2019 rok pokazują, że polski rynek elektrycznych autobusów zaczyna się rozkręcać i w kolejnych latach czekają nas jeszcze kolejne rekordy [47]. Aktualnie prognozy dla tego segmentu rynku wyglądają następująco:

- w trakcie dostaw (z podpisanymi umowami) mamy 242 autobusy elektryczne,
- w procedurze przetargowej jest 55 e-busów,
- a z uzyskanym finansowaniem, ale jeszcze przed ogłoszeniem przetargu znajdują się aż 174 elektrobusy. Oczywiście nie licząc programu e-bus.

To razem daje liczbę 507 autobusów elektrycznych, które w najbliższej przyszłości, czyli w latach 2020–2021, wyjadą na polskie ulice. Te prognozy oznaczają, że w 2020 r. przekroczymy próg 100 rejestracji rocznie – a to za sprawą gigantycznego kontraktu MZA Warszawa na łącznie 130 przegubowych elektrobusów, który będzie realizowany do listopada 2020 r.

W tym kontekście należy podkreślić, że polskie zakupy elektrobusów w zdecydowanej mierze opierają się na finansowaniu ze strony Unii Europejskiej. Po zamknięciu aktualnej perspektywy finansowej spodziewamy się, że dalszy rozwój tego rynku zapewni rządowy program „Bezemisyjnego Transportu Publicznego", do którego miasta zgłosiły wolę zakupu do 1082 elektrobusów. W czerwcu NCBiR ponowiło procedurę w zakresie wyboru producenta polskich e-busów. Teraz czekamy na SIWZ i składanie ofert. W tej sytuacji trudno jest teraz dokładnie określić, ile z tych autobusów trafi do finalnych odbiorców i kiedy to dokładnie nastąpi.

Przy okazji naszego elektrycznego zestawienia warto podkreślić, że generalnie w Polsce coraz więcej rejestruje się autobusów z napędami alternatywnymi. Dotyczy to jak na razie tylko tego jednego segmentu. Zarówno wśród autobusów turystycznych, jak i międzymiastowych oraz minibusów dominuje napęd Diesla i nic nie wskazuje na to, żeby to się miało zmienić w najbliższym czasie. Natomiast wśród miejskich operatorów – głównie dzięki unijnym funduszom i antysmogowym strategiom miast – takie ekologiczne rozwiązania stają się coraz popularniejsze.

W 2016 r. na łączną sumę 1942 szt. wszystkich nowych autobusów tylko 42 konstrukcje (czyli 2,2% wszystkich pojazdów) miało napęd alternatywny, w tym zarejestrowano:

- 19 pojazdów z napędem na sprężony gaz ziemny (CNG),
- 17 pojazdów z napędem hybrydowym,
- 6 elektrobusów.

W 2017 r. takich ekoautobusów zarejestrowano aż 160 szt., co dało 7-procentowy udział w całym rynku. W porównaniu z wynikiem 2,2% z 2016 r. to znaczący postęp, który prawie wyłącznie jest zasługą komunikacji miejskiej. W 2017 r. do grona zielonych autobusów dołączyło:

- 85 autobusów z napędem hybrydowym,
- 63 elektrobusy,
- 12 pojazdów z napędem na sprężony gaz ziemny (CNG).

W 2018 roku udział niskoemisyjnej floty w łącznej sprzedaży był najwyższy w historii i rok ten można określić mianem najbardziej „zielonego" w całej historii. W ciągu 12 miesięcy na rynku pojawiło się aż 317 szt. autobusów z alternatywnymi napędami – co daje ekoudział na poziomie 11,7%, w tym:

- aż 200 autobusów z napędem hybrydowym,
- 63 elektrobusy,
- 54 pojazdy z napędem gazowym (CNG).

W 2019 r. na łączną sumę 1036 nowych miejskich autobusów 278 pojazdów miało ekonapęd (28% udział). W podziale na rodzaj napędu, aktualny poziom rejestracji wygląda następująco:

- 55 elektrobusów,
- 58 pojazdów z napędem hybrydowym,
- 180 autobusów z napędem gazowym (CNG).

Jak pokazują „zielone" dane, liczba zarejestrowanych autobusów z alternatywnymi napędami rośnie w rekordowym tempie – przede wszystkim dzięki unijnemu dofinansowywaniu. Rozwojowi tej części rynku będą sprzyjać też zapisy w Ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych, o świadczeniu lub zlecaniu świadczenia przez jednostki samorządu terytorialnego usług komunikacji miejskiej podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki osiągnie co najmniej 5% od 2021 roku. Jak to wyjdzie w praktyce – zobaczymy.

Najważniejszym e-wydarzeniem minionego roku było przyznanie w listopadzie przez CUPT aż 460 mln złotych dotacji na rozwój transportu publicznego dla 13 polskich miast. Za tę sumę samorządy kupią łącznie 190 unijnych elektrobusów, co diametralnie zmieni układ liczb na naszych elektromobilnych tablicach. Poniżej nasza tabela ze zwycięskimi, elektromobilnymi projektami z dofinansowaniem CUPT

Polska to nie tylko jeden z najważniejszych elektromobilnych rynków w Europie, ale także centrum produkcji autobusów elektrycznych, które stąd trafiają do większości europejskich krajów. W ciągu 9 miesięcy 2019 r. w dwóch fabrykach: Solarisa w Bolechowie i Volvo we Wrocławiu powstało łącznie 227 e-busów, z czego 189 egzemplarzy trafiło na eksport – głównie do krajów Beneluxu, Niemiec i Skandynawii.

Solaris wyprodukował w ciągu trzech kwartałów 2019 roku 127 e-pojazdów, a Volvo 100 szt., co pokazuje, że polski producent zyskał godnego, produkcyjnego rywala na elektromobilnym polu. Dla porównania – w całym 2018 roku polskie fabryki wyprodukowały łącznie 177 elektrobusów (czyli o 2 szt. więcej niż w I połowie br.), w tym 103 szt. wykonał Solaris. To najlepiej pokazuje, jak „zazieleniła się" produkcja autobusów w Polsce.

W ubiegłym roku liczba rejestracji nowych autobusów elektrycznych w UE wzrosła o 170,5% z 594 jednostek w 2018 r. do 1607 autobusów sprzedanych w 2019 r. Pojazdy elektryczne (ECV) stanowiły 4,0% całkowitej sprzedaży autobusów w UE. Największym rynkiem zbytu dla tych pojazdów była Holandia. W ubiegłym roku zarejestrowano tam 381 autobusów elektrycznych, a następnie Francja (285) i Niemcy (187). Łącznie te trzy kraje zarejestrowały ponad połowę wszystkich autobusów doładowywanych elektrycznie, sprzedanych w ubiegłym roku.

Ogółem w 2019 r. w całej Unii Europejskiej zarejestrowano 1918 autobusów hybrydowych, czyli 59,7% więcej niż przed rokiem. Te hybrydowe pojazdy elektryczne (HEV) miały udział w rynku 4,8%. Jednak prawie wszystkie rejestracje były skoncentrowane tylko w sześciu krajach: Niemcy (454 jednostki), Hiszpania (427), Belgia (371), Włochy (255), Francja (210) i Holandia (125). Dla porównania w 2019 r. nie zarejestrowano żadnych hybrydowych autobusów elektrycznych w 13 krajach UE.

6,2% wszystkich nowych autobusów sprzedanych w UE w ubiegłym roku korzystało z paliw alternatywnych, co stanowi wzrost o 67,9% do 2504 rejestracji – prawie wszystkie z nich są napędzane gazem ziemnym. Największymi rynkami UE dla autobusów na gaz ziemny były: Francja (585 sztuk), Hiszpania (463), Włochy (303) i Szwecja (284), które odnotowały również najwyższy procentowy wzrost w całym regionie (+ 283,8%).

http://infobus.pl/polski-rynek-autobusow-elektrycznych-w-i-polowie-2020-r-_more_126555.html

W I połowie 2020 r. segment nowych elektrobusów w Polsce odnotował 67 nowych rejestracji i tym samym przekroczyliśmy poziom 269 autobusów elektrycznych w naszym kraju. Biorąc pod uwagę, że w I połowie br. polscy przewoźnicy odebrali 332 miejskie autobusy, to udział 67 elektrobusów w miejskim rynku daje obecnie ok. 20% udziału. To świetny wynik i to osiągnięty w czasie kryzysu. Przypomnijmy, że w całym 2019 r. zostało zarejestrowanych 55 e-busów, co dało im udział na poziomie 5,3%. A to dopiero początek elektrycznej ekspansji. Po tegorocznej realizacji „kontraktu stulecia" na autobusy elektryczne dla

MZA Warszawa (130 szt. solaris urbino 18 electric) poziom elektryfikacji miejskich zakupów może na koniec 2020 roku przekroczyć poziom 35%, a łączna liczba polskich elektrobusów zbliży się do poziomu 400 szt.

W I połowie br. najwięcej e-busów w Polsce odebrały takie miasta, jak: Warszawa, Radom, Konin oraz Kutno.

Po I połowie 2020 r. zdecydowanym liderem rynku elektrobusów w Polsce jest marka Solaris, która dostarczyła większość zakupionych autobusów o napędzie elektrycznym i to nie tylko w ostatnim okresie, ale i w ogóle. Warto odnotować, że w tym roku jeden e-bus zarejestrowała marka Autosan – do celów demonstracyjnych, jeden także zarejestrował Automet, a dwa – Volvo.

Przypomnijmy, że w 2019 roku zarejestrowano w Polsce 54 autobusy elektryczne, co oznaczało spadek w porównaniu z 2018 r. o 9 szt. To właśnie dwa lata temu zanotowaliśmy rekordowy, jak dotąd, poziom e-rejestracji – 63 szt.! W 2019 r. najwięcej elektrobusów dostarczono do Poznania i Rzeszowa. W rankingu e-marek w 2019 roku dominował Solaris (39) przed Volvo (8) i Ursusem (7). Dla porównania dodajmy, że w ubiegłym roku w całym segmencie miejskim odnotowaliśmy 1036 rejestracji, co daje elektrobusom udział w sprzedaży na poziomie 5,2%. W 2018 roku wyniósł on dokładnie tyle samo (sprzedano wówczas więcej elektrobusów, ale także cały miejski rynek był większy). Oczywiście spodziewamy się, że ten wskaźnik będzie rósł w kolejnych latach.

Po I połowie 2020 r. najwięcej autobusów elektrycznych w naszym kraju jeździło w następujących miastach:

- Warszawie – 60 szt.
- Zielonej Górze – 43 szt.
- Krakowie – 28 szt.
- Jaworznie – 24 szt.

W przeliczeniu na poszczególne województwa to najwięcej elektrycznych autobusów mamy w:

- Mazowieckim – 84 szt.
- Lubuskim – 43 szt.
- Śląskim – 36 szt.

Jeżeli chodzi o najpopularniejsze marki to zdecydowanie wygrywa tutaj Solaris, który od 2015 r. do I połowy 2020 r. dostarczył na polski rynek prawie 200 szt. elektrobusów. Drugie miejsce ma Ursus z liczbą 68 szt., a stawkę trzech najmocniejszych e-marek zamyka Volvo, które w tym roku awansowało na podium dzięki inowrocławskiemu i świdnickiemu zamówieniu (razem 10 szt.).

Dane za 2020 rok pokazują, że polski rynek elektrycznych autobusów zaczyna się rozkręcać i w kolejnych latach czekają nas jeszcze kolejne rekordy. Aktualnie prognozy dla tego segmentu rynku wyglądają następująco: w trakcie dostaw (w tym z podpisanymi umowami) mamy 338 autobusów elektrycznych; w procedurze przetargowej są 34 e-busy; a z uzyskanym finansowaniem, ale jeszcze przed ogłoszeniem przetargu znajdują się 64 elektrobusy [48].

To razem daje liczbę 435 autobusów elektrycznych, które w najbliższej przyszłości, czyli w latach 2020–2022, wyjadą na polskie ulice. Te prognozy oznaczają, że w 2020 r. przekroczymy próg 100 e-rejestracji rocznie – a to za sprawą gigantycznego kontraktu MZA Warszawa na łącznie 130 przegubowych elektrobusów, który zostanie zrealizowany do listopada 2020 r.

W tym kontekście należy podkreślić, że polskie zakupy elektrobusów w zdecydowanej mierze opierają się na wsparciu ze strony Unii Europejskiej. Po zamknięciu aktualnej perspektywy finansowej spodziewaliśmy się, że dalszy rozwój tego rynku zapewni rządowy

program Bezemisyjnego Transportu Publicznego, do którego miasta zgłosiły wolę zakupu do 1082 elektrobusów. Tak się jednak nie stanie. W marcu br. NCBiR poinformował o zawieszeniu procedury. Teraz o popularności napędu mają zadecydować pieniądze z NFOŚiGW (programy Gazela i Gepard), Narodowego Funduszu Niskoemisyjnego i… środków własnych przedsiębiorstw. Nawet bez kryzysu wywołanego przez COVID-19 byłaby to słaba perspektywa.

4.2. Potrzeba

Ciągłe dążenie do polepszenia jakości powietrza w miastach generuje nieustanne poszukiwania nowych rozwiązań, których celem jest redukcja emisji CO_2 także w sektorze transportu miejskiego [1]. W realizację tego celu angażują się zarówno władze miast, zakłady transportu miejskiego, jak i producenci autobusów. Istotnym działaniem w tym zakresie jest zastosowanie paliw i napędów alternatywnych. Zaliczono do nich m.in. energię elektryczną i wodór. Na postawione oczekiwania zdecydowała się odpowiedzieć także firma URSUS BUS SA, rozwijając kolejne generacje autobusów z napędem elektrycznym, które już jeżdżą po ulicach polskich miast. Ale zerowa emisyjność autobusów elektrycznych i elektryczno-wodorowych w miejscu użytkowania jest tylko jedną z wielu ich zalet. Do kolejnych można zaliczyć brak generowania hałasu, wibracji oraz dużą dynamikę jazdy wynikającą z charakterystyk silników elektrycznych. Artykuł przedstawia drogę rozwojową trzech generacji autobusów elektrycznych marki URSUS, prowadzącą do wprowadzenia na rynek autobusu elektryczno-wodorowego o zasięgu ponad 450 km.

Paliwa alternatywne, o niskiej emisji CO_2, są ważnym czynnikiem stopniowego obniżenia emisyjności transportu, stanowiącego podstawowy cel strategii „Europa 2020”, strategii zrównoważonego rozwoju transportu oraz europejskiej polityki transportowej na pierwszą połowę XXI w., dotyczącej obniżenia do 2050 r. o 60% emisji CO_2 w transporcie. Zastosowanie takich paliw będzie miało również korzystny wpływ na zdolność obszarów miejskich do spełnienia unijnych zobowiązań w zakresie jakości powietrza, m.in. poprzez wyeliminowanie do 2050 r. pojazdów o napędzie konwencjonalnym.

W realizację tego celu angażują się zarówno władze miast, zakłady transportu miejskiego, jak i producenci autobusów [15]. Ale zerowa emisyjność autobusów elektrycznych i elektryczno-wodorowych w miejscu użytkowania jest tylko jedną z wielu ich zalet. Do kolejnych można zaliczyć brak generowania hałasu, wibracji oraz dużą dynamikę jazdy, wynikającą z charakterystyk silników elektrycznych.

4.3. Rozwiązanie

4.3.1. Geneza produkcji niskoemisyjnych autobusów przez Ursus SA

Pierwsze doświadczenia w zakresie produkcji pojazdów transportu zbiorowego zdobyła firma URSUS SA (producent ciągników rolniczych), podczas realizacji dostawy do lubelskiego Zakładu Transportu Miejskiego 38 sztuk trolejbusów [16]. Ważnym atrybutem tych trolejbusów jest układ napędu autonomicznego w postaci baterii litowo-polimerowych o pojemności energetycznej 34 kWh. Umożliwia on przejechanie około 10 km poza siecią trakcyjną. Przez ten fakt trolejbus URSUS T-70116, przedstawiony na rysunku 4.2, był również pierwszym krokiem w kierunku produkcji bateryjnych pojazdów elektrycznych [53].

Rys. 4.1.Trolejbus URSUS T-70116.

Kolejnym krokiem było wyprodukowanie autobusu z napędem elektrycznym – EKOVOLT, który posiada zasięg ok. 100 km na jednym ładowaniu baterii. Przedsięwzięcie zostało podjęte przez konsorcjum: URSUS SA, MPK Lublin oraz Politechnika Lubelska. Zrealizowana inicjatywa stanowi jednocześnie wzorcowy przykład efektywnej współpracy przedsiębiorstwa transportowego, producenta autobusów i instytucji naukowej w realizacji wspólnego projektu.

Dla realizacji kolejnych generacji autobusów została powołana odrębna spółka o nazwie URSUS BUS SA, która wykonała autobus elektryczny city smile, którego zasięg został zwiększony do 160 km. Aktualnie firma testuje kolejny autobus, w którym prąd elektryczny wytwarzany jest w wodorowych ogniwach paliwowych. Ogniwa paliwowe są urządzeniami elektrochemicznymi, które charakteryzuje wysoka sprawność zamiany energii chemicznej, zgromadzonej w wodorze, na energię elektryczną [2]. Zasięg generacji wodorowej wynosi 450 km na jednym tankowaniu wodoru, który jest gromadzony w pojeździe w wysokociśnieniowych zbiornikach kompozytowych.

4.3.2. Autobus elektryczny – generacja 1

Pierwszy elektryczny autonomiczny autobus marki Ursus otrzymał nazwę EKOVOLT. Konstrukcję stanowi szkielet wykonany ze stali nierdzewnej z poszyciem z włókna szklanego i aluminium. Stanowi on kategorię autobusu miejskiego o DMC 18 ton, a producent zapewnił 12-letnią żywotność nadwozia. Wszystkie pokładowe układy elektryczne zostały powiązane siecią CAN w celu sprawnego sterowania i ciągłego monitoringu poprawności działania. Autobus posiada układ odzyskiwania energii hamowania. Został wyposażony w pokładową ładowarkę o mocy 30 kW w wyniku czego czas pełnego ładowania baterii wynosi około 6 godzin. EKOVOLT podczas podjazdu do pantografu został przedstawiony na rysunku 4.2.

Rys. 4.2. Autobus elektryczny EKOVOLT marki URSUS (generacja 1) podczas podjazdu do ładowania pantografem.

Trakcja elektryczna pierwszej generacji autobusów marki Ursus oparta była na pakiecie baterii litowo-żelazowo-fosforanowych, mających możliwość ładowania w ujemnych temperaturach i charakteryzujących się podwyższonym poziomem bezpieczeństwa. Nad poprawnością pracy czuwa wbudowany BMS (*Battery Management System*). Pakiet baterii EKOVOLTA przedstawia rysunek 4.3.

Rys. 4.3. Pakiet baterii EKOVOLTA.

12-metrowy pojazd napędzany jest silnikiem elektrycznym o wysokiej sprawności, synchronicznym z magnesami trwałymi. Silnik charakteryzuje się niską masą, chłodzeniem wodnym oraz możliwością pracy w charakterze prądnicy – umożliwiając odzyskiwanie energii hamowania. Moc ciągła 170 kW (chwilowa 250) oraz moment ciągły 1600 Nm (chwilowy aż 3400 NM) zapewniają dużą dynamikę pojazdu w razie potrzeby oraz ekonomię podczas normalnej eksploatacji.

Oszczędzanie energii elektrycznej w autobusie jest wspomagane przez fotowoltaiczny system ładowania baterii pokładowych 24 V. Składa się on z zamontowanych na dachu autobusu elastycznych i odpornych na zmienne warunki atmosferyczne paneli – co przedstawia rysunek 4.4.

Rys. 4.4. Panele fotowoltaiczne na dachu autobusu.

Uzupełnianie energii w bateriach odbywa się poprzez ładowanie nocne z wykorzystaniem ładowarki pokładowej o mocy 30 kW oraz ładowanie szybkie, wykorzystujące zewnętrzne ładowarki o mocach dochodzących do 250 kW. Ładowanie szybkie odbywa się za pomocą wtyczki typu Combo – Phoenix Contact lub pantografu (rysunek 4.5).

Rys. 4.5.Szybkie ładowanie za pomocą pantografu.

Autobus elektryczny URSUS EKOVOLT z powodzeniem obsługuje jedną z lubelskich linii komunikacji miejskiej. Dotychczasowa jego praca charakteryzuje się wyjątkową bezawaryjnością.

4.3.3. Autobus elektryczny – generacja 2

2 generacja autobusów elektrycznych marki Ursus została nazwana CITY SMILE. Zyskała ona całkiem nowe nadwozie, jeszcze bardziej atrakcyjne i funkcjonalne (patrz

rysunek 4.6). Także układ napędowy został zmodyfikowany i znacznie ulepszony w stosunku do generacji pierwszej. Charakteryzują go przede wszystkim powiększone zasobniki energii, umożliwiające przejechanie 160 km na jednym ładowaniu.

Rys. 4.6. Autobus elektryczny URSUS CITY SMILE (generacja druga) na ulicach Lublina [53].

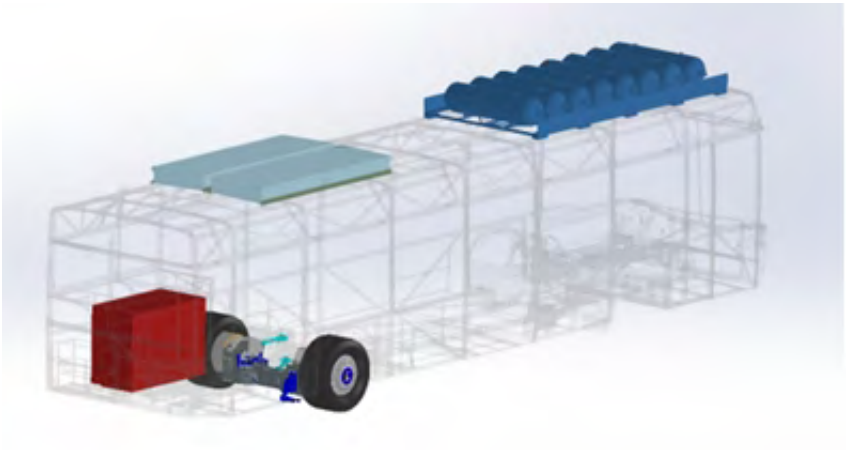
Silnik elektryczny został usytuowany po lewej stronie pojazdu za tylną osią. Chłodzoną cieczą jednostkę charakteryzuje moc znamionowa 170 kW oraz moment mocy ciągłej 1600 Nm. Baterie trakcyjne posiadają łączną pojemność energetyczną 175 kWh i zostały rozmieszczone na dachu i na zwisie tylnym. Podobnie jak pierwsza generacja, autobus posiada ładowarkę pokładową o mocy 30 kW oraz możliwość szybkiego ładowania z ładowarki zewnętrznej za pomocą wtyczki typu Combo – Phoenix Contact lub pantografu. Zastosowanie dwa razy dziennie w przerwie pomiędzy kursami szybkiego ładowania zwiększa zasięg pojazdu o kolejnych 90 km [1].

4.3.4. Autobus elektryczno-wodorowy – generacja 3

Ostre regulacje prawne, dotyczące czystości spalin, bez wątpienia przyspieszają wdrożenie ogniw paliwowych do napędu samochodów osobowych i autobusów. Przemysł samochodowy jest z pewnością najaktywniejszym inwestorem w obszarze ogniw paliwowych i każdego roku inwestuje miliardy dolarów w ich badania i rozwój. Niemal wszystkie koncerny samochodowe są zaangażowane w badania nad ogniwami paliwowymi i posiadają prototyp zasilanego wodorem pojazdu.

Aby mówić o trwałości i niezawodności ogniwa paliwowego jako jednostki napędowej pojazdu, należy stworzyć odpowiedni projekt takiego układu [1]. W historii motoryzacji miały miejsce próby zastosowania wielu rodzajów ogniw paliwowych do napędu samochodu. Nie wszystkie z nich okazały się jednak do tego odpowiednie. Typem ogniwa paliwowego, które w największym stopniu spełnia wymogi dzisiejszej motoryzacji jest ogniwo PEM (ang. *Proton Exchange Membrane*). Przypuszczenia to potwierdza tendencja u liderów w tej dziedzinie. Ogniwa PEM posłużyły do zbudowania wielu jeżdżących prototypów samochodów przyszłości.

Praktycznym przykładem układu zasilania opartego na tym ogniwie jest napęd nowego ursusa demo hydrogen – rysunek 4.8. Pojazd wykorzystuje system ogniw PEM o mocy 60 kW, współpracujący z zestawem baterii litowo-jonowych. Wodór jest przechowywany w pojeździe w formie sprężonej pod ciśnieniem 35 MPa. Obecny zasięg pojazdu wynosi około 450 km, i przewiduje się jego zwiększenie. Zakładany przez producenta okres eksploatacji wynosi 20 000 godzin pracy, co odpowiada przebiegowi 700 000 kilometrów.



Rys. 4.7. Elementy systemu zasilania autobusu elektryczno-wodorowego FCEB (*Fuel Cell Electric Bus*) [53].

Premiera autobusu elektryczno-wodorowego miała miejsce na międzynarodowych targach aut użytkowych IAA 2016 Hannover, co przedstawiono na rysunku 4.8.

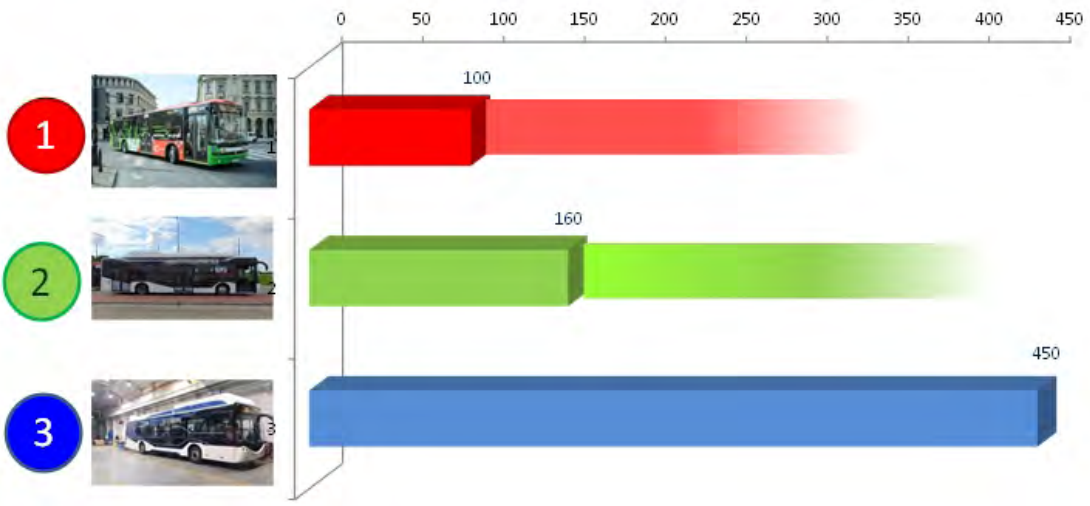
Rys. 4.8. Autobus elektryczno-wodorowy URSUS generacja 3 podczas swojej premiery na targach w Hanowerze [51].

Układ napędowy „lubelskiego wodorowca” stanowią silniki elektryczne umieszczone w piastach kół, zamontowane na dachu baterie trakcyjne (pojemność energetyczna 70 kWh) oraz dwa moduły wodorowych ogniw paliwowych.

4.4. Rezultaty

Porównanie parametrów i osiągów trzeciej generacji autobusów elektrycznych

Kolejne generacje rozwojowe autobusów elektrycznych charakteryzują się coraz większym zasięgiem. Elektryczna 1 generacja była w stanie na jednym pełnym ładowaniu baterii przejechać ok. 100 km w warunkach ruchu miejskiego (patrz rysunek 4.9.). Kolejnych 90 km autobus jest w stanie przejechać w wyniku dwóch krótkich doładowań baterii w trybie szybkiego ładowania. Zasięg 160 km, odpowiadający dziennemu zapotrzebowaniu na wybranych trasach miejskich, jest w stanie pokonać już 2 generacja autobusów elektrycznych na jednym pełnym naładowaniu baterii. Kolejne doładowania są w stanie zwiększyć ten zasięg o kolejnych 200 km. 3 generacja charakteryzuje się największym zasięgiem ze względu na zmianę sposobu gromadzenia energii w autobusie. Energia nie jest gromadzona w postaci energii elektrycznej w bateriach, lecz w postaci energii chemicznej sprężonego wodoru. Dzięki temu rozwiązaniu zasięg pojazdu został zwiększony do 450 km, co umożliwia jego wykorzystanie na trasach międzymiastowych. Ogromną zaletą rozwiązania elektryczno-wodorowego jest bardzo krótki czas tankowania wodoru. Proces tankowania 35 kg wodoru pod ciśnieniem 350 barów trwa jedynie około 15 minut.



Rys. 4.9. Porównanie zasięgu trzech generacji autobusów elektrycznych marki Ursus.

Zwiększenie zasięgu poszczególnych generacji było możliwe w wyniku odpowiedniego doboru komponentów układu napędowego. Zauważyć tu można stosowanie w nowszych generacjach rozwiązań bardziej nowoczesnych i odważnych, dzięki którym możliwe było zwiększanie sprawności, a przez to lepsze wykorzystanie zgromadzonej w pojeździe energii. Energia w 1 i 2 generacji jest gromadzona jedynie w bateriach trakcyjnych. 3 generacja gromadzi energię zarówno w bateriach, jak i w postaci wodoru. To właśnie drugi akumulator wodorowy jest w stanie zg5omadzić ponad 1100 kWh energii, przyczyniając się do osiągnięcia zasięgu ponad 450 km na jednym tankowaniu (patrz tabela 4.1). Taki zasięg oznacza ok. 45% sprawność zamiany energii chemicznej wodoru na energię mechaniczną przekazywaną na koła pojazdu. Jest to sprawność o wiele większa niż tradycyjnych napędów wykorzystujących silniki spalinowe. Po wyczerpaniu całego zapasu wodoru autobus

posiada jeszcze autonomię (ok. 65 km) w celu dojechania do stacji tankowania sprężonym wodorem.

Tabela 4.1. Energia w pojeździe i zasięg poszczególnych generacji autobusów elektrycznych URSUS

Generacja	Energia w bateriach [kWh]	Energia w wodorze [kWh]	Zasięg na jednym ładowaniu [km]
1	120	-	100
2	175	-	160
3	70	1166	65+450

Wszystkie 3 generacje są również pojazdami typu plug-in mającymi możliwość doładowania baterii elektrycznych. Jest to realizowane dzięki możliwościom technicznym rozwijanych stacji szybkiego ładowania za pomocą pantografu, a także logistycznemu planowaniu tras przejazdu, uwzględniającemu takie procesy.

Rozwiązaniem niewymagającym w ciągu dnia doładowywania baterii ze źródeł zewnętrznych jest 3 generacja – elektryczno-wodorowa. Jednak w tym przypadku ograniczeniem jest brak rozwiniętej infrastruktury tankowania sprężonym wodorem. Pocieszeniem jest fakt, że zarówno w krajach Europy Zachodniej, jak i w Skandynawii z każdym rokiem przybywa takich stacji. W naszym kraju również jest planowane budowanie infrastruktury tankowania pojazdów sprężonym wodorem. Według deklaracji Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie do 2030 r. w Polsce ma powstać dziewięć stacji tankowania wodoru, a pierwsze – dwie do 2020 r. Zasilą one europejską sieć stacji wodorowych. Sieć ma umożliwić przejazd samochodem wodorowym wokół Morza Bałtyckiego oraz na trasie północ–południe, od Morza Bałtyckiego po Morze Adriatyckie. Eksperci twierdzą, że urynkowienie technologii wodorowej w transporcie nastąpi dopiero w latach 2040–2050. Nic dziwnego, biorąc pod uwagę liczbę obecnie oferowanych z taką formą zasilania samochodów oraz liczbę odpowiednich stacji. Na początku 2015 było ich na świecie jedynie 184, z czego 82 w Europie. W 2020 roku globalnie powinno być ich już jednak ponad 1000, a w 2030 – około 4 tysięcy.

Ursus Bus jest w stanie rozwinąć i wprowadzić na rynek wiele rodzajów niskoemisyjnych autobusów. Najbardziej zaawansowany jest wodorowy ursus.

5. Napęd pojazdu hybrydowego toyota prius

5.1. Klient

Toyota prius jest pojazdem, który klienci albo kochają, albo nienawidzą. Moim zdaniem jest to auto rodzinne, przeznaczone przede wszystkim do poruszania się po mieście i do pokonywania niewielkich odległości. Dlaczego przede wszystkim po mieście? Dlatego, że jest to obszar dedykowany napędom hybrydowym. To właśnie w ruchu miejskim różne modele toyoty prius wykazują swoje największe przewagi nad pojazdami wyposażonymi w silniki spalinowe.

Toyota prius jest kojarzona z rozsądnym wykorzystaniem paliwa i oszczędnością. I te cechy są również przypisywane ich właścicielom. Przypomnijmy, że toyota prius została wprowadzona na rynek amerykański na długo przed koniecznością oszczędzania przez Amerykanów na paliwie.

Od ponad 20 lat Toyota rozwija kolejne generacje priusa. Są klienci wierni tej marce i temu modelowi od samego początku. Co kilka lat mogą odświeżyć swój pojazd zgodnie z najnowszymi trendami światowymi. Liczą na to, że Toyota dostarczy niezawodny i oszczędny układ napędowy oraz komfortowe i funkcjonalne wyposażenie wnętrza.

5.2. Potrzeba

Pojawienie sie na rynku toyoty prius w roku 1997, zwróciło uwagę kierowców na zanieczyszczenie środowiska związane z ruchem samochodowym. Jako że koncern Toyota nie miał żadnej pewności, jak nowatorskie rozwiązanie zostanie przyjęte przez rynek motoryzacyjny, w początkowej fazie, tj. przez okres pierwszych trzech lat, koncern Toyota zdecydował się na sprzedaż hybrydowego modelu prius wyłącznie w Japonii. Rynek japoński nie został wybrany dlatego, że jest rodzimym rynkiem Toyoty, ale również dlatego, że jest rynkiem najbardziej podatnym na nowoczesne rozwiązania technologiczne.

Proces, który doprowadził do powstania priusa, rozpoczął się w 1993 roku, kiedy nasiliły się wewnętrzne dyskusje w koncernie Toyoty na temat pojazdu XXI wieku. W tym roku uruchomiony został projekt G21, stanowiący środek do promowania rozwoju technologicznego. Wraz z dyrektorem generalnym projektu Takeshi Uchiyamada, podjęto wysiłki w kierunku znalezienia sposobów na osiągnięcie przełomowej poprawy wydajności paliwowej, która oświetliłaby drogę w XXI stulecie.

Mając na celu poprawę wydajności silnika, jako główny cel, projekt G21 postawił sobie podniesienie wydajności paliwowej o 50% w porównaniu z silnikami konwencjonalnymi. Jednak odgórnym posunięciem Akihiro Wada (wiceprezes wykonawczy ds. badań i rozwoju) wyznaczył wysoki cel w postaci dwukrotnej poprawy. Latem 1994 r. zatwierdzono podstawową koncepcję G21, ale dopiero później zdecydowano, że pojazd koncepcyjny zostanie pokazany na Tokyo Motor Show jesienią 1995 r. Podjęto decyzję o nadaniu pojazdowi

koncepcyjnemu formatu hybrydowego, ponieważ hybryda oferowała perspektywę podwojenia oszczędności paliwa.

Jednak od jesieni 1994 r., kiedy rozpoczęto prace nad koncepcyjnym pojazdem wystawowym, aż do zimy nastąpiła poważna zmiana w korporacyjnej atmosferze w TMC. W rezultacie zdecydowano się na format hybrydowy również dla wersji produkcyjnej. Dlatego zamiast skupiać się na ulepszaniu silnika, projekt skupił się na przyjęciu systemu hybrydowego. Efektem było ukończenie jesienią 1995 roku prototypowego modelu, który został zaprezentowany na Tokyo Motor Show i który wykorzystywał kondensator jako urządzenie magazynujące energię elektryczną.

Oprócz radykalnej poprawy wydajności silnika i układu napędowego, w celu uzyskania wysokiej efektywności paliwowej wynoszącej 30 km/l, zastosowano również funkcje mające znaczenie epokowe, takie jak odzyskiwanie energii i wyłączanie silnika podczas postoju (japoński cykl testowy).

Oprócz dalszego ulepszania nowej generacji silnika benzynowego TOYOTA D-4 z bezpośrednim wtryskiem, który został ogłoszony w 1993 roku, w priusie zastosowano nowy projekt, który optymalizuje wielkość emisji. Do przekładni zastosowano wysokosprawną przekładnię CVT.

5.3. Rozwiązanie

5.3.1. Toyota prius – I generacja

Koncepcyjny model toyoty prius przedstawiony został w 1995 roku na targach motoryzacyjnych odbywających się w Tokio. Model produkowany był w latach 1997–2003. Toyota prius była pierwszym pojazdem z napędem hybrydowym produkowanym na masową skalę. Początkowo sprzedawana była tylko w Japonii, lecz w latach 2000 została eksportowana na pozostałe rynki. Nazwa modelu „prius” wywodzi się z języka łacińskiego i oznacza „wcześniej”. Prius I generacji występował w 2 wersjach silnikowych, to jest o pojemności 1.5 litra 16V i mocy 58KM / 43 KW oraz 1.5 litra VVT-i i mocy 72KM/53 KW [76].

Rys. 5.1. Toyota prius I generacji [75].

Rys. 5.2. Toyota prius I generacji – wnętrze [76].

Na desce rozdzielczej toyoty prius I generacji zastosowano niecodzienne, jak na tamte czasy, rozwiązanie – kolorowy ekran dotykowy. Jego zadaniem było bieżące monitorowanie pracy układu hybrydowego. Odbywało się to poprzez prezentację na ekranie słupkowego wykresu zużycia paliwa, a także ilość energii, która została odzyskana. Katalogowy zasięg tego samochodu wynosił około 900 kilometrów. Z kolei przyspieszenie do 100 km/h trwało 13,4 sekundy. Maksymalną prędkością, jaką osiągała toyota prius I – generacji, było 160 km/h, a średnie spalanie wynosiło 5 l/100 km [10].

Rys. 5.3. Toyota rius I generacji – kolorowy ekran dotykowy [77].

Samochód ten wyposażony był w klimatyzację oraz posiadał elektryczne wspomaganie kierownicy. Charakterystycznym elementem priusa była dźwignia służąca do zmiany ustawień przekładni. Napęd był przekazywany przy pomocy bezstopniowej przekładni planetarnej. Już w tej wersji toyoty prius obecna była pozycja „B", pozwalająca na bardziej efektywne hamowanie silnikiem w momencie zjazdu ze wzniesienia.

Autorem projektu nadwozia było amerykańskie studio projektowe Calty Design Research. Wysokie trójbryłowe nadwozie charakteryzowało się ostrymi krawędziami oraz przetłoczeniami. Całość ozdabiały detale stylistyczne.

5.3.2. Toyota prius – II generacja

Toyota prius II generacji produkowana była w latach 2003–2009. Razem z tym modelem pojawiła się charakterystyczna linia nadwozia typu liftback. Do chwili obecnej wspomniany rodzaj nadwozia jest symbolem tego modelu toyoty. W porównaniu z priusem I generacji, samochód ten został przebudowany w sposób gruntowny. Pojazd ten był większy i posiadał pięciodrzwiowe nadwozie mające 4,5 metra długości. Nowy model swoim kształtem przypominał klin, dzięki czemu zredukowano współczynnik oporu powietrza Cx do poziomu równego 0,26 [78].

Rys. 5.4. Toyota prius II generacji [78].

Rys. 5.5. Toyota prius II generacja – wnętrze [78].

Przy budowaniu II generacji priusa skupiono się głównie na rozwoju układu hybrydowego. Zwiększono moc silnika elektrycznego o 50% po to, aby poprawić osiągi [78]. Silnik elektryczny był synchroniczny ze stałymi magnesami. Jego napięcie wynosiło 500 V, a maksymalna moc 50 kW przy 1200–1540 obr./min. Maksymalny moment obrotowy wynosił 400 Nm przy 0–1200 obr./min. Dzięki takim udoskonaleniom toyota prius stała się samochodem szybszym oraz jeszcze bardziej dynamicznym, przy czym emitowała mniejsze ilości dwutlenku węgla do atmosfery. Ponadto pojazd ten zyskał nowocześniejsze, a także lżejsze baterie niklowo-wodorowe, które charakteryzowała mniejsza liczba ogniw mających większą gęstość energii. Zostały one umieszczone pod podłogą bagażnika w taki sposób, aby nie uszczuplić jego pojemności. W związku z tym prius II generacji miał bagażnik o pojemności 408 litrów, z możliwością zwiększenia aż do 1210 litrów. Dodatkowo w tylnej części nadwozia zaadaptowane było miejsce na koło dojazdowe, jak również było kilka praktycznych schowków.

Rys. 5.6. Toyota prius II generacji – napęd hybrydowy [78].

W tym modelu po raz pierwszy w jakimkolwiek samochodzie obecny był klimatyzator z elektryczną sprężarką. Oznaczało to, że układ miał możliwość działania także przy wyłączonym silniku spalinowym, a więc oznaczało to nic innego jak kolejne oszczędności w zużyciu paliwa. Warto nadmienić, że prius II generacji miał system kontroli hamulców, silnika oraz skrzyni biegów działający z pominięciem układów mechanicznych. System ten działał na zasadzie impulsów elektrycznych [10].

W toyocie prius II generacji panel klimatyzacji obsługiwany był przy użyciu dotykowego ekranu multimedialnego. W modelu tym pojawiła się dźwignia sterowania bezstopniową przekładnią E-CVT. Prius II generacji miał wielofunkcyjną kierownicę. Przyciski umieszczone na kierownicy pozwalały na sterowanie elementarnymi funkcjami systemu multimedialnego, jak również klimatyzacją i ogrzewaniem tylnej szyby. Wnętrze tej toyoty charakteryzowało się niezwykłą ergonomią, która objawiała się wieloma schowkami oraz uchwytami. Do innowacyjnych zastosowań można zaliczyć podwójny schowek, który umieszczony był przed siedzeniem pasażera. Przednie lampy toyoty prius II generacji wyposażone były w żarówki H7. Rozwiązanie to spowodowało, że przednie oświetlenie samochodu zyskało bardziej futurystyczny kształt, który korespondował z nową linią nadwozia.

Nowy układ hybrydowy skonstruowany był z silnika spalinowego 1,5 l o mocy 78 KM. Agregat elektryczny wytwarzał dodatkowe 68 KM, czyli o połowę więcej od toyoty prius

I generacji. Spalanie tego modelu zmniejszyło się o 15% i wynosiło 4,3 l/100 km. Natomiast emisja dwutlenku węgla do 104 g/km.

Rys. 5.7. Toyota prius II generacja – układ hybrydowy [78].

5.3.3. Toyota prius – III generacja

Toyota prius III generacji produkowana była na przestrzeni lat 2009–2015. Model ten miał ostrzejsze i bardziej wyraziste kształty od swoich poprzedników, jednak zachował charakterystyczną trójkątną sylwetkę. Różnice między priusem II i III generacji mogą wydawać się niezauważalne na pierwszy rzut oka. Jednak inżynierowie wprowadzili zmiany w tym modelu toyoty, które obejmowały 90% wszystkich części. Twórcy tego samochodu udoskonalili jego właściwości o cechach aerodynamicznych. Dzięki temu zabiegowi samochód miał najlepszy, jak na tamte czasy, współczynnik oporu powietrza Cx 0,25.

Rys. 5.8. Toyota prius III generacji [80].

Rys. 5.9. Toyota prius III generacja – wnętrze [80].

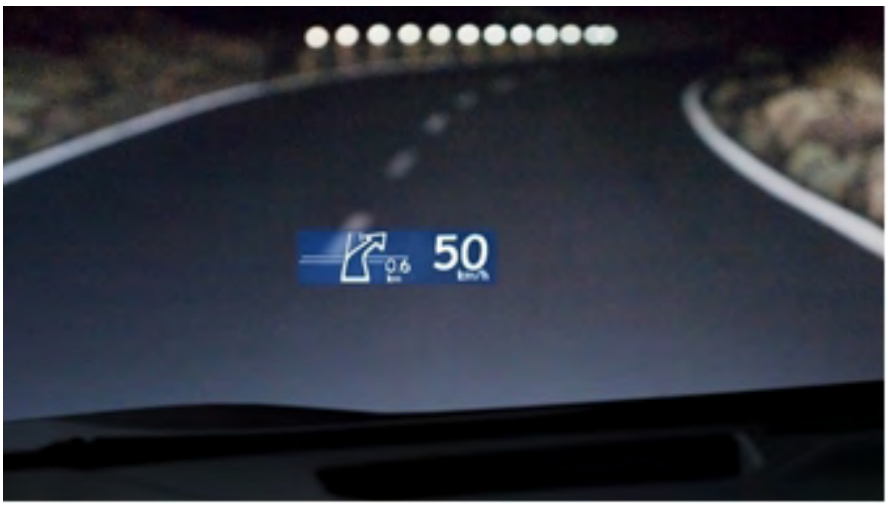
Jedną z nowości w toyocie prius III generacji był szklany dach, w który wbudowano panele fotowoltaiczne. Wyprodukowana przez te panele energia służyła do zasilania systemu wentylacji chłodzącego zaparkowany pojazd. Poprzez takie rozwiązanie ograniczono używanie klimatyzacji oraz zmniejszono zużycie paliwa. Tak jak w poprzednich modelach toyoty prius wskaźniki umieszczono na szczycie deski rozdzielczej.

Ponadto sterowanie bezstopniową przekładnią E-CVT również odbywało się przy użyciu joysticka, wbudowanego w wysoko poprowadzony środkowy tunel [80].

W priusie III generacji była płaska podłoga, pozbawiona środkowego tunelu, dzięki czemu komfort podróżowania poprawił się. We wnętrzu tego modelu dostępnych było wiele schowków oraz półek, które pomagały utrzymać porządek. Pojemność bagażnika wynosiła 445 litrów i można ją było powiększyć prawie trzykrotnie poprzez złożenie tylnych foteli.

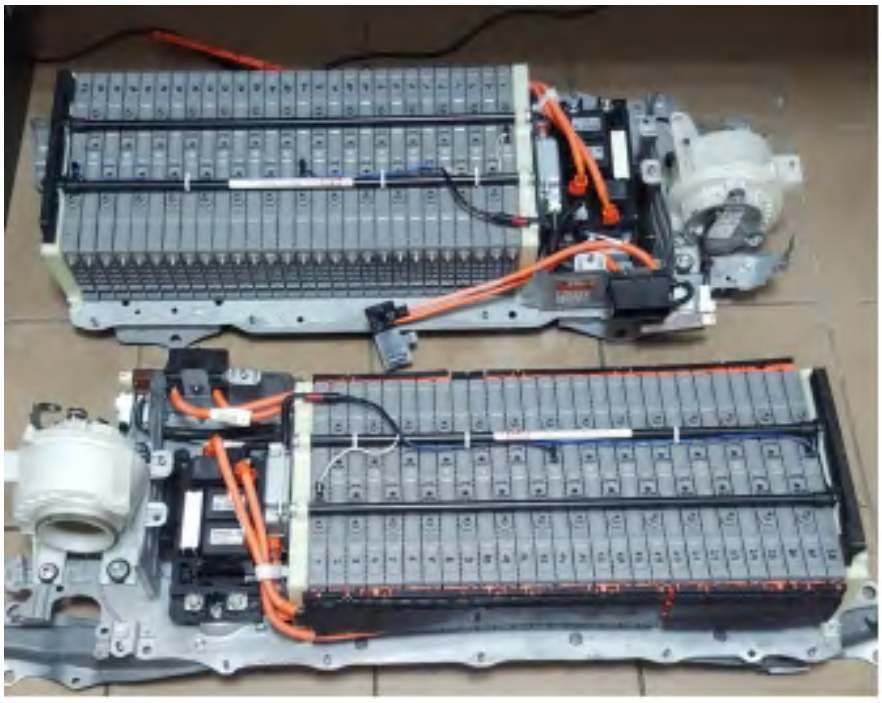
W toyocie prius III generacji układ hybrydowy miał jeszcze większy silnik benzynowy niż poprzednie generacje. Jego pojemność wynosiła 1,8l, a moc była równa 136 KM. Zużycie paliwa zostało ograniczone o 10%, natomiast emisja dwutlenku węgla o 14% [80].

Jeśli mowa o udogodnieniach, to w toyocie prius III generacji pojawił się wyświetlacz HUD, dzięki któremu na przedniej szybie samochodu wyświetlana była informacja o prędkości pojazdu, wskazówki nawigacji albo wykres poboru energii. Dodatkowo podczas jazdy można było wybrać tryb jazdy. Do wyboru był tryb: eco, power oraz EV. Wybierając tryb elektryczny, można było rozpędzić pojazd do prędkości 50 km/h, z kolei tryb power sprawiał, że wydajność układu hybrydowego zwiększała się o 50%. W zderzaku przednim zamontowano światła LED, które zmniejszyły zapotrzebowanie na energię o 30%.



Rys. 5.10. Toyota prius III generacja – wyświetlacz HUD,[84].

Jest to odpowiednie miejsce, aby zajrzeć do środka pakietu baterii trakcyjnych priusa III. Niestety, w tym obszarze koncern Toyota nie jest tak wylewny, jak inni producenci pojazdów elektrycznych. Zainteresowani muszą zdobywać informacje na blogach i forach internetowych. W tym przypadku zdjęcie udostępniła osoba sprzedająca pakiet baterii na popularnym portalu zakupowym Allegro. Otwarty pakiet baterii litowo-jonowych w priusie III przedstawiono na rysunku 5.11. Można zauważyć, że pakiet baterii zawiera nie tylko moduły bateryjne, ale także system BMS i wentylator chłodzący.



Rys. 5.11. Toyota prius III generacji – otwarty pakiet baterii [85].

Pakiet baterii priusa III składa się z 28 modułów pryzmatycznych. W tym przypadku zdjęcie pochodzi z innego portalu zakupowego Amazon (rysunek 5.12). Z oferty można dowiedzieć się także, że moduł został wyprodukowany przez firmę Panasonic jako OEM (ang. *Original Equipment Manufacturer*).

Rys. 5.12. Toyota prius III generacji – pojedyncza cela pryzmatyczna [86].

5.3.4. Toyota prius – IV generacja plug In

Toyota prius IV generacji miała swój debiut w kwietniu 2016 roku. Przy projektowaniu tego modelu wzięto pod uwagę wszelkie ulepszenia, które zmniejszały opór powietrza. Pojazd ten został wyposażony w mniejszy oraz wydajniejszy układ hybrydowy, dlatego też częściej korzysta z silnika elektrycznego. Zabieg ten spowodował, że zużycie paliwa w priusie IV jest na poziomie 3,3 litra na 100 kilometrów. Rozbudowana wersja tej toyoty wyposażona jest w tempomat, który dostosowuje prędkość pojazdu do prędkości z jaką porusza się pojazd znajdujący się przed nią.

Nadwozie toyoty prius IV generacji jest dłuższe o 8 centymetrów oraz szersze o 1,5 cm od toyoty prius III generacji. Wnętrze tego modelu jest największe, jeśli mowa o priusach, a bagażnik ma pojemność 502 litrów [82].

Rys. 5.13. Toyota prius IV generacji plug-in [82].

Rys. 5.14. Toyota prius IV generacji lug-in – wnętrze [83].

Toyota prius plug-in ma na wyposażeniu inteligentną klimatyzację, która rozpoznaje, czy siedzenia pasażerów są zajęte oraz dostosowuje kierunek nawiewu do potrzeb osób, znajdujących się w samochodzie. Dodatkowo ten model toyoty pozwala na bezprzewodowe ładowanie telefonu [83].

Najnowsza toyota prius napędzana jest układem hybrydowym nowej generacji, który ma moc 122 KM. Pojazd ten przyspiesza do 100 km/h w 10,6 s, osiągając o 0,7 s lepszy wynik w porównaniu z poprzednim modelem. Prędkość maksymalna, jaką może osiągnąć Toyota prius plug-in, wynosi 180 km/h. Zużycie paliwa zmniejszyło się o 15% [83].

Układ napędowy toyoty prius IV i w wersji plug-in przedstawiono na rysunku 5.15. Różnica między nimi polega na tym, że plug-in posiada wtyczkę ładowania baterii trakcyjnej. W standardowej wersji hybrydowej bateria jest doładowywana jedynie z energii odzyskiwanej podczas hamowania. Nowy prius hybrid vehicle (PHV) wykorzystuje system hybrydowy typu plug-in oparty na systemie Toyota Hybrid System (THS). Osiągi jazdy wyłącznie na napędzie elektrycznym zostały znacznie poprawione w porównaniu z oryginalnym THS dla obecnego priusa bez funkcji plug-in. Osiągi środowiskowe pojazdu, zużycie energii elektrycznej i paliwa są na najniższych poziomach występujących w samochodach klasy średniej.

Rys. 5.15. Toyota prius IV generacji w wersji hybrydowej i plug-in [87].

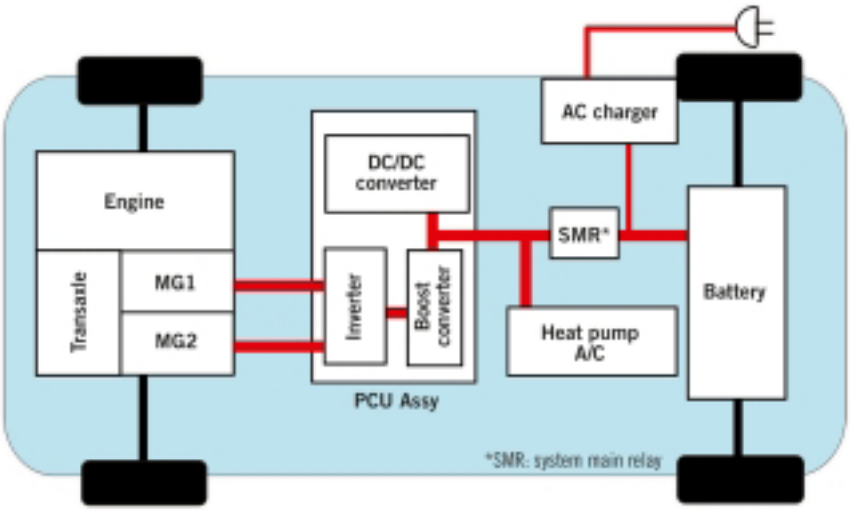
Po zdobyciu doświadczenia z poprzednią generacją prius PHV, celem przy opracowywaniu nowego priusa było zaprojektowanie wysoce wydajnego systemu o znacznie ulepszonej dynamice jazdy w trybie elektrycznym. Ponadto wydajność elementów układu hybrydowego w obecnym pojeździe hybrydowym prius musiała zostać zwiększona, aby otrzymać wysoką wydajność w trybie hybrydowym.

Jednocześnie celem konstruktorów była poprawa osiągów w niskich temperaturach podczas jazdy w trybie elektrycznym. Dodatkowo należało poprawić sprawność i moc systemu ładowania baterii trakcyjnej i w ten sposób skrócić czas jej pełnego ładowania. System ładowania musiał zostać wyposażony w nowe funkcje – na przykład na podstawie tygodniowego harmonogramu ładowania baterii. Widok najważniejszych komponentów toyoty prius IV plug-in przedstawiono na rysunku 5.16.

Rys. 5.16. Toyota prius IV plug-in – widok 3D komponentów układu napędowego i zawieszenia [91].

Architektura systemu hybrydowego w nowym priusie PHV, jest oparta na istniejącym już systemie hybrydowym priusa. Przyjęto za to nowy system napędu z dwoma silnikami, umożliwiający użycie generatora (MG1) oraz dodatkowego silnika (MG2) do napędzania pojazdu ze znacznie zwiększoną wydajnością w trybie elektrycznym EV. Aby zwiększyć zasięg w trybie EV, system akumulatorów trakcyjnych jest wyposażony w innowacyjną technologię cel o większej pojemności niż w modelu prius HV. Akumulator litowo-jonowy o dużej pojemności został opracowany z myślą o dużym zasięgu jazdy na napędzie elektrycznym z poborem dużej mocy. Opracowano ponadto system podgrzewania baterii, aby utrzymać ich właściwą temperaturę w niskich temperaturach otoczenia. Komfort w kabinie zapewnia system grzewczy oparty na pompie ciepła, pozwalający na uzyskanie dobrego zasięgu jazdy na napędzie elektrycznym również w niskich temperaturach otoczenia.

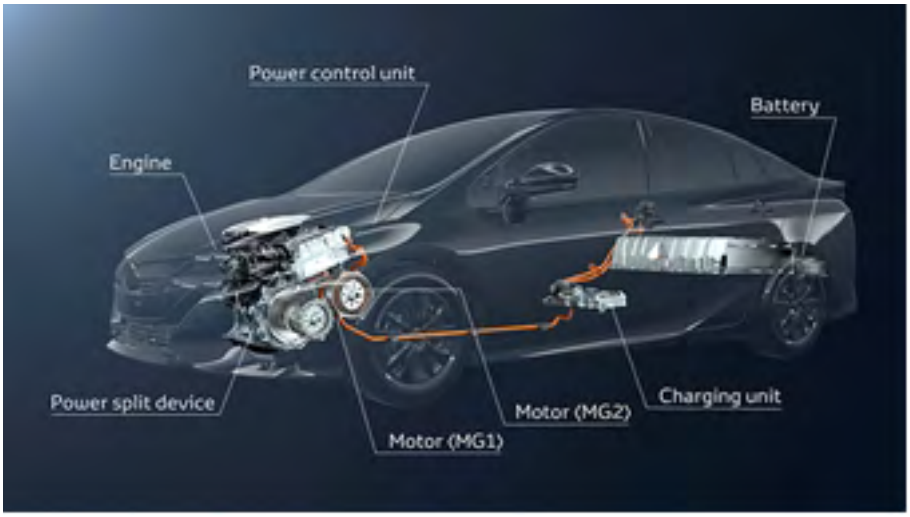
Moc nowej ładowarki pokładowej jest 1,6 raza większa niż w poprzednim priusie PHV w celu skrócenia czasu ładowania. System klimatyzacji wstępnej i system ogrzewania akumulatora można aktywować za pomocą timera podczas procesu ładowania baterii trakcyjnej. Dzięki temu rozwiązaniu kierowcy mogą cieszyć się komfortową jazdą od samego początku jazdy pojazdem. Silnik to ten sam silnik benzynowy 2ZR-FXE, który zastosowano w priusie HV z maksymalną sprawnością cieplną wynoszącą 40%. Architektura przedmiotowego pojazdu została przedstawiona na rysunku 5.17.



Rys. 5.17. Architektura układu napędowego toyoty prius IV [95].

System przeniesienia napędu wykorzystuje sprzęgło jednokierunkowe, umieszczone między silnikiem spalinowym a rozdzielaczem mocy. W następnej kolejności znajduje się system napędu dwusilnikowego, który umożliwia napędzanie pojazdu za pomocą dwóch silników elektrycznych. Elektryczna pompa olejowa (EOP) poprawia chłodzenie silnika i przekładni planetarnej podczas jazdy w trybie EV. Wykorzystanie istniejących komponentów i możliwości przekładni HV w priusie PHV pozwala na utrzymanie wysokiej wydajności w trybie HV.

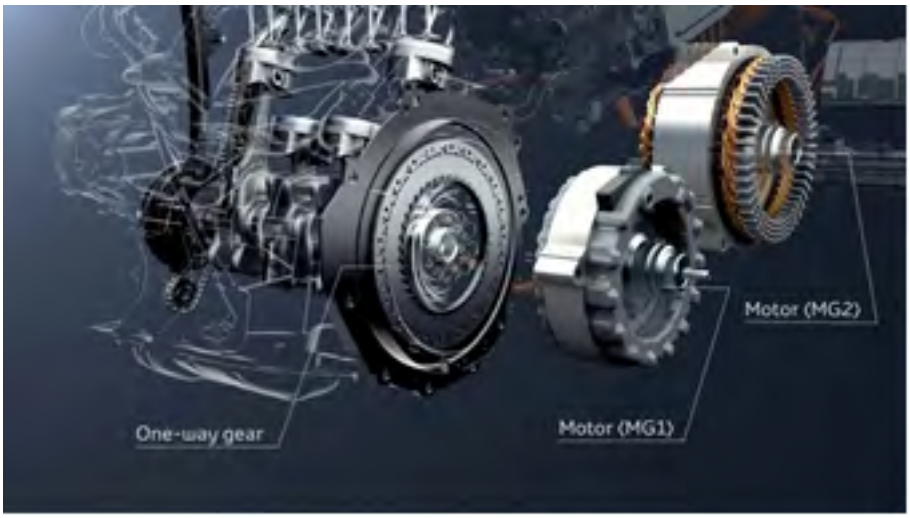
Skrzynia biegów PHV ma układ czterowałkowy z amortyzatorem skrętnym i ogranicznikiem momentu obrotowego. Przekładnia planetarna działa jako urządzenie rozdzielające moc, dostarczając moc z silnika do generatora lub pojazdu jako siłę napędową. Silnik trakcyjny, przekładnia redukcyjna silnika oraz urządzenie redukujące prędkość silnika są ustawione równolegle do wału wejściowego. Cienką konstrukcję sprzęgła jednokierunkowego o wysokim momencie obrotowym uzyskano dzięki mechanicznemu sprzęgłu jednokierunkowemu z zapadkami, które nie zwiększa tarcia.



Rys. 5.18. Rozmieszczenie komponentów układu napędowego toyoty prius IV plug-in [89].

Aby uniknąć hałasu zapadki, prędkość oddzielenia zapadek i bieżni wewnętrznej została ustalona na około 400 obr./min., czyli znacznie mniej niż prędkość obrotowa silnika na biegu jałowym wynosząca około 1000 obr./min. Ponieważ zapadki i bieżnia wewnętrzna nie stykają się w trybie HV, konstrukcja ta minimalizuje również moment oporu sprzęgła jednokierunkowego.

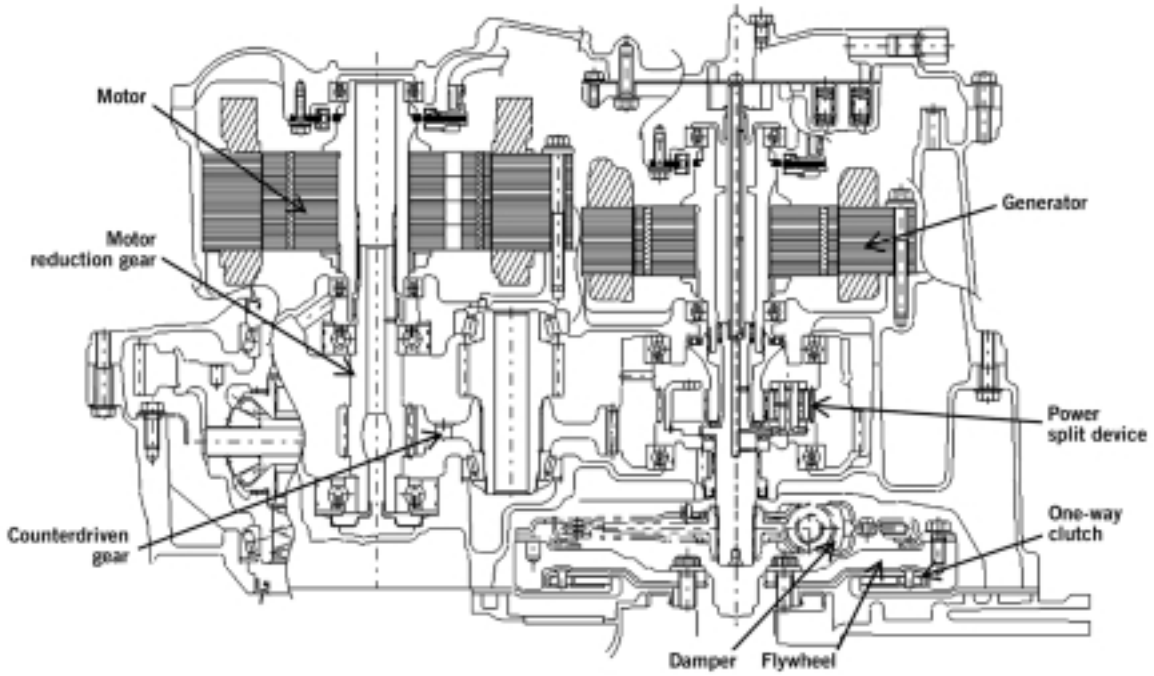
Układ napędowy z dwoma silnikami elektrycznymi umożliwia zatrzymanie silnika spalinowego na dłuższy czas w porównaniu z normalnym HV. Wytwarzanie ciepła przez silnik trakcyjny jest kontrolowane przez elektryczną pompę oleju (EOP), poprawiając smarowanie i chłodzenie przekładni planetarnej, gdy napędzana silnikiem mechaniczna pompa olejowa (MOP) nie może dostarczyć płynu smarującego. Zamknięty obieg oleju z EOP wału wejściowego i przekładni planetarnej umożliwia smarowanie pod ciś-nieniem, gdy silnik spalinowy jest zatrzymany. Równoległe rozmieszczenie EOP i MOP oraz zastosowanie zaworów zwrotnych zapewnia smarowanie i chłodzenie w każdych warunkach pracy układu hybrydowego.



Rys. 5.19. Silniki hybrydowego układu napędowego toyoty prius IV [93].

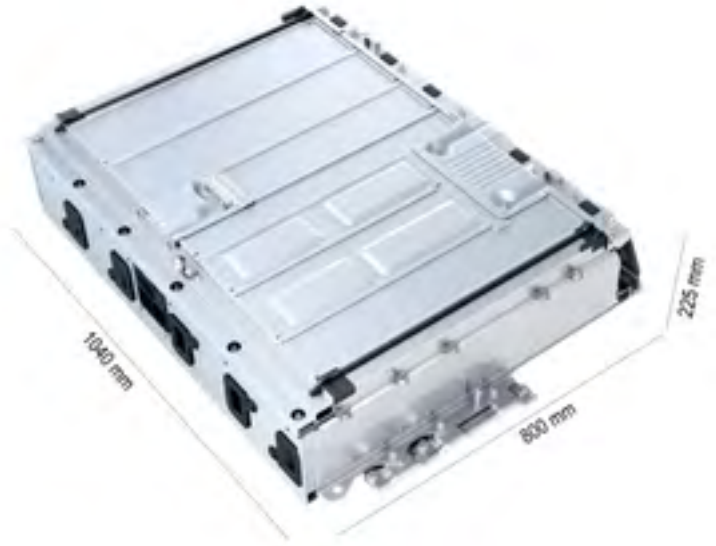
Złożenie dwóch silników elektrycznych układu napędowego przedstawiono na rysunku 5.20. Na rysunku 5.21 przedstawiono zaś przekrój przez podwójny silnik.

Rys. 5.20. Złożenie dwóch silników elektrycznych układu napędowego [94].



Rys. 5.21. Złożenie dwóch silników elektrycznych układu napędowego [95].

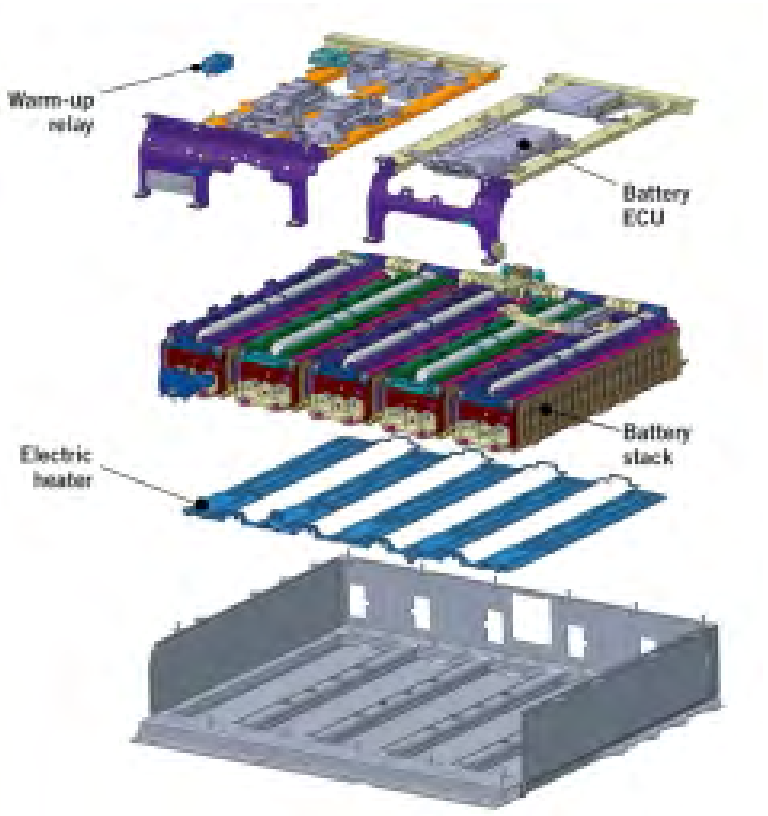
System baterii trakcyjnej obejmuje urządzenia sterujące BMS umieszczone na górze systemu. System akumulatorów jest chłodzony powietrzem. Całkowita pojemność energetyczna nowego elektrycznego układu napędowego została prawie podwojona do wartości 8,8 kWh. W porównaniu z poprzednim systemem PHV jego masa zwiększyła się tylko o 50% do 120 kg, a objętość zwiększyła się o 60% do 145 l. 95 ogniw zapewnia napięcie nominalne wynoszące 351,5 V. Konstrukcja pakietu baterii umożliwiła zachowanie płaskiej powierzchni bagażnika. Widok i wymiary pakietu baterii priusa IV plug-in przedstawiono na rysunku 5.22.



Rys. 5.22. Pakiet baterii trakcyjnych – wymiary [93].

Aby uniknąć ograniczeń mocy akumulatora w niskich temperaturach i konieczności rozruchu silnika spalinowego w celu zaspokojenia zapotrzebowania na moc ze strony kierowcy, elektryczna grzałka pod pakietem baterii ogrzewa go w niskich temperaturach.

Podczas procesu ładowania baterii trakcyjnej grzałka elektryczna utrzymuje odpowiednią temperaturę baterii. Materiał grzałki ma zmienną gęstość, która pomaga zoptymalizować wytwarzanie ciepła we wszystkich obszarach, zapewniając równomierne nagrzewanie ogniw w całym pakiecie akumulatorów. Wyższa moc grzałki w rogach uwzględnia zwiększoną utratę ciepła w obszarach o większej powierzchni zewnętrznej obudowy akumulatora, podczas gdy w środku akumulatora moc grzałki jest niższa. Umieszczenie maty grzewczej w pakiecie baterii można zobaczyć na rysunku 5.23.



Rys. 5.23. Pakiet baterii trakcyjnych – budowa [95].

Toyotę prius PHV można naładować do pełna w ciągu około 2 godzin przy użyciu jednofazowej sieci o napięciu 230 V. Ładowanie odbywa się z maksymalną mocą wynoszącą 3,3 kW. Ładowarka pokładowa jest kompatybilna z napięciami wejściowymi od 100 V do 240 V, biorąc pod uwagę infrastrukturę ładowania w Europie, Japonii i USA. Chłodzona powietrzem ładowarka jest zainstalowana pod tylnymi siedzeniami, aby nie zajmować miejsca przeznaczonego dla pasażerów i bagażu.

Ładowarka posiada sprawność wynoszącą 95%. Ładowarka i układ sterowania ładowaniem są zgodne ze standardami ładowania w trybie 2 i 3, normą IEC 61851-1 oraz normami ładowania poziomu 1 i 2 amerykańskiej normy SAE J1772. Wygląd ładowarki oraz pakietu baterii oraz złącza ładowania przedstawiono na rysunku 5.24.

Rys. 5.24. Rozmieszczenie komponentów ładowania baterii toyoty prius IV plug-in [90.]

W celu doładowywania baterii trakcyjnej opcjonalnie mogą zostać wykorzystane panele fotowoltaiczne, które są umieszczane na dachu pojazdu. Wygląd dachu z panelami fotowoltaicznymi został przedstawiony na rysunku 5.25.

Rys. 5.25. Dach z panelami fotowoltaicznymi [92].

5.4. Rezultaty

Toyota prius PHV osiąga znakomite parametry emisyjne, co potwierdzają wartości emisji z procesu homologacji. Zmierzona emisja CO_2 w cyklu emisyjnym NEDC wynosi jedynie 22 g/km. Pojazd otrzymał także pięć gwiazdek w teście ADAC EcoTest na podstawie opinii klientów od 2009 r.

Jak donoszą oficjalne źródła koncernu, Toyota hybrydy stanowiły w naszym kraju już 38% wszystkich samochodów sprzedanych w 2019 roku [96]. I ten udział zwiększa się z roku na rok.

Podsumowanie i wnioski

Studium przypadku jest bardzo miłą dla studentów i efektywną metodą nauczania. Podczas analizy konkretnego przykładu rynkowego studenci odbywają naukę na istniejących rzeczywiście przykładach. Studium wszystkich przypadków, opisanych w tym opracowaniu, zawierało przede wszystkim techniczny aspekt przedstawiający ideę i rozwój napędów elektrycznych i hybrydowych pojazdów. Zastosowano naukowe podejście do przedstawienia poszczególnych kroków w rozwoju i badaniach różnych typów prototypów przed wprowadzeniem ich na rynek. Wprowadzenie do studium przypadku analizy potrzeby i potencjalnego klienta nadaje studium szerszego wymiaru społecznego i ekonomicznego. W ten sposób studenci kierunków technicznych zdobywają dodatkowe kompetencje społeczne i ekonomiczne.

Przykład renault twizy uzmysławia nam, że pojazd miejski nie musi mieć rozmiarów SUV-a lub limuzyny, aby służył do łatwego i sprawnego poruszania się po mieście. Renault twizy jest odpowiedzią koncernu Renault na problemy cywilizacyjne miast w XXI wieku. Należą do nich korki, brak miejsc do parkowania oraz zanieczyszczenie powietrza. Elektryczny układ napędowy pojazdu zapewnia wystarczającą dynamikę i prędkość maksymalną jazdy. Zasięg jest wystarczający, by ładowanie baterii odbywało się raz dziennie lub raz na dwa dni. Kupując zoptymalizowany technicznie i bardzo ekonomiczny mały miejski pojazd można przyłączyć się do trendu elektromobilności i wspierać zrównoważony rozwój.

Drugi przykład skoncentrowany był na elektrycznym BMW i3. Zaprezentowano pojazd, który został zaprojektowany i wykonany z myślą o maksymalnym wykorzystaniu zalet napędu elektrycznego. Jego innowacyjna budowa, zarówno nadwozia, jak i układu napędowego, przekłada się na dużą dynamikę jazdy, jak i bezpieczeństwo i komfort jazdy. BMW i3 podobnie jak renault twizy, wyróżnia się odważnym designem zewnętrznym, który pozwala od razu na jego odróżnienie od setek innym modeli na drogach. BMW i3 może być zakupiony z napędem czysto elektrycznym lub z range extenderem, opartym na silniku spalinowym. W tej drugiej opcji BMW i3 staje się autem zdolnym pokonywać dłuższe trasy.

Rozdział trzeci przedstawia bardzo ciekawe studium rozwoju pojazdu dostawczego z napędem elektrycznym, który byłby w stanie w najwyższym stopniu spełniać wymagania Poczty Polskiej i Poczty Niemieckiej. Rozwijany dla Poczty Niemieckiej street scooter niestety nie znalazł wystarczającej grupy odbiorców i po kilku latach produkcji firma upadła. Rozwijany dla Poczty Polskiej ursus elvi do tej pory nie doczekał się komercjalizacji rynkowej, pomimo rozwoju do bardzo zaawansowanego i obiecującego prototypu. Okazało się, że zarówno Poczta Polska, jak i jej niemiecki odpowiednik, muszą skorzystać z oferty rynkowej na elektryczne dostawcze pojazdy o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony dużych koncernów motoryzacyjnych jak Mercedes, VW czy Renault.

Rozdział czwarty koncentruje się na jeszcze większych pojazdach, wykorzystujących elektryczne i hybrydowe układy napędowe. Należą do nich autobusy miejskie i międzymiastowe. Studium przypadku rozwoju napędów elektrycznych i hybrydowych pokazało, że również lubelska firma jest w stanie wejść we współzawodnictwo w tym obszarze z dużymi polskimi i światowymi producentami. Ursus hydrogen bus z powodzeniem jeździ od kilku lat w Holandii, gdzie istnieje odpowiednia infrastruktura do tankowania wodorem pojazdów napędzanych wodorowymi ogniwami paliwowymi.

Ostatnie, piąte studium przypadku koncentruje się na rozwoju i komercjalizacji najpopularniejszego pojazdu hybrydowego – toyoty prius. Przedstawiono i dokładnie opisano budowę oraz działanie wszystkich generacji tego modelu. Najdokładniej opisano ostatni model, priusa IV, który występuje również w wersji hybrydy typu plug-in. Ma ona możliwość ładowania baterii trakcyjnej z gniazdka i możliwość jazdy jedynie na napędzie elektrycznym.

Wszystkie studia przypadków przedstawione w tym opracowaniu potwierdzają, że istnieje rynkowa potrzeba na pojazdy z elektrycznymi i hybrydowym układem napędowym. Dokonano też charakterystyki potencjalnych klientów dla poszczególnych rodzajów pojazdów. W rezultatach wykazano, że firmy motoryzacyjne bardzo szybko reagują na dynamicznie zmieniające się potrzeby rynkowe. W ciągu dwóch lat duże koncerny motoryzacyjne są w stanie zaprojektować od podstaw innowacyjny pojazd zasilany elektrycznym lub hybrydowym układem napędowym oraz uruchomić jego produkcję i dystrybucję. Zachęcam gorąco wszystkich czytelników do przetestowania a następnie zakupu pojazdu z elektrycznym lub hybrydowym układem napędowym. Dzięki nim nasz pojazd będzie charakteryzował się dużą dynamiką i komfortem jazdy. Ponadto nie będziemy emitować zanieczyszczeń do atmosfery, pozwalając sobie i innym oddychać czystym powietrzem nawet w centrach dużych europejskich miast.

Bibliografia

[1] Caban, J., Zarajczyk, J., Małek, A.: Possibilities of using electric drives in city buses, Proceeding of 23rd International Scientific Conference. Transport Means 2019. S. 543–547. ISSN 2351-7034 (on-line).

[2] Flasza, J. (2017). Elektromobilność w Polsce – wyzwania i możliwości z uwzględnieniem inteligentnych instalacji OZE. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 6.

[3] Giakoumis, E.G., Zachiotis, A.T. (2017). Investigation of a Diesel-Engined Vehicle's Performance and Emissions during the WLTC Driving Cycle – Comparison with the NEDC, Energies, 10(2), 240.

[4] Małek, A., Caban, J., Wojciechowski, Ł. Charging electric cars as a way to increase the use of energy produced from RES. Open Engineering 2020, 10(1): 98–104. doi:10.1515/eng-2020-0009.

[5] Małek, A., Filipowicz, I. (2018). Ładowanie pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018", Kazimierz Dolny, 19–21.09.2018. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 11, s. 37–40. DOI: 10.24136/atest.2018.343.

[6] Małek, A., Kośko, M., Łusiak, T. Logistyka miejska małego pojazdu elektrycznego ładowanego z carportu fotowoltaicznego. KONFERENCJA NAUKOWA E-MOBILNOŚĆ wyzwania, szanse i zagrożenia, Warszawa 21–22.09.2017. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji Vol. 82, No. 4, 2018, s. 63–75. doi:10.14669/AM.VOL82.ART5.

[7] Małek, A., Kowalczyk, D. (2016). Carport fotowoltaiczny do ładowania pojazdów elektrycznych. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 11.

[8] Małek, A., Łusiak, T. (2019). Interaktywne stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 1–2.

[9] Małek, A., Ogrodnik, M. (2018). Metody badań autonomii pojazdów elektrycznych, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018", Kazimierz Dolny, 19–21.09.2018. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 12, s. 27–31. ISSN 1509-5878. JEL: L62. DOI: 10.24136/atest.2018.339.

[10] Małek, A., Taccani, R., Kasperek, D., Hunicz, G. (2019). Optimization of energy storage in a city bus powered by hydrogen fuel cells, Proceedings of EFC2019, European Fuel Cell Technology & Applications Conference – Piero Lunghi Conference, December 9–11, Naples, Italy.

[11] Mądziel, M. (2016). Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów komunikacji miejskiej. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 12, s. 1634–1636.

[12] Nickkar, A., Shin, H.S., Farkas, Z.A. Analysis of Ownership and Travel Behavior of Women Who Drive Electric Vehicles: The case of Maryland. 6th International Conference on Women's Issues in Transportation, Irvine, CA 2019.

[13] Paska, J., Kłos, M., Rosłaniec, Ł. (2015). Autonomiczna stacja ładowania pojazdów elektrycznych. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, nr 42.

[14] Pielecha, J., Merkisz, J., Markowski, J. (2016). Wybrane zagadnienia dotyczące drogowych testów emisyjnych. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 12.

[15] Wielgus, J., Kasperek, D., Małek, A., Łusiak, T. (2017). Developed generations of electric buses produced by Ursus. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 11, s. 20–25.

[16] Wielgus, J., Kasperek, D., Małek, A., Łusiak, T. (2017). Generacje rozwojowe autobusów elektrycznych marki URSUS. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 11, s. 20–25. ISSN 1509-5878.

[17] Xylia, M., Silveira, S. The role of charging technologies in upscaling the use of electric buses in public transport: Experiences from demonstration projects. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 118, December 2018, s. 399–415.

[18] Zarajczyk, K., Małek, A., Kośko, M. (2018). Założenia konstrukcyjne i funkcjonalne pojazdu użytkowego Ursus Elvi z napędem elektrycznym. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe,* 6, s. 309–313. JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.082.

[19] Zuliani, N., Radu, R., Taccani, R. Design and experimental characterization of a 350 W high temperature PEM fuel cell stack. 9th YSESM, Trieste, Italy, July 7–9, 2010; ISBN 978-88-95940-30-4.

[20] Zuliani, N., Taccani, R. Microcogeneration system based on HTPEM fuel cell fueled with natural gas: Performance analysis, Applied Energy, Volume 97, September 2012, s. 802–808.

[21] https://www.ziehl-abegg.com/gb/en/downloads/file/get/10917/ [dostęp: 2020-09-04].

[22] http://infobus.pl/polski-rynek-autobusow-elektrycznych-w-2019-r-_more_120628.html [dostęp: 2020-09-04].

[23] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Renault_Twizy_Z.E._Concept.jpg [dostęp: 2020-09-04].

[24] http://samochodyelektryczne.org/galerie/renault_twizy_cargo/renault_twizy_cargo_28.htm [dostęp: 2020-09-04].

[25] https://drivingtothefuture.wordpress.com/2015/01/19/concept-of-the-day-renault-twizy-delivery/ [dostęp: 2020-09-04].

[26] https://www.autoexpress.co.uk/renault/twizy/66284/renault-twizy-f1-review [dostęp: 2020-09-14].

[27] http://www.h2osmose.com/twizy/ [dostęp: 2020-09-14].

[28] http://samochodyelektryczne.org/galerie/twizy_renault_sport_f1/twizy_renault_sport_f1_2.htm [dostęp: 2020-09-14].

[29] https://avem.fr/actualite-sebastian-vettel-au-volant-de-la-twizy-renault-sport-f1-4127.html [dostęp: 2020-09-14].

[30] https://www.essentiallysports.com/f1-news-renault-f1-targeting-sebastian-vettel-for-2021/ [dostęp: 2020-09-14].

[31] https://www.pinterest.de/pin/387028161721324578/ [dostęp: 2020-09-14].

[32] https://www.twizy-forum.de/allgemeines-twizy/23308-twizy-technik [dostęp: 2020-09-14].

[33] https://redcastleclassics.com/images/from-the-workshop/twizy-frame.jpg [dostęp: 2020-09-14].

[34] https://monitoring.solaredge.com/solaredge-web/p/site/265677/#/dashboard [dostęp: 2020-09-14].

[35] https://group.renault.com/en/innovation-2/electric-vehicle/ [dostęp: 2020-09-15].

[36] https://carsalesbase.com/europe-renault-twizy/ [dostęp: 2020-09-15].

[37] https://wysokienapiecie.pl/17201-buspasy-dla-samochodow-elektrycznych/ [dostęp: 2020-09-15].

[38] https://auto.dziennik.pl/aktualnosci/artykuly/6482054,samochod-elektryczny-volkswagen-polska-spalinowy-badanie-insightout-lab.html [dostęp: 2020-09-15].

[39] http://lpnt.pl/ [dostęp: 2020-09-15].

[40] https://evea-kartmasters.fr/en/asynchronous-motoros/2007-12kw-asynchronous-motor-for-renault-twizy.html [dostęp: 2020-09-15].

[41] https://www.e-falowniki.com.pl/praca-s1-s2-s3-typy-pracy-silnikow-elektrycznych/ [dostęp: 2020-09-15].

[42] https://pl.wikipedia.org/wiki/Red_Bull_Racing [dostęp: 2020-09-15].

[43] https://businessinsider.com.pl/motoryzacja/formula-e-wyscigi-samochodow-elektrycznych/10724wg [dostęp: 2020-09-15].

[44] https://www.automobilemag.com/news/nissan-gets-new-york-up-in-a-twizy/ [dostęp: 2020-09-15].

[45] https://www.autocentrum.pl/newsy/nissan-stworzy-ulepszona-wersje-renault-twizy/ [dostęp: 2020-09-15].

[46] https://autokult.pl/33100,poczta-polska-z-elektrycznymi-autami-dostawcami-m-in-mercedes-i-volkswagen [dostęp: 2020-09-15].

[47] https://300gospodarka.pl/300klimat/5-wykresow-pokazujacych-jak-przebiega-proces-elektryfikacji-transportu-w-polskich-miastach [dostęp: 2020-09-15].

[48] https://rozladowani.pl/autobusy-elektryczne-raport/ [dostęp: 2020-09-15].

[49] https://e.autokult.pl/33446,innogy-go-elektryczny-carsharing-bmw-i3-na-minuty-cena [dostęp: 2020-09-15].

[50] https://www.pwc.pl/pl/artykuly/2018/wzrost-znaczenia-uslug-car-sharing-impulsem-dla-rozwoju-elektromobilnosci.html [dostęp: 2020-09-15].

[51] https://www.ursus.com/ [dostęp: 2020-09-15].

[52] http://www.elvi.pl/ [dostęp: 2020-09-15].

[53] https://ursusbus.com/ [dostęp: 2020-09-15].

[54] https://accounts.viriciti.com/ [dostęp: 2020-09-15].

[55] https://in.reuters.com/news/picture/deutsche-posts-streetscooter-signs-china-i-dINKCN1VR1G5 [dostęp: 2020-09-15].

[56] https://insideevs.com/news/338175/streetscooter-opens-2nd-manufacturing-facility-doubles-production-capacity/ [dostęp: 2020-09-15].

[57] https://en.wikipedia.org/wiki/StreetScooter [dostęp: 2020-09-15].

[58] https://www.prestigeelectriccar.com/en/articles/1312/StreetScooter [dostęp: 2020-09-15].

[59] https://insideevs.com/news/341467/streetscooter-electric-van-receives-approval-for-large-series-production/ [dostęp: 2020-09-15].

[60] https://weekly.newmobility.global/060919/e-mobility [dostęp: 2020-09-15].

[61] https://www.greencarcongress.com/2018/09/20180928-bmw.html [dostęp: 2020-09-15].

[62] https://chargedevs.com/newswire/jaguar-and-bmw-collaborate-on-next-gen-electrification-tech/ [dostęp: 2020-09-15].

[63] http://bmwi3.blogspot.com/2013/09/i3-range-extender-closer-look.html [dostęp: 2020-09-15].

[64] https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3#/media/File:BMW-i3-Electric_Drive_unit2.JPG [dostęp: 2020-09-15].

[65] https://web.archive.org/web/20150924122359/http://www.bmw.ie/ie/en/newvehicles/i/i3/2013/showroom/drive.html [dostęp: 2020-09-15].

[66] https://www.i3guide.com/pdf/BMWi3-technical-data.pdf [dostęp: 2020-09-15].

[67] https://www.bmw.ie/en/all-models/bmw-i/i3/2017/range-charging-efficiency.html [dostęp: 2020-09-15].

[68] https://ecomento.de/2018/05/24/bmw-steigert-elektroauto-produktion-im-werk-leipzig/ [dostęp: 2020-09-15].

[69] http://www.boronextrication.com/2016/01/31/2016-bmw-i3-rescue-guide/ [dostęp: 2020-09-15].

[70] https://www.carhp.com/bmw/i3-electric [dostęp: 2020-09-15].

[71] https://www.invetr.com/control-and-electronics/bmw-i3-electric-powertrain-machine [dostęp: 2020-09-15].

[72] https://www.plastech.pl/wiadomosci/Tworzywa-sztuczne-w-nowym-BMW-i3-8497 [dostęp: 2020-09-15].

[73] https://moto.pl/MotoPL/1,88389,14080704,bmw-connecteddrive-zawsze-online.html [dostęp: 2020-09-15].

[74] https://www.renault.pl/samochody-elektryczne.html [dostęp: 2020-09-15].

[75] http://moto.pl/MotoPL/1,88389,18876005,toyota-prius-tak-to-sie-zaczelo.html [dostęp: 2020-06-29].

[76] http://www.pawelmatysiak.com/ikm/toyota/toyotapriusii.php [dostęp: 2020-07-29].

[77] http://www.poznajemysamochody.pl/index.php/2017/05/17/jezdzilem-wszystkimi-generacjami-priusa/ [dostęp: 2020-09-03].

[78] https://dailydriver.pl/porady/zakup-i-eksploatacja/uzywana-hybryda-toyota-prius-ii-i-koszty-jej-eksploatacji-2/#nch/927612981 [dostęp: 2020-09-04].

[79] https://www.mobil1.pl/aktualnosci-i-wiedza/mobil-1-dla-nowoczesnych-silnikow/pojazdow-hybrydowych.aspx [dostęp: 2020-05-08].

[80] https://www.wyborkierowcow.pl/uzywana-toyota-prius-iii-zalety-wady-i-opinie-kierowcow/ [dostęp: 2020-06-30].

[81] https://motoryzacja.interia.pl/wiadomosci/producenci/news-toyota-stworzyla-nowy-wyswietlacz-hud,nId,2170068 [dostęp: 2020-04-2019].

[82] http://www.motohobby.net/artykuly/prius4.php [dostęp: 2019-05-02].

[83] http://moto.pl/MotoPL/1,88389,19643572,toyota-prius-iv-pierwsza-jazda.html [dostęp: 2020-05-03].

[84] https://www.toyotaarlington.com/blog/2017/07/25/what-is-toyotas-head-up-display/ [dostęp: 2020-09-04].

[85] https://archiwum.allegro.pl/oferta/bateria-hybrydowa-toyota-prius-3-gwarancja-montaz-i7647510282.html [dostęp: 2020-09-04].

[86] https://www.amazon.com/Battery-Module-Hybrid-Toyota-Panasonic/dp/B0160BEIJ6 [dostęp: 2020-09-04].

[87] http://library.goldensaras.com/toyota-prius-schematic?action=instant_read&campaign=xamwiring&refhost=kook.norab.sulf.neph.ospor.wigeg.mill.bepta.xero.viewor.mohammedshrine.org [dostęp: 2020-09-04].

[88] https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-Toyota-Prius-powertrain_fig2_281675229 [dostęp: 2020-09-04].

[89] https://www.wheelscounty.com/hybrid-vs-range-extender-which-is-better/ [dostęp: 2020-09-04].

[90] https://blog.toyota.co.uk/outstanding-firsts-2017-toyota-prius-plug/prius-plug-in-battery-warming\ [dostęp: 2020-09-04].

[91] https://blog.toyota.co.uk/outstanding-firsts-2017-toyota-prius-plug/prius-plug-in-no-body [dostęp: 2020-09-04].

[92] https://blog.toyota.co.uk/outstanding-firsts-2017-toyota-prius-plug/prius-plug-in-solar-roof [dostęp: 2020-09-04].

[93] https://blog.toyota.eu/green/prius-plug-in-hybrid-a-technological-and-environmental-breakthrough-for-modern-society/ [dostęp: 2020-09-04].

[94] https://blog.toyota.co.uk/outstanding-firsts-2017-toyota-prius-plug/prius-plug-in-dual-motor-drive [dostęp: 2020-09-04].

[95] https://autotechreview.com/technology/plug-in-hybrid-system-in-the-toyota-prius-phv [dostęp: 2020-09-04].

[96] https://www.toyota.pl/articles/2019/rosnie-sprzedaz-hybryd-toyoty-w-polsce [dostęp: 2020-09-04].

[97] http://www.sevcon.com/news/articles/26032012-elects-sevcon-to-provide-controllers-for-twizy/ [dostęp: 2020-09-04].

[98] https://www.sp19.lublin.eu/images/gimpress/gimpress_rodzice_maj_2015.pdf [dostęp: 2020-09-04].

[99] http://hellocarhello4me.blogspot.com/2016/04/renault-twizy.html [dostęp: 2020-09-04].

[100] https://www.topspeed.com/cars/renault/2013-renault-twizy-f1-concept-ar153883.html [dostęp: 2020-09-04].

[101] https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/safety-campaigns/2014-quadricycles-tests/ [dostęp: 2020-09-04].

Spis rysunków

Rys. 1.1. Zakup pojazdu i towarzysząca mu kampania medialna w Radiu Lublin. 196
Rys. 1.2. Promocja elektromobilności wśród młodzieży [98]. 197
Rys. 1.3. Przyczyny występowania potrzeb transportowych. 198
Rys. 1.4. Pojazdy elektryczne marki Renault i BMW. 199
Rys. 1.5. Pojazdy elektryczne marki Renault i Nissan. 200
Rys. 1.6. Rodzina pojazdów elektrycznych marki Renault [35]. 201
Rys. 1.7. Pojazd koncepcyjny renault twizy [23]. 203
Rys. 1.8. Umiejscowienie kierowcy i pasażera w renaulcie twizy [27]. 204
Rys. 1.9. Umiejscowienie kierowcy i pasażera w renaulcie twizy. 205
Rys. 1.10. Renault twizy cargo [24]. 205
Rys. 1.11. Renault twizy delivery [25]. 206
Rys. 1.12. Koncepcja renaulta twizy delivery [25]. 206
Rys. 1.13. Renault twizy RS F1 [26]. 207
Rys. 1.14. Komponenty renaulta twizy widziane od spodu pojazdu [32]. 208
Rys. 1.15. Pierwsza przejażdżka autora renaultem twizy. 209
Rys. 1.16. Komponenty pojazdu renault twizy [99]. 209
Rys. 1.17. Komponenty układu napędowego renaulta twizy widziane na modelu 3D [100]. 210
Rys. 1.18. Komponenty układu napędowego renaulta twizy widziane na modelu 3D [100]. 211
Rys. 1.19. Silnik elektryczny renaulta twizy wraz z reduktorem [32]. 212
Rys. 1.20. Tabliczka znamionowa silnika elektrycznego renaulta twizy. 213
Rys. 1.21. Tabliczka znamionowa silnika elektrycznego renaulta twizy [32]. 213
Rys. 1.22. Praca dorywcza S2 [41]. 214
Rys. 1.23. Stojan silnika elektrycznego renaulta twizy [40]. 214
Rys. 1.24. Reduktor silnika elektrycznego renaulta twizy. 215
Rys. 1.25. Producent reduktora silnika elektrycznego renaulta twizy. 215
Rys. 1.26. Kontroler silnika elektrycznego renaulta twizy 80 [97]. 216
Rys. 1.27. Układ napędowy renaulta wizy w rzeczywistym pojeździe [32]. 217
Rys. 1.28. Układ napędowy renaulta twizy w ekspozycji [31]. 218
Rys. 1.29. Renault twizy RS F1 [28]. 218
Rys. 1.30. Renault twizy RS F1 [28]. 219
Rys. 1.31. Porównanie parametrów pojazdu seryjnego i renault twizy RS F1 [28]. 219
Rys. 1.32. Elementy z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28]. 220
Rys. 1.33. Elementy z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28]. 220
Rys. 1.34. Kierownica z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28]. 221
Rys. 1.35. System KERS z Formuły 1 w renaulcie twizy RS F1 [28]. 221
Rys. 1.36. Pojazd Formuły 1 renault Red Bull kierowany przez Sebastiana Vettela [30]. 222
Rys. 1.37. Porównanie pojazdu seryjnego i renaulta twizy RS F1 [29]. 222
Rys. 1.38. Spawanie ramy renaulta twizy na linii produkcyjnej pojazdu w Hiszpanii [32]. 224
Rys. 1.39. Rama renaulta twizy [33]. 225

Rys. 1.40. Montaż pakietu baterii do ramy renaulta twizy [32]. 225
Rys. 1.41. Montaż silnika elektrycznego i tylnego zwieszenia do ramy renaulta twizy [32]....226
Rys. 1.42. Pakiet baterii renaulta twizy [32]....226
Rys. 1.43. Podstawa pakietu baterii renaulta twizy [32]. 227
Rys. 1.44. Montaż pakietu baterii renaulta twizy [32]. 227
Rys. 1.45. Linia montażowa baterii renaulta twizy [32]....228
Rys. 1.46. Moduł baterii renaulta twizy produkcji LG Chem [32]. 228
Rys. 1.47. Linia montażowa baterii renaulta twizy [32]....229
Rys. 1.48. Linia montażowa baterii renaulta twizy [32]....229
Rys. 1.49. Silnik trakcyjny i bateria trakcyjna renaulta twizy [32]. 230
Rys. 1.50. Linia montażowa silnika elektrycznego renaulta twizy [32]. 230
Rys. 1.51. Pojazd na linii produkcyjnej. 231
Rys. 1.52. Test zderzeniowy renaulta twizy [101]. 231
Rys. 1.53. Ładowanie pojazdu elektrycznego z zewnętrznego gniazdka elektrycznego. 232
Rys. 1.54. Watomierz z kalkulatorem energii. 232
Rys. 1.55. Wykres przebiegu procesu ładowania baterii wraz z poborem energii. 234
Rys. 1.56. Parkowanie renaulta twizy w ciasnym miejscu....234
Rys. 1.57. Parkowanie renaulta twizy w ciasnym miejscu....235
Rys. 1.58. Parkowanie renaulta twizy w ciasnym miejscu....235
Rys. 1.59. Identyfikator dla pojazdów ekologicznych. 236
Rys. 1.60. Nalepka strefy czystego transportu. 236
Rys. 1.61. Informacja o możliwości korzystania z buspasów i darmowego parkowania dla pojazdów elektrycznych [37]. 237
Rys. 1.62. Zielone tablice rejestracyjne [37]. 238
Rys. 1.63. Ładowanie pojazdu z carportu fotowoltaicznego. 240
Rys. 1.64. Energia produkowana przez carport w poszczególnych miesiącach [34]. ..243
Rys. 1.65. Nissan twizy [44]. 245
Rys. 1.66. Koncepcja następcy renaulta twizy [45]. 245
Rys. 1.67. Koncepcja następcy renaulta twizy [45]. 246
Rys. 2.1. BMW i3 w innogy GO! [49]. 248
Rys. 2.2. Elektryczny BMW i3 [62]. 249
Rys. 2.3. Elektryczny BMW i3 concept [70]. 249
Rys. 2.4. Silnik elektryczny BMW i3 [70]. 250
Rys. 2.5. Układ przeniesienia napędu w elektrycznym BMW i3 [64]. 250
Rys. 2.6. Krzywa mocy i momentu elektrycznego BMW i3 [65]. 251
Rys. 2.7. Porównanie krzywej mocy i momentu elektrycznego BMW i3 oraz spalinowego BMW M3 [65]. 251
Rys. 2.8. Silnik elektryczny BMW i3 [71]. 252
Rys. 2.9. Widok rozstrzelony silnika elektrycznego BMW i3 [71]. 252
Rys. 2.10. Układ napędowy BMW i3 [63]. 253
Rys. 2.11. Układ napędowy BMW i3 z range extenderem [63]. 254
Rys. 2.12.Silnik spalinowy range extendera w BMW i3 [70]....254
Rys. 2.13. Pakiet baterii trakcyjnych w BMW i3 [61]. 256
Rys. 2.14. Ładowanie BMW i3 z Wallboxa [67]. 257
Rys. 2.15. Ładowanie BMW i3 z szybkiej ładowarki DC. 258
Rys. 2.16. Linia produkcyjna BMW i3 [68]. 259
Rys. 2.17. Monokokowe nadwozie i aluminiowe podwozie w BMW i3 [69]. 260
Rys. 2.18. Innowacyjne tworzywa sztuczne w wyposażeniu wnętrza BMW i3 [72]....261

Rys. 2.19. Konsola centralna BMW i3 [70]. 263
Rys. 2.20. Okno aplikacji BMW ConnectedDrive Remote [73]. 264
Rys. 3.1. Poczta Polska – logo. 266
Rys. 3.2. Porównanie pasagona (po lewej) i ursusa elvi (po prawej). 267
Rys. 3.3. Deutsche Post – logo. 268
Rys. 3.4. Podwozie street scootera na linii produkcyjnej [55]. 268
Rys. 3.5. Nadwozie street scootera [57]. 269
Rys. 3.6. Rodzaje nadwozi street scootera [59]. 269
Rys. 3.7. Crash test street scootera [58]. 270
Rys. 3.8. Wnętrze street scootera [58]. 270
Rys. 3.9. Silnik elektryczny street scootera [57]. 271
Rys. 3.10. Pakiet baterii street scootera [59]. 272
Rys. 3.11. Street scooter – kontener [60]. 272
Rys. 3.12. Street scooter – skrzynia ładunkowa [60]. 273
Rys. 3.13. Street scooter – linia produkcyjna w Aachen [56]. 274
Rys. 3.14. Szkic pojazdu koncepcyjnego ursus elvi [18]. 276
Rys. 3.15. Pojazd koncepcyjny ursus elvi na targach Hannover Messe 2017 [18]. 277
Rys. 3.16. Prototyp nr 1 pojazdu ursus elvi na Kongresie 590. 277
Rys. 3.17. Wizualizacja 3D elementów poszycia kabiny [18]. 278
Rys. 3.18. Wizualizacja 3D elementów deski rozdzielczej [18]. 278
Rys. 3.19. Charakterystyka silnika typu PMSM. 279
Rys. 3.20. Gniazdo ładowania prądem stałym. 280
Rys. 3.21. Zabudowa kontenerowa pojazdu dostawczego ursus elvi [52]. 280
Rys. 3.22. Okno programu DynaV-Tech, tryb pracy – hamowanie obciążeniowe z symulacją oporów jazdy. 282
Rys. 3.23. Okno systemu nadzorczego testu NEDC [materiał własny]. 282
Rys. 3.24. Przebieg testu NEDC. 283
Rys. 3.25. Przebieg prędkości jazdy w teście WLTP [3]. 284
Rys. 3.26. Przebieg prędkości jazdy w teście SORT. 286
Rys. 3.27. Parametry z jazdy testowej autobusu elektrycznego podczas testu SORT. 286
Rys. 3.28. Ursus elvi w zabudowie kontenerowej. 287
Rys. 3.29. Tablica wskaźników ursus elvi. 287
Rys. 3.30. Okno aplikacji mobilnej – prędkościomierz GPS APK. 288
Rys. 3.31. Porównanie cen brutto zakupu pojazdów. 292
Rys. 3.32. Porównanie kosztów przejazdu 100 km. 293
Rys. 3.33. Porównanie TCO. 293
Rys. 4.1.Trolejbus URSUS T-70116. 299
Rys. 4.2. Autobus elektryczny EKOVOLT marki URSUS (generacja 1) podczas podjazdu do ładowania pantografem. 300
Rys. 4.3. Pakiet baterii EKOVOLTA. 300
Rys. 4.4. Panele fotowoltaiczne na dachu autobusu. 301
Rys. 4.5.Szybkie ładowanie za pomocą pantografu. 301
Rys. 4.6. Autobus elektryczny URSUS CITY SMILE (generacja druga) na ulicach Lublina [53]. 302
Rys. 4.7. Elementy systemu zasilania autobusu elektryczno-wodorowego FCEB (*Fuel Cell Electric Bus*) [53]. 303
Rys. 4.8. Autobus elektryczno-wodorowy URSUS generacja 3 podczas swojej premiery na targach w Hanowerze [51]. 303
Rys. 4.9. Porównanie zasięgu trzech generacji autobusów elektrycznych marki Ursus. 304

Rys. 5.1. Toyota prius I generacji [75]. 307
Rys. 5.2. Toyota prius I generacji – wnętrze [76]. 308
Rys. 5.3. Toyota rius I generacji – kolorowy ekran dotykowy [77]. 308
Rys. 5.4. Toyota prius II generacji [78]. 309
Rys. 5.5. Toyota prius II generacja – wnętrze [78]. 309
Rys. 5.6. Toyota prius II generacji – napęd hybrydowy [78]. 310
Rys. 5.7. Toyota prius II generacja – układ hybrydowy [78]. 311
Rys. 5.8. Toyota prius III generacji [80]. 311
Rys. 5.9. Toyota prius III generacja – wnętrze [80]. 312
Rys. 5.10. Toyota prius III generacja – wyświetlacz HUD,[84]. 313
Rys. 5.11. Toyota prius III generacji – otwarty pakiet baterii [85]. 313
Rys. 5.12. Toyota prius III generacji – pojedyncza cela pryzmatyczna [86]. 314
Rys. 5.13. Toyota prius IV generacji plug-in [82]. 314
Rys. 5.14. Toyota prius IV generacji lug-in – wnętrze [83]. 315
Rys. 5.15. Toyota prius IV generacji w wersji hybrydowej i plug-in [87]. 315
Rys. 5.16. Toyota prius IV plug-in – widok 3D komponentów układu napędowego i zawieszenia [91]. 316
Rys. 5.17. Architektura układu napędowego toyoty prius IV [95]. 317
Rys. 5.18. Rozmieszczenie komponentów układu napędowego toyoty prius IV plug-in [89]. 317
Rys. 5.19. Silniki hybrydowego układu napędowego toyoty prius IV [93]. 318
Rys. 5.20. Złożenie dwóch silników elektrycznych układu napędowego [94]. 318
Rys. 5.21. Złożenie dwóch silników elektrycznych układu napędowego [95]. 319
Rys. 5.22. Pakiet baterii trakcyjnych – wymiary [93]. 319
Rys. 5.23. Pakiet baterii trakcyjnych – budowa [95]. 320
Rys. 5.24. Rozmieszczenie komponentów ładowania baterii toyoty prius IV plug-in [90.]. 321
Rys. 5.25. Dach z panelami fotowoltaicznymi [92]. 321

Spis tabel

Tabela 1.1. Dane techniczne samochodu Renault Twizy [74] 204
Tabela 1.2. Dane techniczne SEVCON [97] 216
Tabela 1.3. Dane pojazdu seryjnego i renaulta twizy RS F1 223
Tabela 1.4. Dane procesu ładowania pojazdu elektrycznego 233
Tabela 1.5. Dane renaulta twizy 241
Tabela 1.6. Dane z eksploatacji pojazdu 242
Tabela 1.7. Wartości średnie energii produkowanej przez carport 243
Tabela 1.8. Sprzedaż renaulta twizy w poszczególnych latach [36] 244
Tabela 2.1. Porównanie parametrów i osiągów BMWi3 bez i z range extenderem [66]. 255
Tabela 3.1. Poziomy gotowości technologicznej [18] 275
Tabela 3.2. Autonomia pojazdów elektrycznych [9] 283
Tabela 3.3.Wyniki testów drogowych ursusa elvi [9] 289
Tabela 3.4. Porównanie parametrów wybranych pojazdów dostawczych 291
Tabela 3.5. Porównanie kosztów wybranych pojazdów dostawczych 292
Tabela 4.1. Energia w pojeździe i zasięg poszczególnych generacji autobusów elektrycznych URSUS 305

Z recenzji:

Podręcznik uzupełnia lukę rynkową w obszarze tematyki, dotyczącej najnowszych napędów elektrycznych i hybrydowych. W bezpośredni sposób odpowiada na widoczne coraz bardziej i w naszym kraju trendy rynkowe w obszarze elektromobilności.
Autor posiada umiejętność dostrzegania i opisywania sytuacji problemowej, która stanowi podstawę procesu dydaktycznego, (…) dokonuje wielu analiz oraz studium przypadku. Prezentowane metody badawcze są nowe oraz mogą mieć bardzo duże znaczenie w kształtowaniu kompetencji studentów w odniesieniu do planowania i przeprowadzania eksperymentów badawczych, które są wymagane na drugim stopniu kształcenia na kierunku Transport.

dr Andrzej Szafraniec

Studium przypadków stanowi dla studentów efektywną metodę uzupełniania teoretycznej i praktycznej wiedzy (…) zawiera przede wszystkim techniczny aspekt przedstawiający ideę i rozwój hybrydowych i elektrycznych układów napędowych pojazdów. W ten sposób studenci kierunków technicznych zdobywają dodatkowe kompetencje społeczne i ekonomiczne.

dr hab. inż. Józef Stokłosa

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie
20-209 Lublin, ul. Projektowa 4
tel.: +48 81 749 17 77
www.wsei.lublin.pl

ISBN – wersja elektroniczna: 978-83-66159-56-3

WSEI LUBLIN
WYDAWNICTWO NAUKOWE
INNOVATIO PRESS

KOMPETENCJE WIEDZA INNOWACJE
Zintegrowany program rozwoju WSEI III ETAP
Fundusze Europejskie Program Regionalny
Rzeczpospolita Polska
Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny