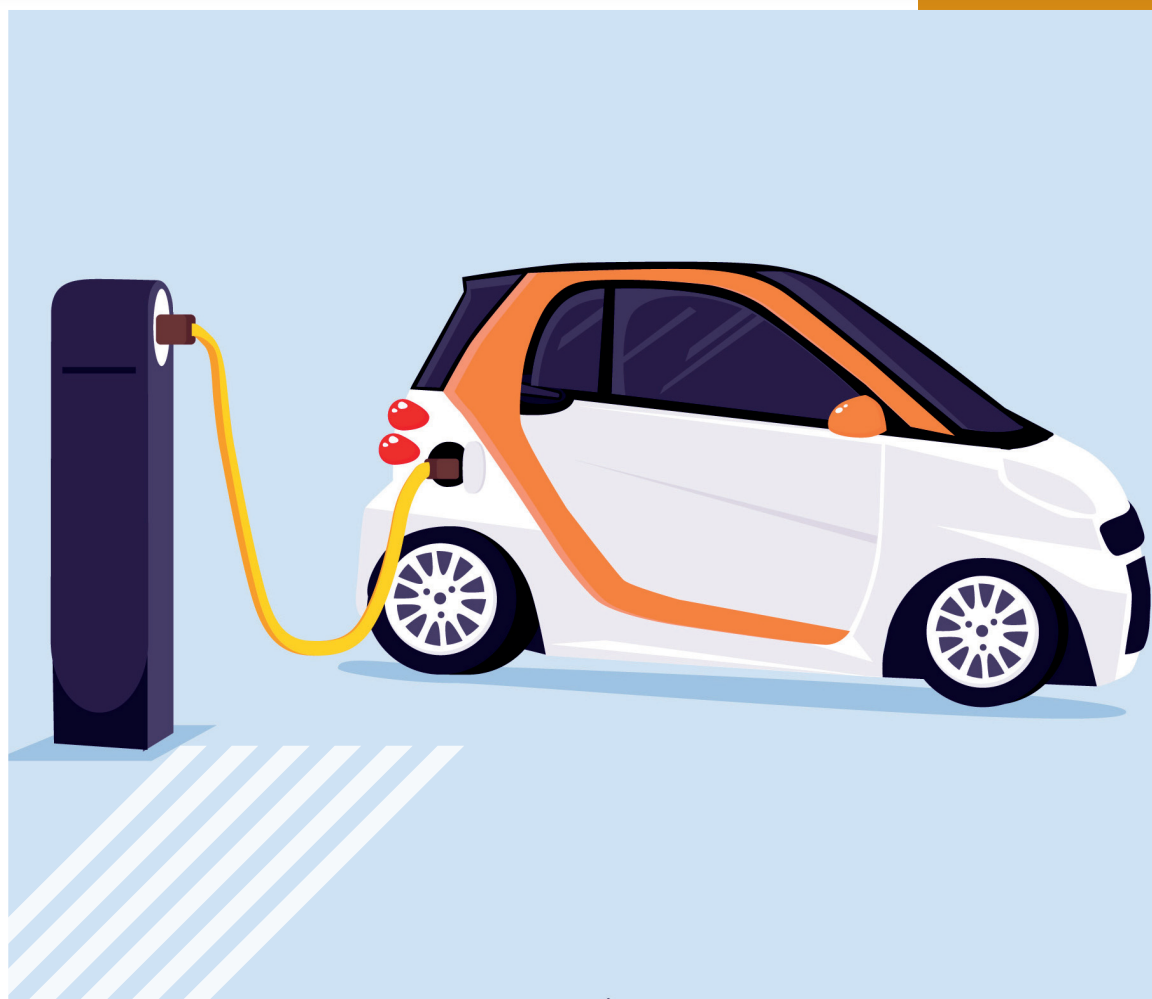


BUDOWA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

PODRĘCZNIK. STUDIA PRZYPADKÓW



BUDOWA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

**Część pierwsza
Podręcznik**

Arkadiusz Małek

Lublin 2021

Seria wydawnicza:

Kompetencje, Wiedza, Innowacje – Zintegrowany Program Rozwoju WSEI w Lublinie –
Etap III

Tom 23

BUDOWA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH
Cz. I - Podręcznik Cz. II - Studia przypadków

Autor:

Arkadiusz Małek
ORCID: 0000-0001-7772-2755

Recenzenci:

prof. Andrzej Niewczas
dr inż. Marcin Kowalski

Korekta:

Grzegorz Janowski

Skład, łamanie:

Marta Krysińska-Kudlak

Projekt okładki:

Patrycja Kaczmarek

Grafika na okładce:

freepik/Freepik.com

@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: 978-83-66159-97-6

Spis treści

Wprowadzenie.....	7
Wstęp	7
Cechy nowoczesnych pojazdów elektrycznych.....	8
Ekologia	9
Bezpieczeństwo.....	9
Funkcjonalność.....	10
Atrakcyjny design.....	10
Aerodynamiczna konstrukcja.....	11
Inne cechy użytkowe	11
Napędy hybrydowe pojazdów.....	12
1. Silniki trakcyjne dla pojazdów elektrycznych	14
1.1. Wstęp	15
1.1.1. Silniki asynchroniczne prądu przemiennego (indukcyjne)	19
1.1.2. Silnik synchroniczny z magnesem trwałym (PMSM).....	23
1.1.3. Silniki elektryczne w wybranych modelach pojazdów.....	24
1.1.4. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów lekkich.....	28
1.1.5. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów cięższych	34
1.1.6. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów sportowych.....	40
1.2. Pytania testowe	50
1.3. Ćwiczenia wraz z instrukcją	57
1.3.1. Ćwiczenie 1	57
1.3.2. Ćwiczenie 2	57
1.3.3. Ćwiczenie 3	57
1.3.4. Ćwiczenie 4	58
1.3.5. Ćwiczenie 5	58

2. Baterie trakcyjne dla pojazdów elektrycznych	59
2.1. Wstęp	60
2.2. Ogólna budowa baterii trakcyjnych	60
2.3. Umieszczenie pakietów baterii w pojazdach	65
2.4. Projektowanie systemu magazynowania energii dla potrzeb pojazdów lekkich i ciężkich	76
2.5. Pytania testowe	81
2.6. Ćwiczenia wraz z instrukcją	86
2.6.1. Ćwiczenie 1	86
2.6.2. Ćwiczenie 2	86
2.6.3. Ćwiczenie 3	86
2.6.4. Ćwiczenie 4	87
2.6.5. Ćwiczenie 5	87
3. Integracja komponentów pojazdów elektrycznych	88
3.1. Potrzeba integracji komponentów	89
3.2. Zasilanie silnika	91
3.3. Sterowanie silnikiem elektrycznym.....	94
3.4. Rola Battery Management System - BMS.....	100
3.5. Integracja BMS i CAN z innymi systemami	102
3.6. Pytania testowe	106
3.7. Ćwiczenia wraz z instrukcją	110
3.7.1. Ćwiczenie 1	110
3.7.2. Ćwiczenie 2	110
3.7.3. Ćwiczenie 3	111
3.7.4. Ćwiczenie 4	112
3.7.5. Ćwiczenie 5	112
4. Wyznaczanie parametrów elektrycznych baterii trakcyjnych ...	113
4.1. Wstęp	114
4.2. Stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych	115
4.2.1. Systemy magazynowania energii	117
4.2.2. Systemy ładowania baterii trakcyjnych pojazdów.....	120
4.2.3. Obciążenia elektryczne.....	123
4.3. Badania baterii trakcyjnej w technologii litowo-jonowej....	124
4.4. Pozyskiwanie energii do ładowania pojazdów elektrycznych	128

4.5. Badania procesu ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego.....	130
4.5.1. Charakterystyka pojazdu elektrycznego	130
4.5.2. Charakterystyka minicarportu fotowoltaicznego	131
4.5.3. Analiza procesu ładowania	133
4.6. Demonstracyjne stacje ładowania pojazdów elektrycznych	138
4.6.1. Carport fotowoltaiczny w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym	138
4.6.2. Farma fotowoltaiczna w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym	139
4.7. Pytania testowe	143
4.8. Ćwiczenia wraz z instrukcją	145
4.8.1. Ćwiczenie 1	145
4.8.2. Ćwiczenie 2	145
4.8.3. Ćwiczenie 3	145
4.8.4. Ćwiczenie 4	146
4.8.5. Ćwiczenie 5	146
5. Badania i pomiary energii hamowania pojazdu	147
5.1. Idea odzysku energii hamownia przez pojazdy elektryczne.....	148
5.2. Budowa miejskiego autobusu elektryczno-wodorowego.....	149
5.2.1. Silnik elektryczny i oś napędowa	149
5.2.2. Baterie trakcyjne	151
5.2.3. Wodorowe ogniwa paliwowe	152
5.2.4. Sposób gromadzenia wodoru	152
5.3. Obiekt badań	153
5.4. Metodologia badań i narzędzia badawcze	154
5.5. Pomiar energii hamowania w warunkach jazdy drogowej	157
5.6. Pytania testowe	166
5.7. Ćwiczenia wraz z instrukcją	170
5.7.1. Ćwiczenie 1	170
5.7.2. Ćwiczenie 2	170
5.7.3. Ćwiczenie 3	171
5.7.4. Ćwiczenie 4	172
5.7.5. Ćwiczenie 5	173

Podsumowanie i wnioski	174
Bibliografia.....	176
Spis rysunków	188
Spis tabel.....	194
Odpowiedzi do pytań testowych	195

Wprowadzenie

Wstęp

XXI wiek w motoryzacji charakteryzuje się ciągłym rozwojem pojazdów, aby były one coraz bardziej ekologiczne i ekonomiczne. Stosowane do tej pory do napędu pojazdów, 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 o silniki spalinowe 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. 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 odegrała firma Tesla oraz Nissan i Renault.

Pojazdy elektryczne są zaawansowanymi urządzeniami mechatronicznymi. Oznacza to, że są zbudowane z wielu komponentów zarówno mechanicznych jak i elektrycznych, a do ich sterowania użyto zaawansowanych technik informatycznych. Pojazdy elektryczne są ponadto urządzeniami Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things) co oznacza, że są w stanie komunikować się z kierującym, między sobą, a także ich ruch może być monitorowany za pomocą zaawansowanych platform internetowych.

Szybki rozwój technologii wykorzystywanych w budowie pojazdów elektrycznych, zwłaszcza technologii informatycznych, wymaga kształcenia inżynierów na nowych kierunkach kształcenia takich jak

Mechatronika. Podręcznik został przygotowany specjalnie w tym celu. Budowa pojazdów elektrycznych została wyraźnie przedstawiona w trzech obszarach: mechanicznych, elektrycznym i informatycznym. Jeśli chodzi o mechanikę przedstawiono w nim budowę i konstrukcję podstawowych komponentów mechanicznych, z których zbudowane są najnowsze pojazdy elektryczne. Również komponenty elektryczne zostały szczegółowo opisane, zwłaszcza trakcyjne silniki elektryczne i baterie. Przedstawiono ich szczegółową specyfikację techniczną pozwalającą na określenie danego komponentu i możliwość jego zastosowania w konkretnym pojeździe.

Wielokrotnie autor dokonuje opisu zalet i wad konkretnych rozwiązań i porównuje je między sobą. W obszarze sterowania, autor przedstawia konkretne przykłady sterowania układami mechaniczno-elektrycznymi, występującymi w pojazdach elektrycznych. W podręczniku można znaleźć ciekawe schematy budowy układów sterowania oraz opis algorytmów w nich zastosowanych. W jednym z rozdziałów szczegółowo opisano integrację najważniejszych komponentów pojazdów elektrycznych z wykorzystaniem magistrali CAN. Ostatni rozdział zawiera opis zaawansowanej platformy internetowej dzięki której możliwy jest monitoring autobusu elektryczno-wodorowego.

Uzupełnieniem podręcznika jest Case study, który obejmuje szczegółowe studium przypadku pięciu najnowszych pojazdów elektrycznych.

Na koniec każdego z rozdziałów podręcznika zostały przygotowane pytania testowe w celu utrwalenia wiedzy teoretycznej. Następnie studenci znajdą propozycję pięciu ćwiczeń laboratoryjnych związanych z konkretnym zakresem tematycznym wraz z instrukcją ich wykonania. Podczas lektury podręcznika i realizacji ćwiczeń laboratoryjnych studenci posiadą niezbędną wiedzę, umiejętności i kwalifikacje, założone w programie kształcenia na kierunku Mechatronika na Wydziale Transportu i Informatyki Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

Cechy nowoczesnych pojazdów elektrycznych

Dzięki zastosowaniu najnowszego podejścia do projektowania i rozwoju pojazdów samochodowych, nowoprojektowane 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.

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).

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 odp-

wiednio 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 badań 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.

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 specjalne. 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.

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 odpowiedź, że mamy do czynienia z ekologicznym pojazdem elektrycznym.

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 zastosowania 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.

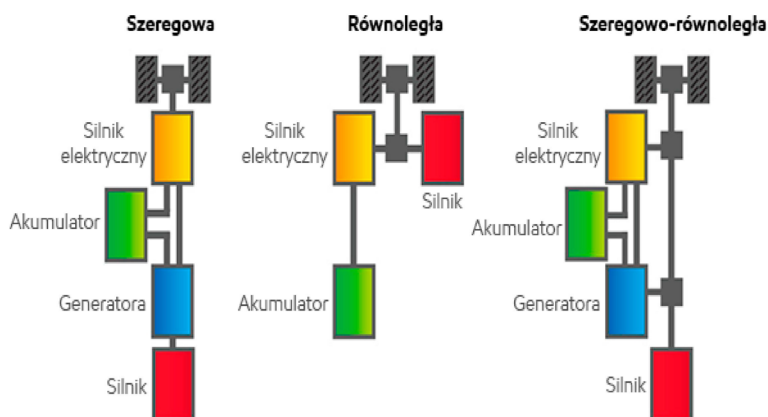
Inne cechy użytkowe

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 pozwalają na wydłużenie przebiegu pojazdów pomiędzy przeglądami serwisowymi oraz ewidentne zmniejszenie związanych z nimi kosztów.

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 0.1. 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 przypadku 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. 0.1. Rodzaje hybrydowych układów napędowych [98]

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.

1

2

3

4

5

1. Silniki trakcyjne dla pojazdów elektrycznych



1.1. Wstęp

Podstawowym komponentem pojazdu elektrycznego jest elektryczny silnik trakcyjny. Zadaniem elektrycznego układu napędowego jest efektywne przekazywanie napędu z silnika trakcyjnego na koła jezdne w każdych warunkach pracy pojazdu. W XXI wieku dostępnych jest wiele komponentów do zbudowania elektrycznego układu napędowego.

Najważniejszą składową elektrycznego układu napędowego jest silnik elektryczny, którego parametry decydują o przydatności do napędu określonego pojazdu. 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 wzbudzone magnesami trwałymi posiadają wiele zalet w stosunku do silników asynchronicznych (indukcyjnych) [37]. 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.

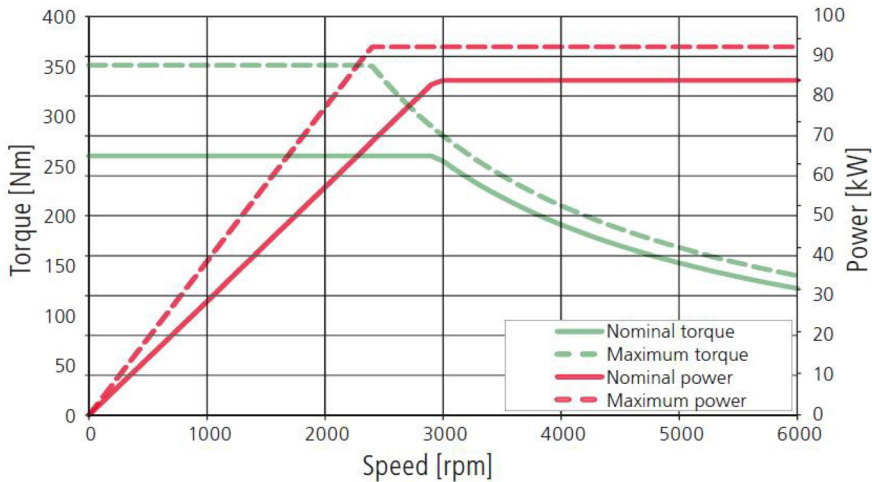
Jednak nie należy jeszcze odsyłać do muzeum silników asynchronicznych. Istnieje wiele przykładów ich wykorzystania do napędu pojazdów sportowych i typu SUV. Mają one szereg zalet i dlatego bardzo często są wykorzystywane w układach napędowych wielosilnikowych.

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. Montowane je zarówno na przedniej lub tylnej osi, w lekkich konstrukcjach również w piastach kół.

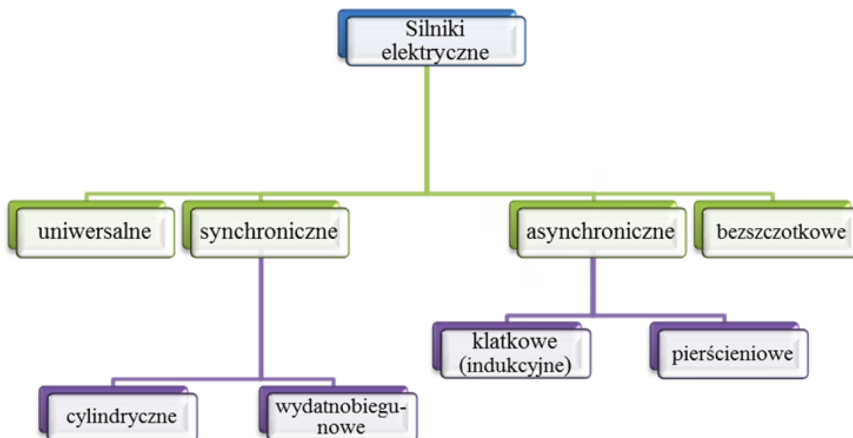
Przykładowa charakterystyka silnika elektrycznego typu PMSM została przedstawiona na rysunku 1.1. Zazwyczaj są to silniki o bar-

dzo kompaktowej budowie by zajmowały jak najmniej miejsca. W tego typu silnikach na osiągi nominalne jak i szczytowe ogromnie wpływa efektywność chłodzenia silnika.



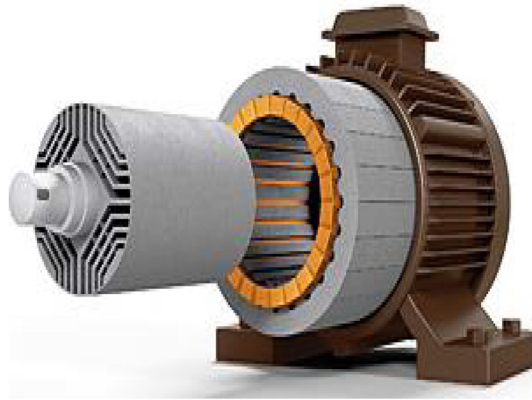
Rys. 1.1. Charakterystyka silnika typu PMSM [36]

Podział trakcyjnych silników elektrycznych, stosowanych do napędu pojazdów, przedstawiono na rysunku 1.2.



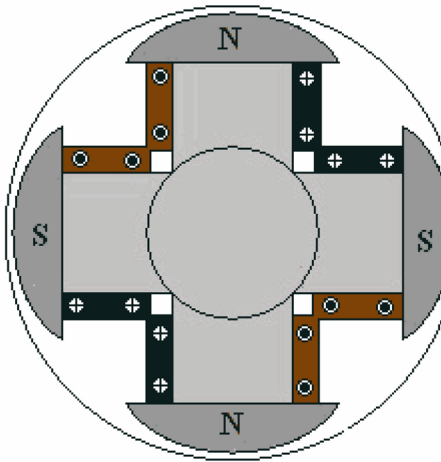
Rys. 1.2. Częściowy podział silników elektrycznych prądu przemiennego [131]

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 1.3). W stojanie nawinięte jest trójfazowe uzwojenie, dzięki któremu po przyłożeniu trójfazowego napięcia wytwarzane jest kołowe pole wirujące. Podobna budowa stojana zastosowana jest również w silnikach asynchronicznych (indukcyjnych). Różnica między tymi silnikami tkwi w budowie wirników.

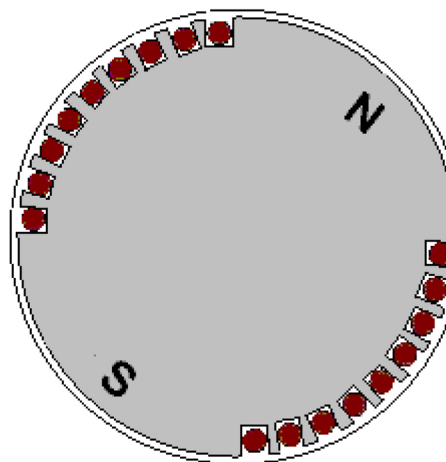


Rys. 1.3. Silnik elektryczny – model 3D [3]

W silnikach budowanych technologią konwencjonalną na rdzeń wirnika nawinięte jest uzwojenie, które za pośrednictwem pierścieni ślizgowych połączone jest ze szczotkami, do których przykładane jest źródło prądu stałego lub przemiennego. Rozróżniamy wirniki cylindryczne z biegunami jawnymi lub utajnionymi (rysunek 1.4). Na rdzeniu każdego bieguna nawinięte są odrębne uzwojenia. Dzięki odpowiedniemu kształtowi nabiegunników rozkład indukcji na obwodzie wirnika jest odpowiedni.



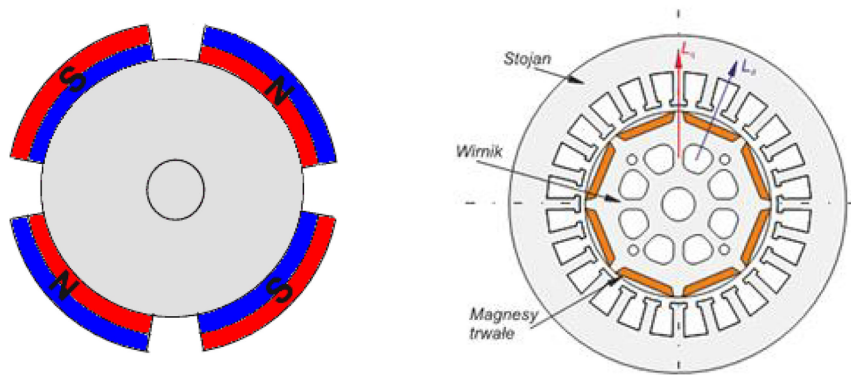
Wirnik z biegunami jawnymi



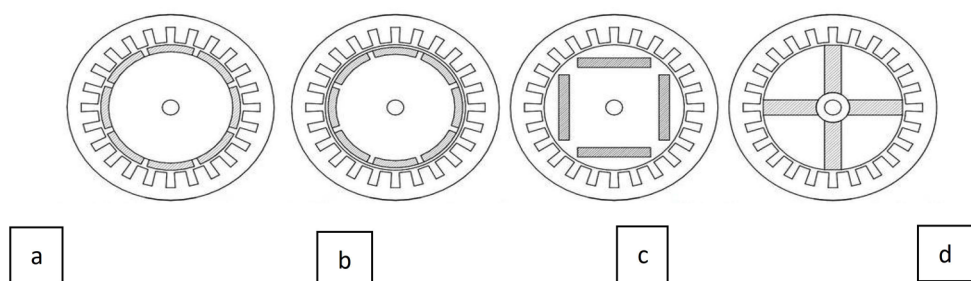
Wirnik z biegunami utajnionymi

Rys. 1.4. Model wirnika silnika elektrycznego [9]

W silnikach ze wzbudzeniem magnetoelektrycznym rolę uzwojenia wirnika zastąpiły magnesy trwałe (rysunek 1.5). Rozróżniamy cztery sposoby mocowania magnesów w silniku (rysunek 1.6). Po przyłożeniu napięcia, w uzwojeniu stojana wytwarza się wirujące pole magnetyczne. Zjawisko to nie pozostaje obojętne na namagnesowany wirnik, który synchronicznie zaczyna wirować z tym polem magnetycznym. W momencie gdy do wirnika zostaje przyłożony moment hamujący (obciążenie), powoduje to nieznaczne spóźnienie wirnika. Siły, które działają między biegunami wytwarzają moment mechaniczny, który przeciwstawia się momentowi hamującemu. Nawet zmiana obciążenia wirnika nie powoduje zmiany jego prędkości obrotowej, która jest synchroniczna do pola magnetycznego.



Rys. 1.5. Wirnik z magnesami trwałymi [9]



Rys. 1.6. Struktury mocowania magnesów a) mocowane (klejone) na powierzchni wirnika, b) umieszczone tuż pod powierzchnią wirnika, c) zagłębione w wirniku, d) ułożone promieniowo [9]

1.1.1. 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 [117].

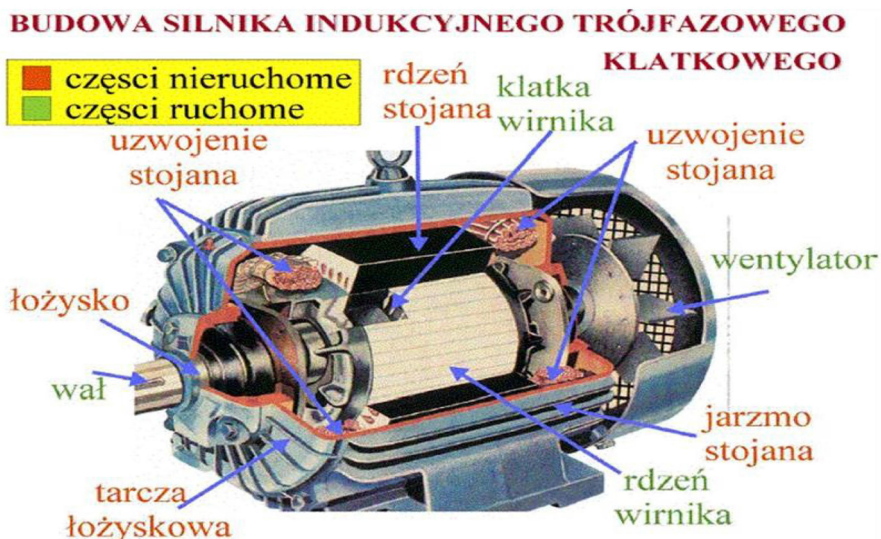
Jednym z najpopularniejszych typów silników elektrycznych do różnych zastosowań są silniki indukcyjne. Silniki te są nazywane także silnikami asynchronicznymi, ponieważ wirnik obraca się zawsze z prędkością niższą niż wirujące pole elektromagnetyczne, tworząc

asynchroniczny silnik AC. Pracują one 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 [117].

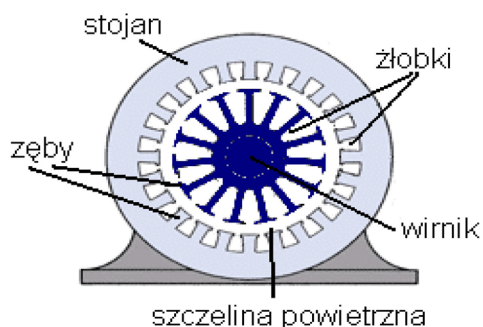
Stojan silnika składa się z nachodzących na siebie uzwojeń. W przypadku podłączenia uzwojenia pierwotnego lub stojana do źródła zasilania AC, tworzy ono obracające się pole magnetyczne, które obraca się z prędkością synchroniczną. Teoretyczna prędkość wirnika w silniku indukcyjnym jest zależna od częstotliwości 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 [117].

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 1.7). Zarówno w stojanie jak i wirniku znajdują się specjalnie wyprofilowane żłobki, w których nawinięte jest uzwojenie. Wyprofilowany element między żłobkami nosi kształt zęba (rysunek 1.8). Kształt oraz liczba żłobków i zębów w stojanie oraz wirniku może być różna.

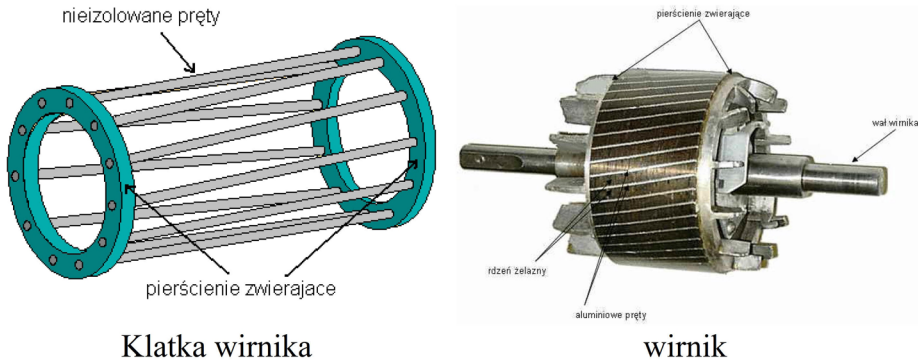


Rys. 1.7. Silnik elektryczny indukcyjny [9]



Rys. 1.8. Model silnika indukcyjnego [9]

Między wirnikiem, a stojanem znajduje się niewielka przestrzeń powietrza. Uzwojenie stojana jest wykonane w sposób taki, aby na skutek wibracji nie uległo zniszczeniu, dodatkowo jest izolowane oraz impregnowane specjalnym lakierem izolującym. Do izolacji złobków powszechnie stosowano papier typu preszpan. Budowa wirnika przypomina klatkę (rysunek 1.9) nieizolowane pręty połączone ze sobą za pomocą pierścieni po obu stronach tworzą zwartą konstrukcję. Wypełnienie stanowi pakiet blach z dodatkiem krzemu ułożone jedna na drugiej wzajemnie od siebie izolowanych (rysunek 1.9).



Rys. 1.9. 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 linio-wo zwiększając swą prędkość obrotową. To powoduje że w prętach spada indukcja oraz przepływ prądu, momenty elektromagnetyczne oraz obciążenia równoważą się i 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):

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

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 1.11). 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.

1.1.2. Silnik synchroniczny z magnesem trwałym (PMSM)

Silnik synchroniczny z magnesem trwałym (PMSM) to silnik synchroniczny AC, w którym wzbudzenie 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. Gęstość 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 [117].

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 [117].

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 ste-

rowania wektorowego to rozdzielenie prądu stojana na część generującą pole magnetyczne i część generującą moment obrotowy. Po rozdzieleniu, oboma składnikami można sterować oddzielnie [117].

Duży wkład w rozwój nowoczesnych silników elektrycznych dla pojazdów mają polskie instytuty badawcze. Wymienić należy tutaj Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL z Katowic [76]. Naukowcy i inżynierowie tam zatrudnieni rozwijają i wprowadzają na rynek wiele ciekawych typów silników [134].

1.1.3. Silniki elektryczne w wybranych modelach pojazdów

Silnik elektryczny Renault Twizy został przedstawiony na rysunku 1.10. 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 sekundę, a od 30 do 60 km/h 8,1 sekundy.



Rys. 1.10. Silnik elektryczny pojazdu Renault Twizy [26]

Silnik synchroniczny prądu przemiennego, który napędza Nissana Leafa (rys. 1.11) 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 dłuższej analizie można dostrzec różnice. Nissan posiada tradycyjny akumulator (rysunek 1.11) o napięciu 12V, który zabezpiecza napięcie dla urządzeń pokładowych. W miejscu gdzie zwykle znajduje się silnik mieści się duża kwadratowa skrzynka (rysunek 1.11), do której dochodzą grube przewody elektryczne koloru pomarańczowego (rysunek 1.11).



Rys. 1.11. Silnik elektryczny Nissan Leaf

Falownik jest nierozłączną częścią przetwornicy, znajduje się bezpośrednio pod nią (rysunek 1.12). W Nissanie przetwornica, a inaczej Power Delivery Module (PDM) czyli moduł zasilający, podłączona do falownika jest 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 1.12). Z silnikiem na stałe połączony jest reduktor (rysunek 1.12) dzięki któremu przenoszony jest napęd na koła samochodu za pośrednictwem osi napędowych (rysunek 1.13).



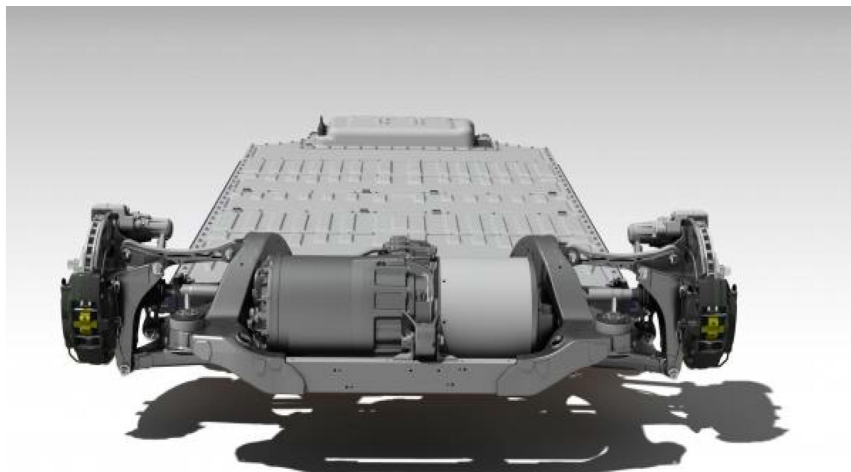
Rys. 1.12. Silnik elektryczny pojazdu Nissan Leaf II [99]



Rys. 1.13. 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 1.14). W odróżnieniu od Nissana Leafa Tesla użyła trójfazowego silnika asynchronicznego (indukcyjnego), który generuje moc 310 kW (416 KM) przy 5000 – 8600 obr./min.



Rys. 1.14. Silnik i zawieszenie tylne Tesli model S - model 3D [119]

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 1.15). Zastosowanie takiego układu znacznie poprawiło parametry trakcyjne Tesli w każdych warunkach pogodowych. W momencie normalnej jazdy główny ciężar napędzania bierze na siebie tylny silnik a 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. 1.15. Silnik i zawieszenie przednie Tesli model X - wygląd rzeczywisty

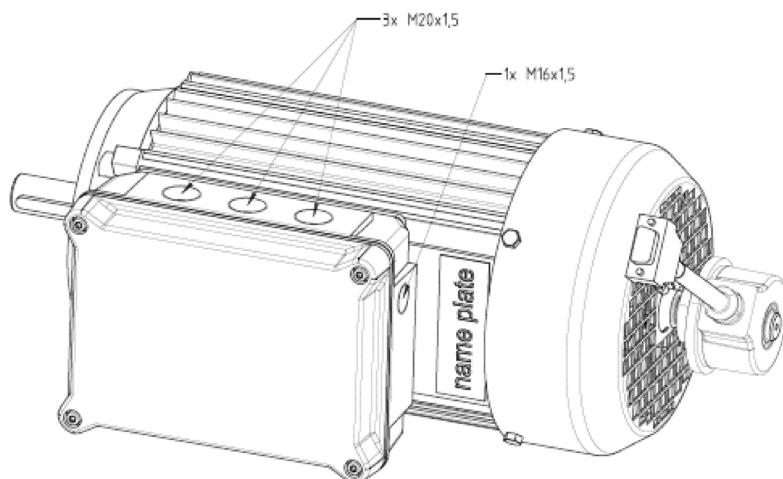
1.1.4. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów lekkich

Rzeczony elektryczny układu napędowego planowany jest z wykorzystaniem podejścia zwanego Szybkim Prototypowaniem. Na początku dokonuje się obliczeń trakcyjnych dla przykładowego pojazdu. Następnie spośród ofert rynkowych należy odnaleźć 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. mieszczącej się w Strefie Ekonomicznej w Lublinie. Oferuje ona ponad 1 800 rodzajów silników elektrycznych o mocy od kilku Watt 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.

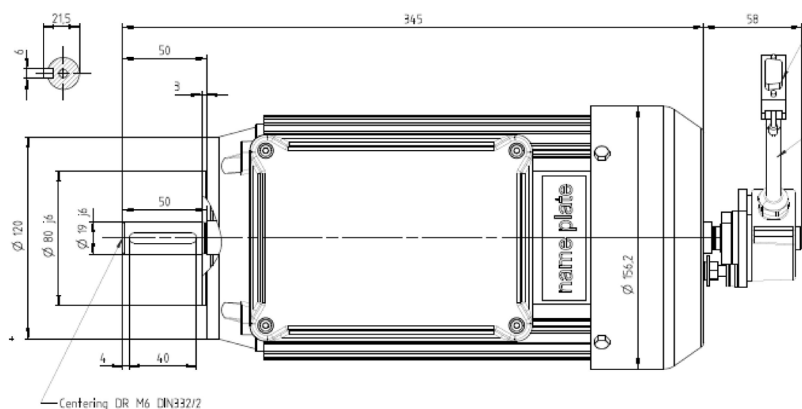
Dzięki bliskim kontaktom autora i inżynierów z ABM możliwy jest szybki rozwój silnika przez jego producenta jak i rozwój całego układu napędowego do konkretnego zastosowania. ABM jest w stanie zaprojektować i wykonać silnik elektryczny wraz z reduktorem lub multiplikatorem.

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 1.16 i 1.17.



Rys. 1.16. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wygląd zewnętrzny



Rys. 1.17. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wymiary gabarytowe

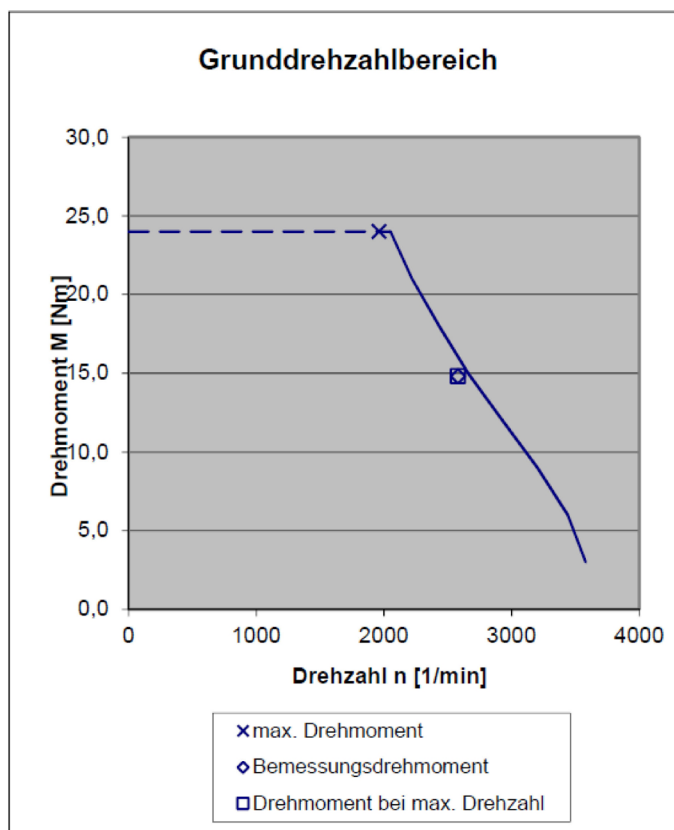
Budowa pojazdów elektrycznych

Część I – Podręcznik

W tabeli 1.1 i 1.2 oraz na rysunku 1.18 przedstawiono charakterystyki rozwiniętego silnika.

Tabela 1.1. Dane finalne silnika

ABM Greiffenberger Antriebstechnik GmbH - Datenblatt / Data sheet 191689300			
Typ / type:	4PMF80LW-4		
Teilenummer / Part number:	191689300	Revisionsstand / Revision level:	0003
Sondernummer / Special number:	S16893	Maßzeichnung / Scale drawing:	74585
		Datum / Date:	27.08.2019
Motordaten / Motor data:			
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
Klemmkastanlage / Terminalbox pos.:	A1	Klemmkastentyp / Type of terminal box:	Alu
Anschluss / Type of connection:	Standard	FU-Betrieb / Inverter use:	Ja
Lüftung / Ventilation:	Standard	Lüfterhaube / Fan cover:	Blech
Fremdlüftung / seperate fan:	Nein / No	Lage Fremdlüftung / Pos. foreign cooling fan:	
Getriebedaten / Gear data:			
Untersetzung / Ratio:			
Abtriebsdrehzahl / Output speed:		Betriebsfaktor / Service factor:	
Abtriebsmoment / Output torque:		Eta-Getriebe / Eta-gear:	
Bremse / Brake:			
Bremsmoment / Brake torque:		Spulenspannung / Coil voltage:	
Gleichrichter / Rectifier:		Amp:	
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
Welle / Output shaft:	Abtriebswelle / Outputshaft	D x L:	Ø19 mm x 50 mm
Sondenwelle / special shaft:	Ja / Yes		
Lackierung / Painting:	UNLACKIERT / Unpainted	RAL:	
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)

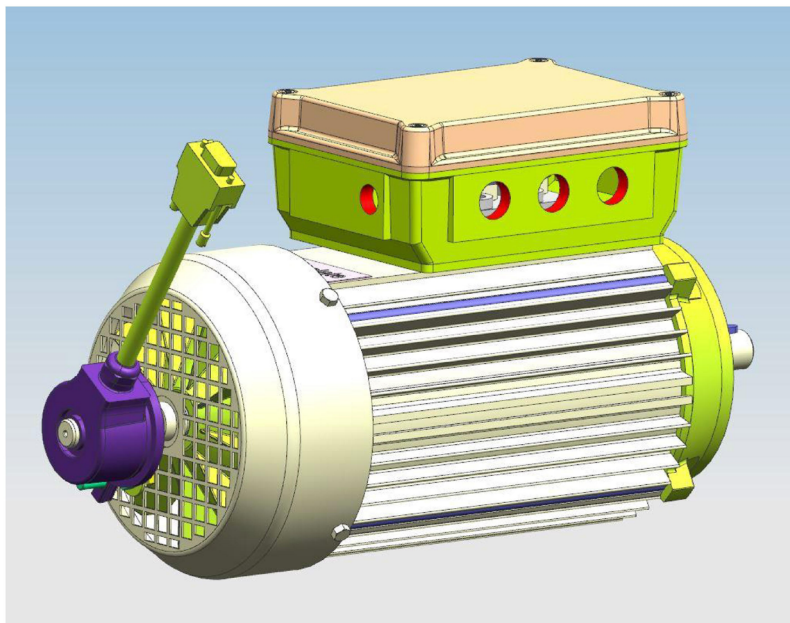


Rys. 1.18. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – charakterystyka momentu obrotowego

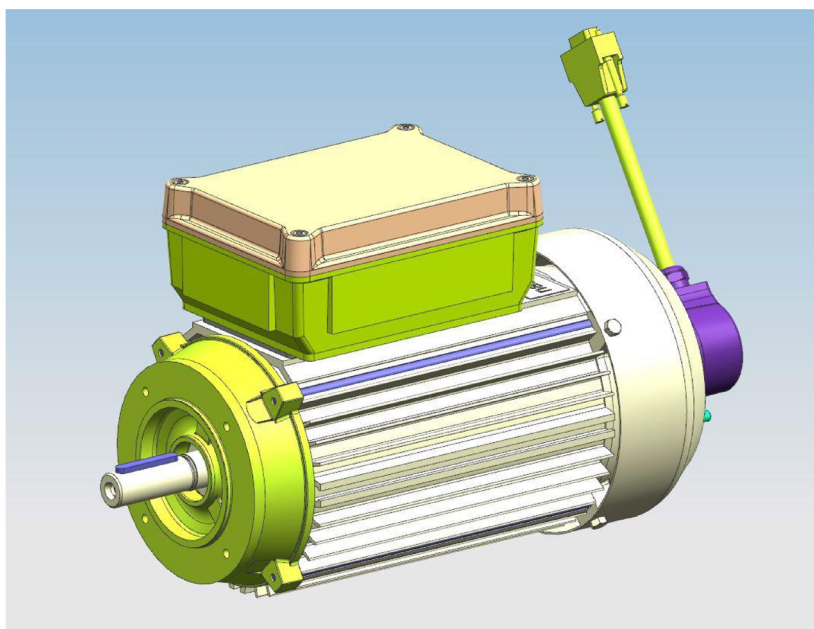
Tabela 1.2. Dane silnika

	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 1.19 i 1.20.

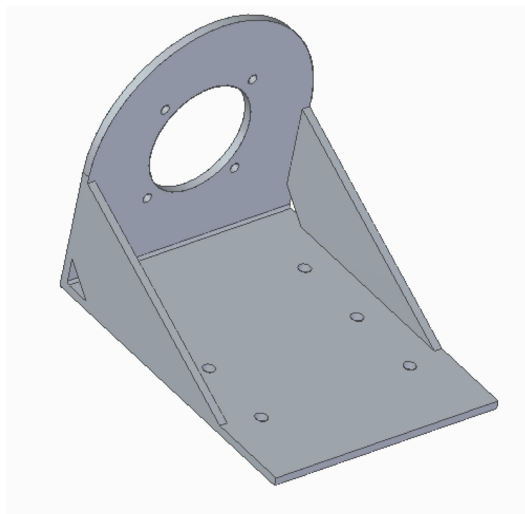


Rys. 1.19. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D



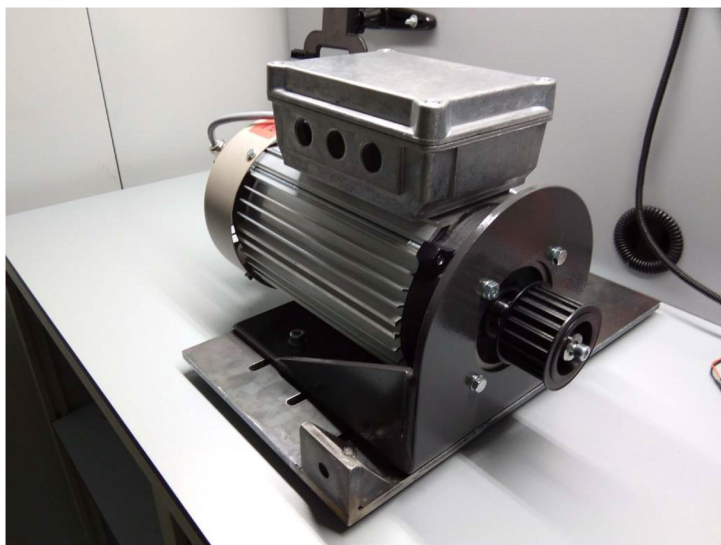
Rys. 1.20. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D

Dzięki takiemu podejściu do chwili otrzymania silnika autor mógł zaprojektować i wykonać uchwyt mocujący silnika (patrz rysunek 1.21).



Rys. 1.21. Projekt uchwyty mocującego dla silnika - model 3D

Finalna wersja uchwyty mocującego silnika, wraz z silnikiem została przedstawiona na rysunku 1.22 i 1.23.



Rys. 1.22. Złożenie rzeczywiste silnik – uchwyt – blacha mocująca



Rys. 1.23. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – badania laboratoryjne

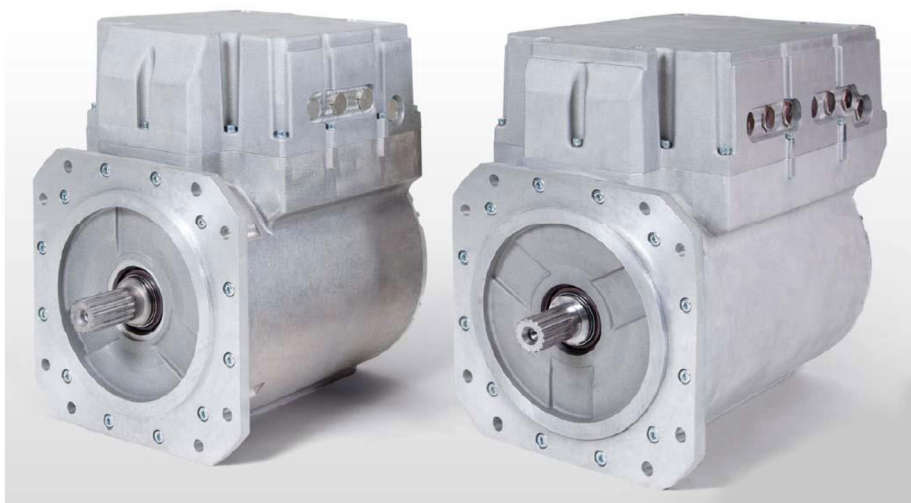
Napęd z silnika na inne układy lekkiego pojazdu, może być przenoszony za pomocą przekładni na pasek zębaty. Szeroki wybór kół pasowych i samych długości pasków, pozwala budować na bazie silnika układy napędowe z redukcją i multiplikowaniem prędkości obrotowej. Rozwinięty napęd elektryczny może być zastosowany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

1.1.5. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów cięższych

Za przykład cięższego pojazdu użytkowego posłuży prototypowy pojazd marki Ursus o nazwie Elvi, 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, Dopuszczal-

na Masa Całkowita (DMC) do 3,5 ton, 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 więc 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 1.24). Może być on wykorzystany do napędu głównego lub pomocniczego w wielu pojazdach, jak to przedstawiono za pomocą infografiki na rysunku 1.25.



Rys. 1.24. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW



Rys. 1.25. 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 osiągnięciami. Było to możliwe dzięki

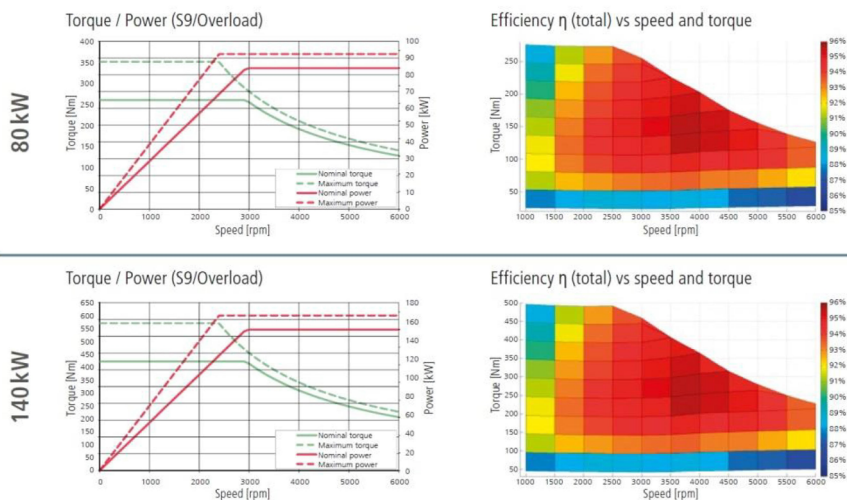
zastosowaniu innowacyjnego układu chłodzenia silnika olejem transformatorowym. W danych charakterystycznych (tabela 1.3) można znaleźć informację, że wersja o mocy 140 kW jest dłuższą wersją silnika o mocy 80 kW.

Tabela 1.3. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW – dane charakterystyczne [118]

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	[kgm ²]	0,0493	0,08	
Cooling connector		2	2	M26 x 1,5
Power connector		2	2	70mm ² 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 1.26). Praca silnika charakteryzuje się bardzo dużą sprawnością występująca w szerokim zakresie obrotów i obciążeń.

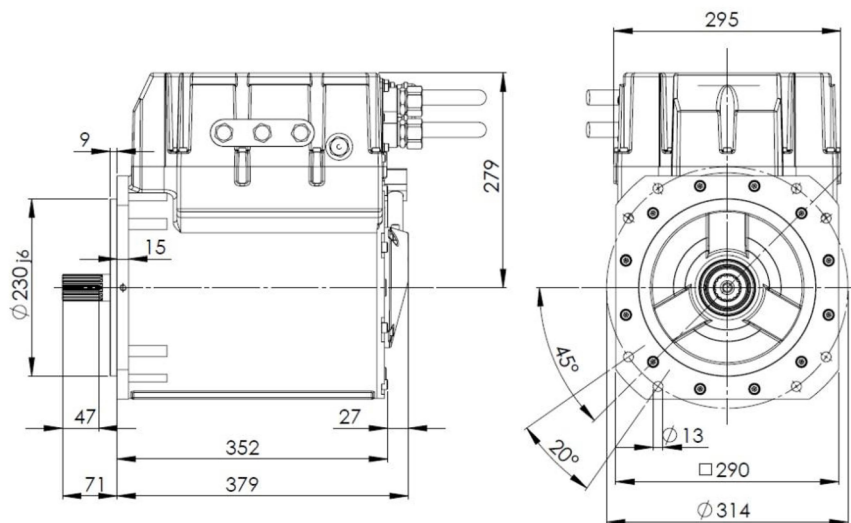
1. Silniki trakcyjne dla pojazdów elektrycznych



Rys. 1.26. Silniki PMSM Mela 85 i 140 kW – charakterystyki momentu i sprawności [118]

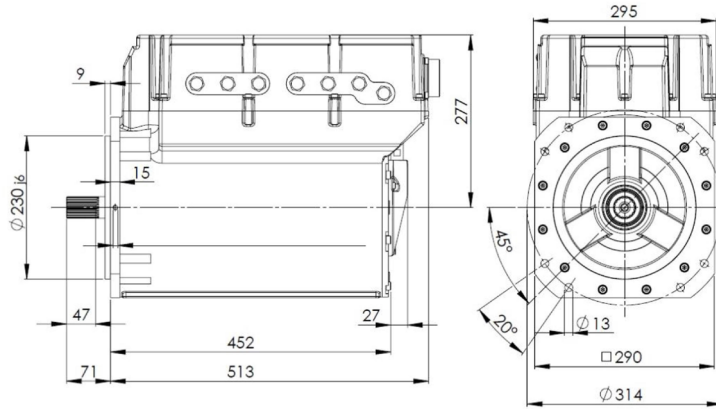
Wymiary gabarytowe silnika o mocy 80 kW przedstawiono na rysunku 1.27 a o mocy 140 kW na rysunku 1.28.

80 kW



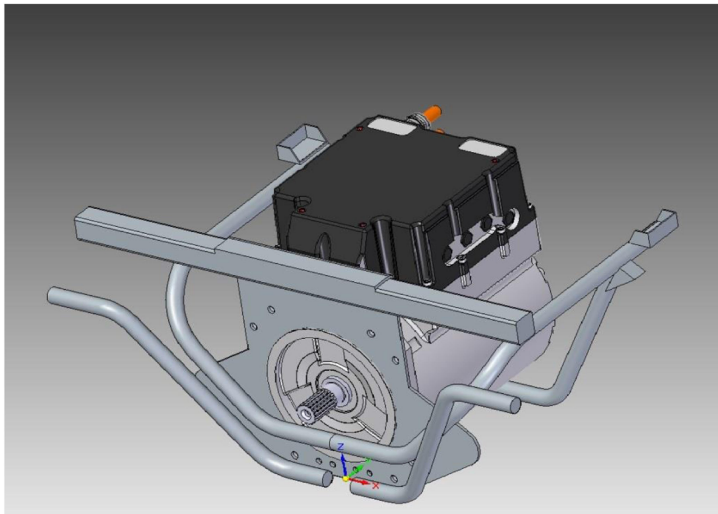
Rys. 1.27. Silnik PMSM Mela 85 – wymiary gabarytowe [118]

140kW

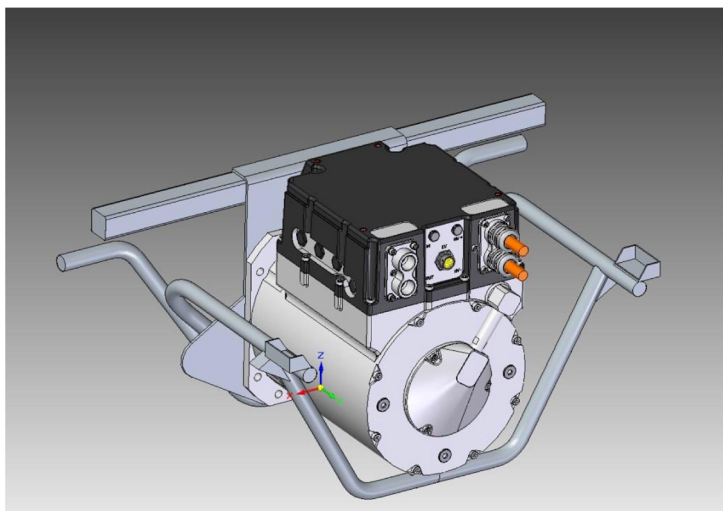


Rys. 1.28. Silnik PMSM Mela 140 – wymiary gabarytowe [118]

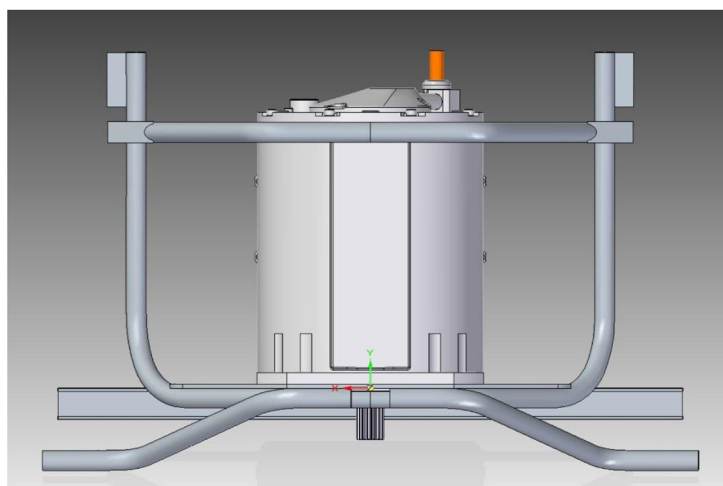
Metodami szybkiego prototypowania wykonano projekt oraz prototyp zamocowania silnika w pojeździe. Składa się on z płyty wyciętej metodą cięcia laserem oraz szeregu wsporników giętych z rury cienkościennej. Dzięki zastosowaniu takich rozwiązań mocowanie silnika jest lekkie i wytrzymałe. Widok konstrukcji zawieszenia silnika przedstawiono w różnych ujęciach na rysunkach 1.29 do 1.31.



Rys. 1.29. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika



Rys. 1.30. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika



Rys. 1.31. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika

Również w tym przypadku producent najpierw dostarczył model 3D silnika jeszcze przed przysłaniem rzeczywistego egzemplarza prototypowego. Dostarcza on również inne komponenty potrzebne do zbudowania innowacyjnego układu napędowego dla maszyn ogrodniczych i sadowniczych, które zostały przedstawione na rysunku 1.32.



Rys. 1.32. Komponenty dodatkowe dla układów napędowych [74]

1.1.6. Elektryczny układ napędowy dla pojazdów sportowych

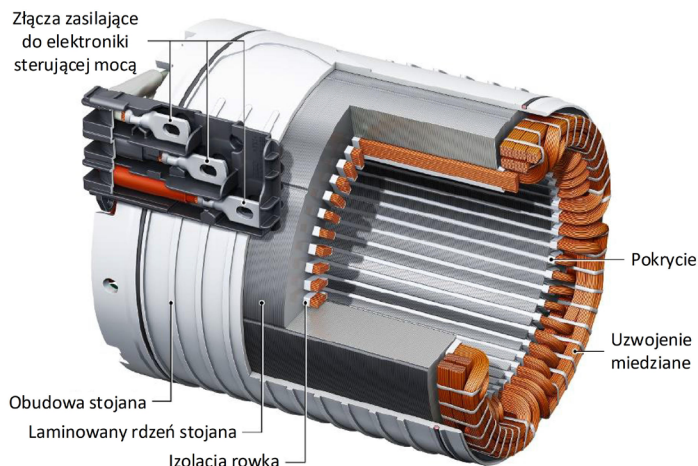
Elektryczny układ napędowy Audi e-tron jest przykładem wykorzystania maszyn asynchronicznych z rozłożonymi uzwojeniami i aluminiumowymi wirnikami klatkowymi. Zastosowane silniki mają dwie różne długości czynne i dostosowaną liczbę uzwojeń, w zależności od zastosowania, oraz osiągają zakres mocy wyjściowej od 90 kW do 140 kW [54].

Stojany silników składają się z laminowanych rdzeni z 48 zębami. Zastosowano w nich wysoce przepuszczalne arkusze elektryczne, połączone przy użyciu innowacyjnej techniki „GluLockHT”. Pojedyncze laminaty o grubości 0,35 mm są układane w stos i łączone za pomocą specjalnego kleju, bezpośrednio w narzędziu tnącym, w celu utworzenia laminowanego rdzenia.

W celu wykonania uzwojenia stojana miedziane druty są wciągane w jego rowki. Innowacyjne procesy produkcyjne umożliwiają osiągnięcie stosunkowo wysokiego współczynnika wypełnienia miedzią, przekraczającego 47%, przy bardzo małych wysokościach nawijania. Kompaktowe główce uzwojenia stojana zapewniają wiele korzyści i mają pozytywny wpływ na gęstość mocy produkowanych silników.

Solidną konstrukcję uzwojenia uzyskano dzięki zastosowaniu emaliowanego drutu miedzianego z bardzo małą liczbą defektów, dobrze izolujących elementów oraz impregnacji kąpielowej na bazie żywicy epoksydowej. Zapewnia to wysoką wytrzymałość dielektryczną i odporność na wyładowania niezupełne przez cały okres użytko-

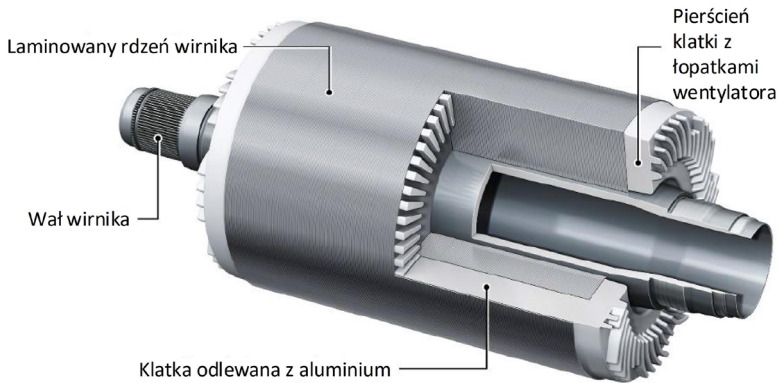
wania produktu. Budowę stojana stosowanego w silnikach elektrycznych produkowanych przez Audi przedstawiono na rysunku 1.33. Cały silnik ma klasę izolacji H i jest przystosowany do pracy w występujących w motoryzacji temperaturach roboczych.



Rys. 1.33. Konstrukcja stojana z rdzeniem z klejonego laminatu i rozłożonym uzwojeniem wciągającym [54]

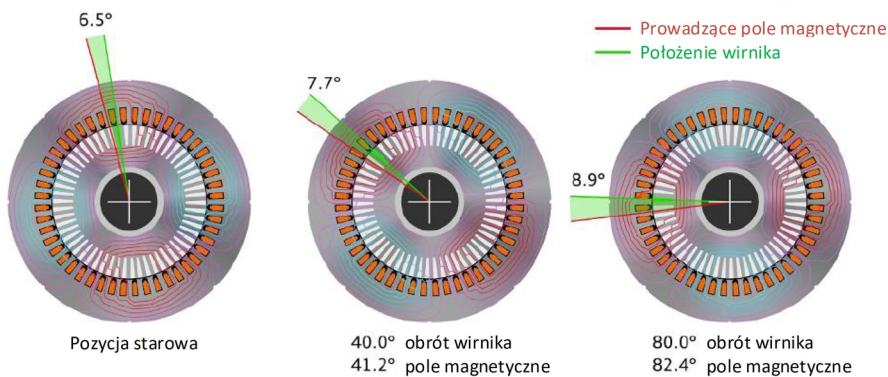
Wirniki silników są wykonane z tych samych arkuszy elektrycznych co stojany. Składają się z laminowanych rdzeni z 58 zębami i odlewanej ciśnieniowo aluminiowej klatki o wysokiej czystości (99,7%) w celu dobrej przewodności elektrycznej. Budowę wirnika stosowanego w silnikach elektrycznych produkowanych przez Audi przedstawiono na rysunku 1.34.

Klatki posiadają dodatkowo odlewane łopatki wentylatora, które umożliwiają dobre odprowadzanie ciepła konwekcyjnego z wirników. Pomimo dużych prędkości liniowych wirnika, przekraczających 120 [m/s], oraz niskiej wytrzymałości czystego aluminium, pierścienie klatkowe można było wykonać bez wzmocnienia, aby mogły pochłaniać duże siły odśrodkowe. Maksymalna temperatura robocza wirników jest ograniczona przez układ chodzący do 180°C.



Rys. 1.34. Konstrukcja wirnika z laminowanym rdzeniem [54]

Prąd elektryczny w uzwojeniach miedzianych generuje wirujący strumień magnetyczny w stanie („pole wirujące”), który zamyka się poprzez wirnik. Wirnik maszyny asynchronicznej obraca się nieco wolniej niż pole wirujące stojana (asynchronicznie), tak że w aluminiowej klatce indukowany jest prąd. Wynikowe pole magnetyczne w wirniku wytwarza siłę obwodową i ostatecznie powoduje obrót wirnika, co przedstawiono na rysunku 1.35.



Rys. 1.35. Zasada wzbudzenia maszyny asynchronicznej (schemat) [54]

Chłodzenie i odprowadzanie ciepła elektrycznych napędów elektrycznych Audi obejmuje:

- chłodzenie elektroniki mocy,
- konwekcyjne chłodzenie silnika na obwodzie stojana,

- chłodzenie płyty łożyskowej (chłodzenie oleju przekładniowego i konwekcyjne chłodzenie wirnika),
- chłodzenie wewnętrzne wirnika.

Do chłodzenia elektrycznych napędów Audi e-tron zastosowano innowacyjne połączenie chłodzenia cieczowego i konwekcyjnego. Koncepcję chłodzenia można zasadniczo podzielić na cztery obszary, które zostały przedstawione na rysunku 1.36.

Dopływ chłodziwa do napędów zawsze odbywa się za pośrednictwem elektroniki sterującej mocą, ponieważ stosowane tam półprzewodniki narzucają maksymalną dopuszczalną temperaturę cieczy chłodzącej.

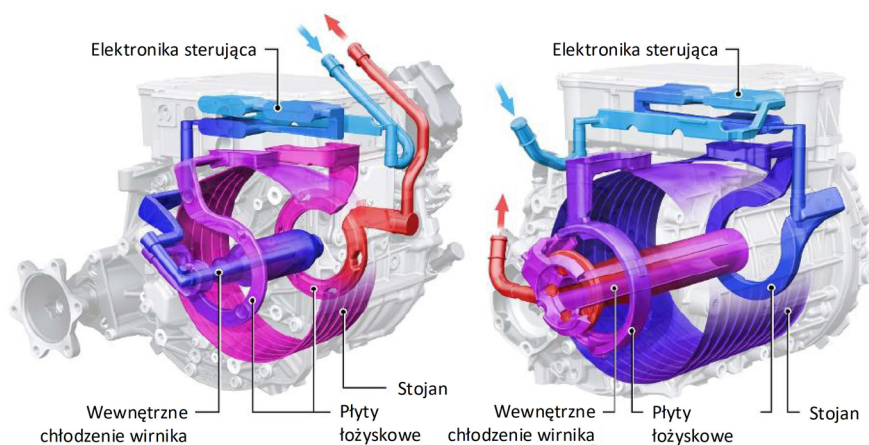
Ciepło (strata rezystancyjna) zasadniczo występujące w uzwojeniach miedzianych jest odprowadzane przez układ izolacyjny i laminowany rdzeń poprzez nośnik stojana do płaszcza chłodzącego. Medium chłodzące jest kierowane przez krążące kanały chłodzące pomiędzy wspornikiem stojana a obudową.

Płyty łożyskowe silników są również chłodzone cieczą, dzięki czemu temperatura łożysk wirnika, ale także temperatury ścian oddzielającej przestrzeń czynną i przekładnię, jest efektywnie obniżana. Płyty łożyskowe posiadają dodatkowo w obszarze wirnika konstrukcję żeber chłodzących, podobną do wentylowanej wewnętrznie tarczy hamulcowej. Ukierunkowany przepływ powietrza przez te radiatory, generowany przez łopatki wentylatora wirnika, zapewnia bardzo skuteczne odprowadzanie ciepła z pierścieni klatki wirnika, jak również dobre chłodzenie konwekcyjne głowic uzwojenia stojana.

Ponieważ konwekcyjne chłodzenie wirników nie jest wystarczające, aby spełnić wysokie wymagania ciągłej mocy silników, wszystkie wirniki napędowe są dodatkowo wyposażone w cieczowe chłodzenie wewnętrzne. Wewnętrzne chłodzenie wirnika wspomaga chłodzenie konwekcyjne, poprzez odprowadzanie ciepła (straty rezystancyjne i straty wynikające z ponownego namagnesowania) występującego w wirniku bezpośrednio do cieczy chłodzącej za pomocą przewodnictwa cieplnego. Wewnętrzne chłodzenie wirnika wyrównuje również temperaturę łożysk na pierścieniu wewnętrznym i zewnętrznym, dzięki czemu może być dokładniej zachowany określony luz łożysk wirnika. Ma to pozytywny wpływ na akustykę oraz wytrzymałość łożysk.

W przypadku wewnętrznego chłodzenia wirnika wewnątrz wału wirnika jest integralnym elementem obwodu chłodzącego i musi być całkowicie wypełnione cieczą chłodzącą. Wyzwaniem jest doprowadzenie i uszczelnienie medium chłodzącego na obracającym się wale wirnika, którego maksymalna prędkość obrotowa $n_{\text{maks}} = 15000$ obr. / min. Odbywa się to za pomocą pierścieni ślizgowych z odpornymi na zużycie pierścieniami uszczelniającymi z węgla krzemu.

Przedstawiona koncepcja chłodzenia zapewnia napędom Audi bardzo efektywne odprowadzanie ciepła z ich aktywnych komponentów, co przynosi bezpośrednie korzyści w zakresie wydajności, powtarzalności, ciągłej mocy i typowej trwałości charakterystycznych dla produktów Audi.



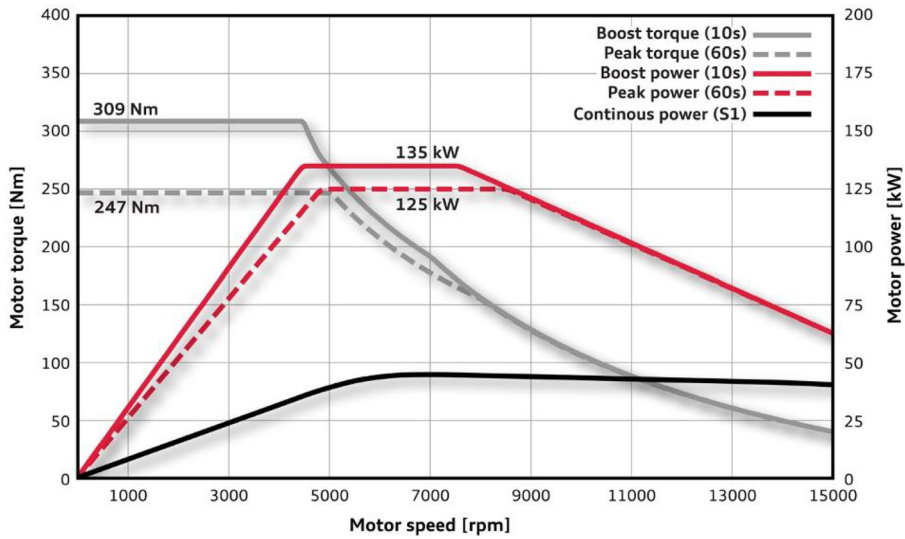
Rys. 1.36. Koncepcja chłodzenia elektrycznych napędów osi (APA250 lewy / AKA320 prawy) [54]

Dane techniczne silników elektrycznych produkowanych przez Audi zostały przedstawione w tabeli 1.4.

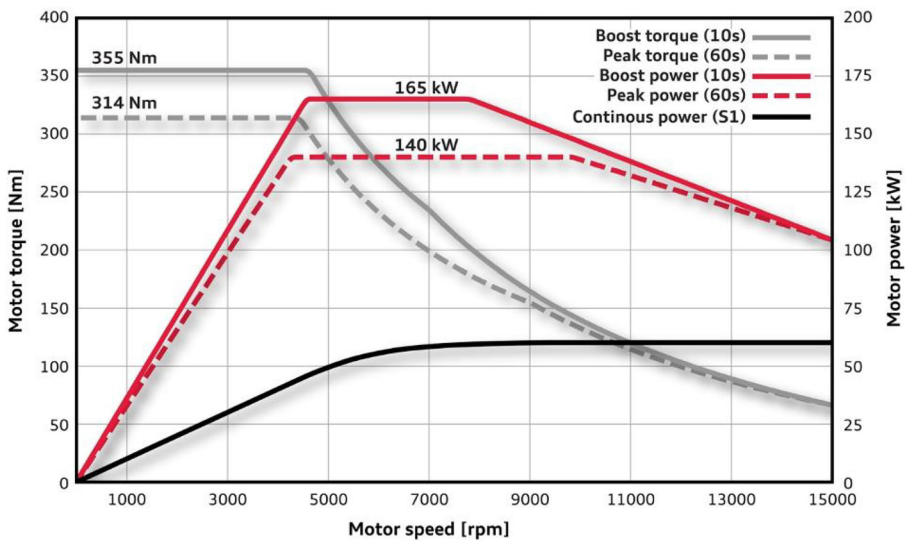
Tabela 1.4. Dane techniczne silników Audi [54]

Dane techniczne	
Technologia	Silnik asynchroniczny z wirnikiem klatkowym
Konstrukcja Wirnik wewnętrzny	
Konfiguracja stojana	Gwiazda
Typ uzwojenia	Uzwojenie rozproszone
Liczba par biegunów	2
Rodzaj wirnika	Wirnik klatkowy odlewany z aluminium
Klasa izolacji	H
Dane dotyczące miejsca instalacji	
Średnica stojana zewnętrzna/we- wnętrzna	245mm /157,2mm
Średnica wirnika zewnętrzna/we- wnętrzna	156mm/..
Szczelina powietrzna	0,6mm
Długość aktywna (w zależności od wariantu)	120mm/210mm
Wielkości znamionowe	
Napięcie znamionowe	360V
Prąd (10s / 2s / ciągły)	530A / 480A / 240A
Moc szczytowa (w zależności od wariantu)	90kW/125kW/140kW
Moc ciągła (w zależności od wariantu)	40kW/60kW
Moment szczytowy (w zależności od wariantu)	247Nm/314Nm
Maksymalna prędkość obrotowa	15000 obr./min

Moc i moment obrotowy silników elektrycznych w dużym stopniu zależą od obciążenia temperaturowego aktywnych elementów, a zatem dobry układ chłodzenia ma na nie pozytywny wpływ. Poniżej przedstawiono krzywe mocy i momentu obrotowego dla trzech najczęściej występujących stanów pracy silnika elektrycznego (rysunki 1.37 i 1.38)



Rys. 1.37. Krzywe mocy i momentu obrotowego silnika APA250 [54]



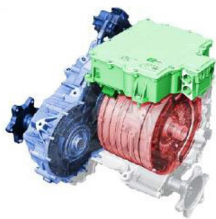
Rys. 1.38. Krzywe mocy i momentu obrotowego silnika AKA320 [54]

Wydajne chłodzenie silnika ma kluczowe znaczenie dla uzyskania dużej gęstości mocy. Ponieważ jednak przestrzeń montażowa i waga są również kluczowe w zastosowaniach motoryzacyjnych, efektywne, wysoce zintegrowane koncepcje chłodzenia, są niezbędne dla

uzyskania innowacyjnej trakcji elektrycznej. Wydzielanie ciepła i nagrzewanie się elementów to istotne czynniki, które należy uwzględnić w projektowaniu urządzeń elektronicznych operujących dużymi mocami i cechującymi się zwartą zabudową. Wysoka temperatura może powodować uszkodzenia podzespołów a rozszerzalność cieplna może powodować przestrajanie wrażliwych elementów i obwodów. Chłodzenie przez naturalną konwekcję i chłodzenie wymuszone, mogą znacząco wpływać na stopień nagrzewania się elementów, przez co analiza przepływu powietrza wokół części urządzenia jest kluczowym elementem symulacji *multi physics* obejmujących symulacje elektromagnetyczne, termiczne i mechaniczne.

Wymagania w tym zakresie, różnią się zasadniczo w niektórych aspektach od tych stosowanych dla silników spalinowych (patrz tabela 1.5). Po pierwsze, chłodzenie bardzo silnie wpływa na ciągłą pracę silnika. Przenikanie ciepła charakteryzuje się stosunkowo niskimi przepływami ciepła, ale złożoną kombinacją anizotropowego przewodnictwa ciepła, kontaktowych transferów ciepła oraz występowaniem stref konwekcji powietrza i wody. Wysokie prędkości obrotowe wirnika oznaczają również, że stosowanie jego wewnętrznego chłodzenia, ma duży wpływ na ciśnienie chłodziwa (i turbulencje przepływu), w zależności od prędkości obrotowej wirnika.

Tabela 1.5. Wymagania dotyczące chłodzenia / odprowadzania ciepła silników spalinowych i elektrycznych [54]

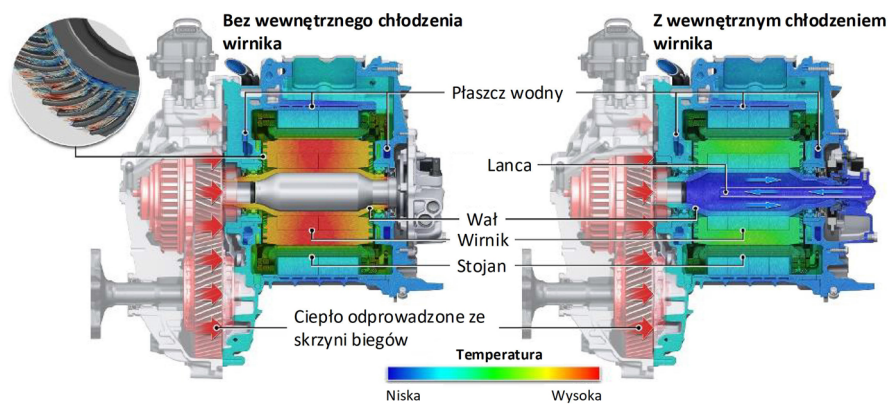
	Silnik spalinowy	Silnik elektryczny
		
Wpływ chłodzenia na wydajność	Umiarkowany	Bardzo silny
Maks. ograniczenie przepływu ciepła / temperatury	~100kW Głowice aluminiowe	~10kW System izolacyjny stojana/klatki wirnika

Wymiana ciepła	Dominujące konwekcyjne	Złożony mechanizm obejmujący przewodnictwo cieplne, kontakty cieplne, konwekcję powietrza / wody
Przewodność cieplna	Głównie izotropowa	Silnie anizotropowa (arkusze elektryczne, uzwojenia)
Wrzenie	Umiarkowane wrzenie pęcherzykowe	Wymaga mniejszej uwagi
Ciśnienie cieczy chłodzącej	Określane przez pompę i zbiornik wyrównawczy wody chłodzącej	Możliwe lokalne wysokie nadciśnienie/podciśnienie ze względu na obroty wirnika
Turbulencje	Głównie izotropowe	Anizotropowe (przepływ obrotowy)
Technika symulacji	CFD często wystarczy	Wymagana CHT

Na podstawie wielu złożonych symulacji naukowcy i inżynierowie pracujący dla Audi opracowali wysoce wydajne koncepcje odprowadzania ciepła dla silników elektrycznych. Symulacje CHT (Conjugate Heat Transfer) w modelu połączonym, posłużyły do symulacji przepływu czynnika chłodzącego i powietrza, a także ogólnej analizy struktury silnika. Najpierw zbadano szeroką gamę koncepcji chłodzenia, z wodą i olejem jako medium chłodzącym, a następnie została wybrana koncepcja optymalna - chłodzenie wodne z chłodzeniem wewnętrznym wirnika.

Rysunek 1.39 przedstawia temperatury w napędzie APA250 bez i z wewnętrznym chłodzeniem wirnika. W obu przypadkach ciepło jest odprowadzane z silnika przez opisany wcześniej płaszcz wodny obudowy oraz przez chłodzenie konwekcyjne wirnika wbudowane w płyty łożyskowe (cyrkulacja powietrza przez łopatki wentylatora na powierzchniach wirnika). Po stronie przekładni, chłodzenie tarczy łożyskowej jednocześnie chłodzi olej przekładniowy.

Silnik na schemacie po prawej stronie posiada dodatkowo wewnętrzne chłodzenie wirnika. Płyn chłodzący wpływający do wirnika, kierowany jest za pośrednictwem nieruchomej lancy a następnie przepływa ruchem obrotowym przez wał do wylotu. Porównując oba wykresy, wyraźnie widać silny wpływ wewnętrznego chłodzenia wirnika na temperaturę silnika, zwłaszcza w wirniku.



Rys. 1.39. Symulacje CHT napędu APA250 bez (po lewej) i z (po prawej) wewnętrznym chłodzeniem wirnika [54]



1.2. 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 do silników spaliniowych 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 spaliniowymi 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 o silnik elektryczny posiadają zazwyczaj skrzynię biegów?**
- a. nie
 - b. tak
- 32. Czy układy napędowe oparte o silnik elektryczny posiadają zazwyczaj reduktor prędkości obrotowej?**
- a. nie
 - b. tak
- 33. Czy układy napędowe oparte o silnik elektryczny 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. obejm 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

1.3. Ćwiczenia wraz z instrukcją



1.3.1. 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
-
-

1.3.2. 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 prędkość jazdy przy prędkości znamionowej silnika i przełożeniu redukującym 1:2
-
-
-

1.3.3. 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 prędkość jazdy przy prędkości znamionowej silnika
-
-
-

1.3.4. 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 prędkość jazdy przy prędkości znamionowej silnika
-
-

1.3.5. 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
-
-



2. Baterie trakcyjne dla pojazdów elektrycznych



2.1. Wstęp

Kolejnym kluczowym komponentem pojazdu elektrycznego są baterie trakcyjne [12]. Najbardziej rozpowszechnioną ich 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 - LiNiMnCoO_2 lub NMC), które z powodzeniem stosowane są w elektrycznych autobusach produkowanych przez wielu europejskich i światowych ich producentów [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 2.1 [2].

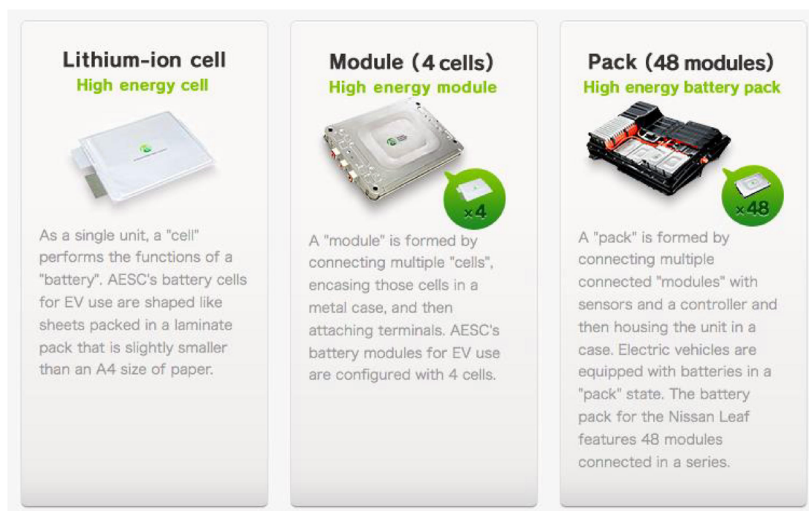


Rys. 2.1. Gniazdo ładowania prądem stałym i przemiennym CCS Combo

2.2. Ogólna budowa baterii trakcyjnych

Budowa takiej baterii składa się z cel, modułów oraz pakietów połączonych ze sobą szeregowo-równolegle (rysunek 2.2). Oczywiście

sam moduł (rysunek 2.3) nic nie znaczył bez ogniwi (rysunek 2.4). W starszych bateriach używano ogniwi niklowo-metalowo-wodorkowych (Ni-MH), ale ze względu na tzw. efekt pamięci, w nowych rozwiązaniach zastąpiono je ogniwami litowo-jonowymi, które nie posiadają tej wady oraz są bardziej przyjazne dla środowiska.



Rys. 2.2. Pojedyncza cela, moduł i pakiet baterii Nissana Leaf 2012 [92]



Rys. 2.3. Moduł baterii Nissana Leaf 2012 [92]

Szeregowe łączenie ogniwi zwiększa wartość napięciową, a równoległą wartość pojemnościową. Budowę pojedynczego ogniwa baterii trakcyjnej pojazdu Nissan Leaf przedstawiono na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Pojedyncze ogniwo litowo-jonowe Nissan Leaf [92]

Cały pakiet baterii trakcyjnej, składający się z 48 modułów, przedstawiono na rysunku 2.5. Moduły są łączone w pakiecie w układy szeregowo-równoległe w celu uzyskania odpowiedniego napięcia na poziomie około 400 V DC.



Rys. 2.5. Pakiet baterii Nissana Leaf 2012 [92]

Na rysunku 2.6 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. 2.6. Moduły baterii Nissana Leaf 2011-2018 [91]

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 ogniw w całej

baterii. Rodzaj ogniwa użytego do budowy baterii trakcyjnej przedstawiono na rysunku 2.7.



Rys. 2.7. Ogniwa baterii trakcyjnej pojazdu Tesla [132]

Porównanie parametrów baterii w Nissanie Leaf i Tesli Model S przedstawiono w tabelach 2.1 i 2.2.

Tabela 2.1. Dane techniczne modułu baterii Nissan 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.	300mm. / 220mm. / 35mm.
Waga modułu	3.8 kg.

Tabela 2.2. Dane techniczne modułu baterii Tesla [132]

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.	660mm. / 300mm. / 80mm.
Waga	15 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 min. ochronę baterii przed uszkodzeniem podczas ładowania, wydłużenie jej żywotności oraz utrzymanie pożądanego stanu ogniw. System ten gdy wychwyci jakiegokolwiek sygnały przekraczające normę diagnostyczną, jest w stanie ograniczyć np. prąd ładowania lub nawet całkowicie przerwać 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).

2.3. 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 baterijnego, 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.

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 Renault Twizy przedstawiono na rysunku 2.8. 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 odlewanej 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 określenie stopnia 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. 2.8. Wygląd pakietu baterii w Renault Twizy [107]

Pakiet baterii w Renault Twizy jest umieszczony pod siedzeniem kierowcy i waży 105 kg. Miejsce umieszczenia akumulatora przedstawiono

kolorem niebieskim na rysunku 2.9. Umieszczenie pakietu baterii pod siedzeniem kierowcy znacząco obniża środek ciężkości pojazdu i wpływa bardzo korzystnie na stabilność pojazdu podczas jazdy na zakrętach.



Rys. 2.9. Miejsce montażu pakietu baterii w Renault Twizy [108]

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 2.10. Na rysunku można dostrzec, że pakiet baterii to nie tylko moduły bateryjne ale także szereg urządzeń pomocniczych.



Rys. 2.10. Miejsce montażu pakietu baterii w Renault Zoe [109]

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 miejsce do montażu baterii litowo-jonowej jest podłoga pojazdu, jak to widać na rysunku 2.11. Największe pakiety baterii o pojemności 42,2 kWh znajdują się w modelach boosts i3 oraz i3s.



Rys. 2.11. Miejsce montażu pakietu baterii w BMW i3 [110]

Jeden z największych w samochodach osobowych pakietów baterii znajduje się w elektrycznym SUVie Audi e-tron (patrz rysunek 2.12). 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 ich 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. 2.12.6 Wygląd pakietu baterii w Audi e-tron [111]

Na przykład salon i autoryzowany serwis marki Nissan Odyssey w Lublinie eksponuje przekrój najnowszego Nissana Leaf (rysunek 2.13). Dokładnie widać na nim położenie głównych komponentów elektrycznego układu napędowego. Ekspонат budzi 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 ekspонат 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. 2.13. Rzeczywisty przekrój elektrycznego Nissana Leaf

Wspomniany przekrój ukazuje również miejsce montażu baterii litowo-jonowych. Na rysunku 2.14 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. 2.14. Położenie baterii w Nissanie Leaf

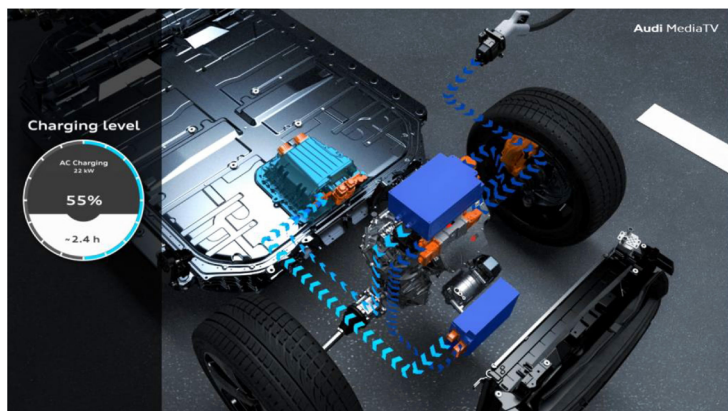
Producenci pojazdów wykorzystują także techniki modelowania 3D oraz animacji do celów promocji elektrycznych układów napędowych. Obecne systemy do modelowania CAD posiadają bardzo zaawansowane funkcje renderingu, które pozwalają osiągnąć bardzo duże odwzorowanie rzeczywistości. Niejednokrotnie ludzie 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 2.15 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. 2.15. Miejsce montażu pakietu baterii w Audi e-tron [112]

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 2.16 przedstawiono animację przepływu energii podczas

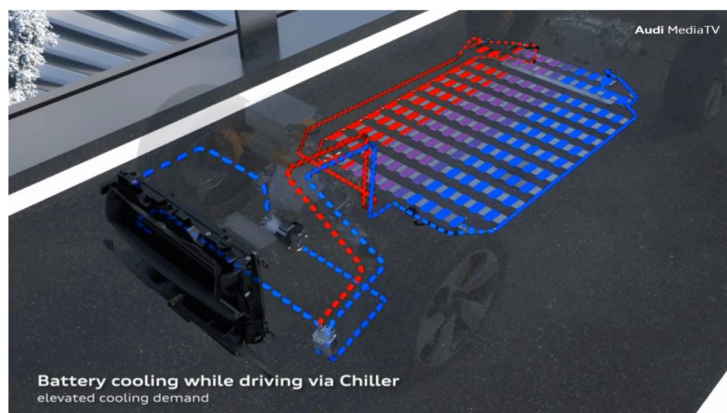
ładowania baterii w pojeździe Audi e-tron. Z animacji można dowiedzieć się gdzie są umieszczone główne komponenty systemu gromadzenia i przetwarzania energii elektrycznej. Zaliczamy do nich samą baterię, Battery Management System, falownik, ładowarkę pokładową oraz złącze ładowania CCS.



Rys. 2.16. Przepływ energii w Audi e-tron podczas ładowania baterii [112]

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 nad ich rynkowymi konkurentami. 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 złożone w celu zmniejszenia rezystancji. Warto zaznaczyć, że łączna moc systemowa w Audi e-tron wynosi ponad 400 KM a pojemność energetyczna baterii wynosi 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 2.17.



Rys. 2.17. Chłodzenie baterii w Audi e-tron podczas jazdy [112]

Można zauważyć, że w przykładach wymienionych 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.

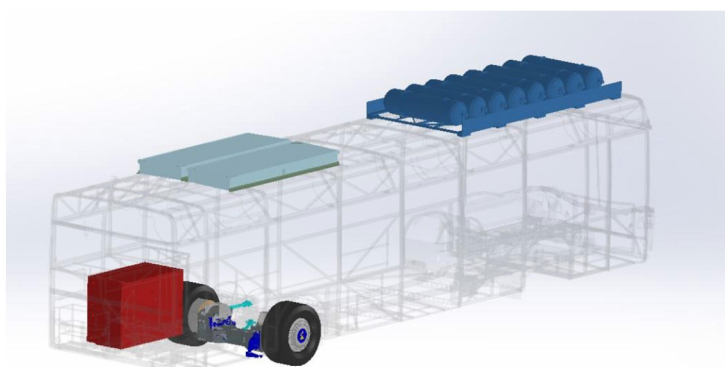
Przejdźmy teraz do elektrycznych pojazdów użytkowych. Konstruktorzy znajdują w nich trochę więcej miejsca do zabudowy pakietów baterii. Niektórzy producenci pojazdów wykorzystują w swoich autach dostawczych te same pakiety baterii, które służą do napędu samochodów osobowych. Pakiet baterii znany z Renault Zoe służy także do zasilania Renault 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 wprowadziło na rynek nowy model auta dostawczego zwany StreetScooter. 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 2.18. Ze

względu na masę własną oraz Dopuszczalną Masę Całkowitą, pojemności energetyczne pakietów baterii dla tych kategorii pojazdów muszą być odpowiednio większe.



Rys. 2.18. Miejsce montażu pakietu baterii w pojeździe ciężarowym [113]

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 2.19. 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.



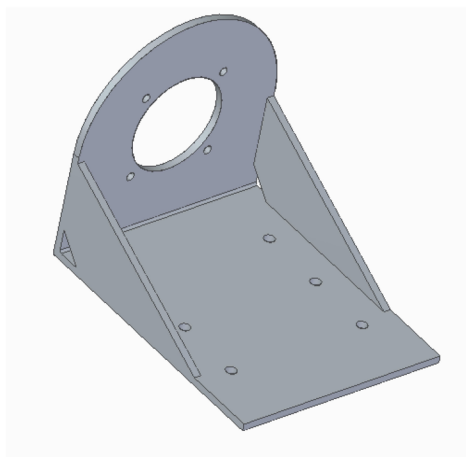
Rys. 2.19. Miejsce montażu pakietu baterii na dachu autobusu elektryczno-wodorowego Ursus Hydrogen Demo Bus [114]

W przypadku konwersji autobusów z silnikami spalinowymi na napęd elektryczny zazwyczaj baterie litowo-jonowe montowane są w przedziałach bagażowych autobusów (rysunek 2.20). Nie jest to jednak dla nich optymalne położenie ze względów bezpieczeństwa.



Rys. 2.20. Miejsce montażu pakietu baterii w luku bagażowym autobusu [115]

W przypadku autobusów o konstrukcji ramowej pakiety baterii zazwyczaj mocuje się do ramy, tak jak w przypadku aut dostawczych. Jak można zauważyć na rysunku 2.21 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 2.22).



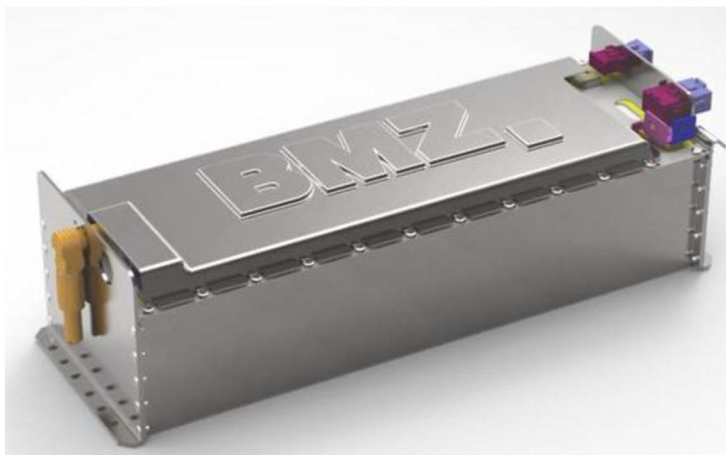
Rys. 2.21. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [116]



Rys. 2.22. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [116]

2.4. 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 2.23. W tabeli 2.3 przedstawiono jego charakterystyki prądowe.

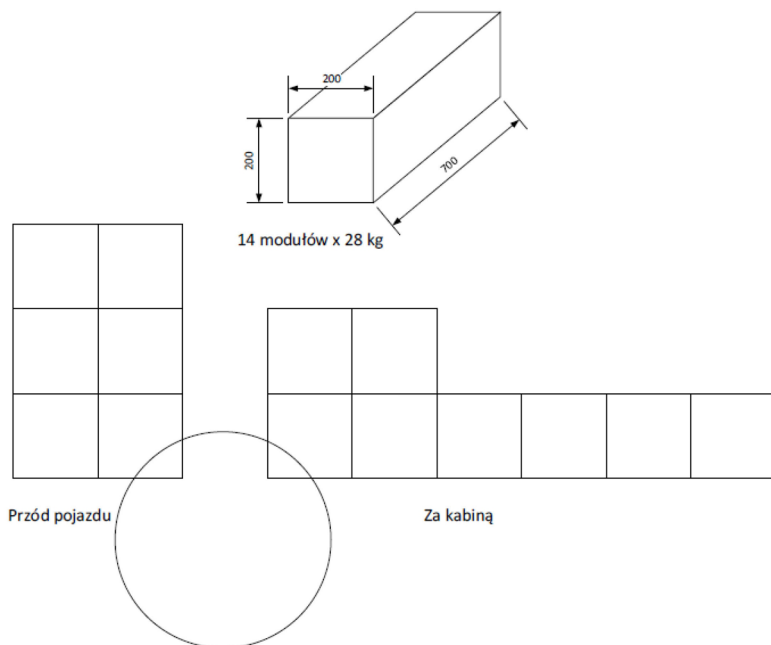


Rys. 2.23. Moduły baterijny 12S01P firmy BMZ [80]

Tabela 2.3. Dane techniczne modułu baterii BMZ [80]

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

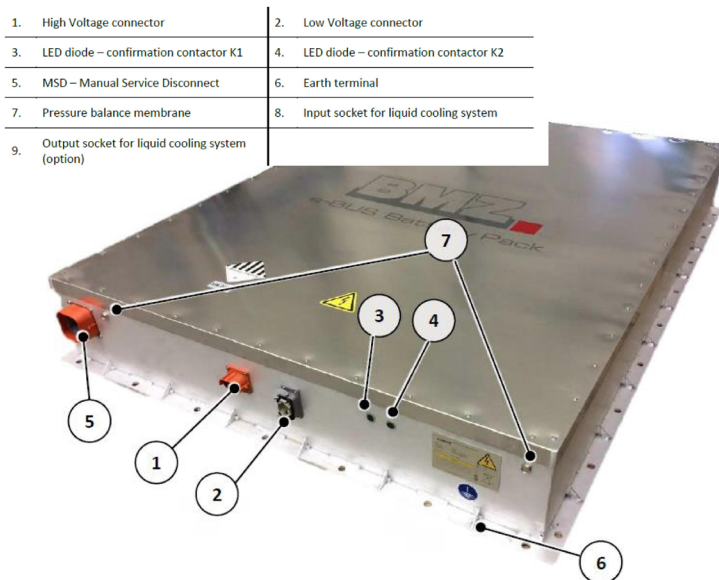
Znając zapotrzebowanie silnika elektrycznego w zakresie żądanego napięcia oraz wymogów dotyczących długości pracy pojazdu można zaprojektować odpowiedni rozkład modułów bateryjnych tworząc z nich pakiety, tak ja to przedstawiono na rysunku 2.24.



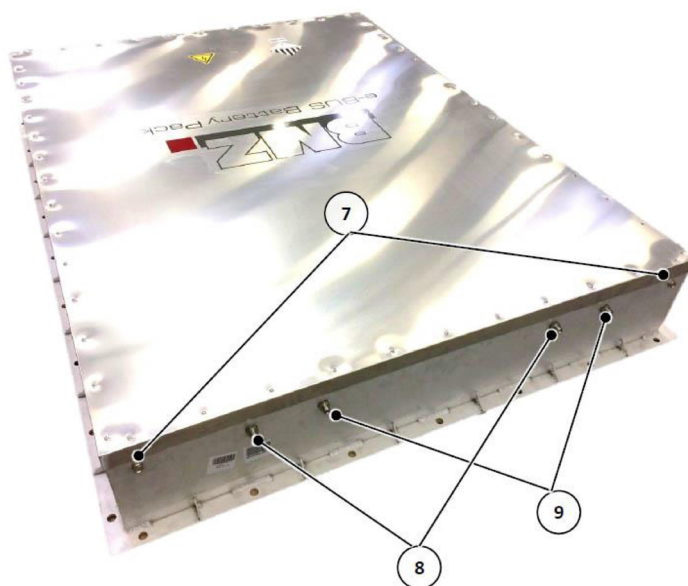
Rys. 2.24. Przykładowy rozkład modułów bateryjnych w projektowanym pojeździe

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 2.25 i 2.26 zaś jego wymiary gabarytowe na rysunku 2.27. System składa się z 14 modułów (z rysunku 2.23) połączonych by otrzymać odpowiednie napięcie nominalne (600 V). Pakiet jest przystosowany do chłodzenia cieczą chłodzącą typu glikol.

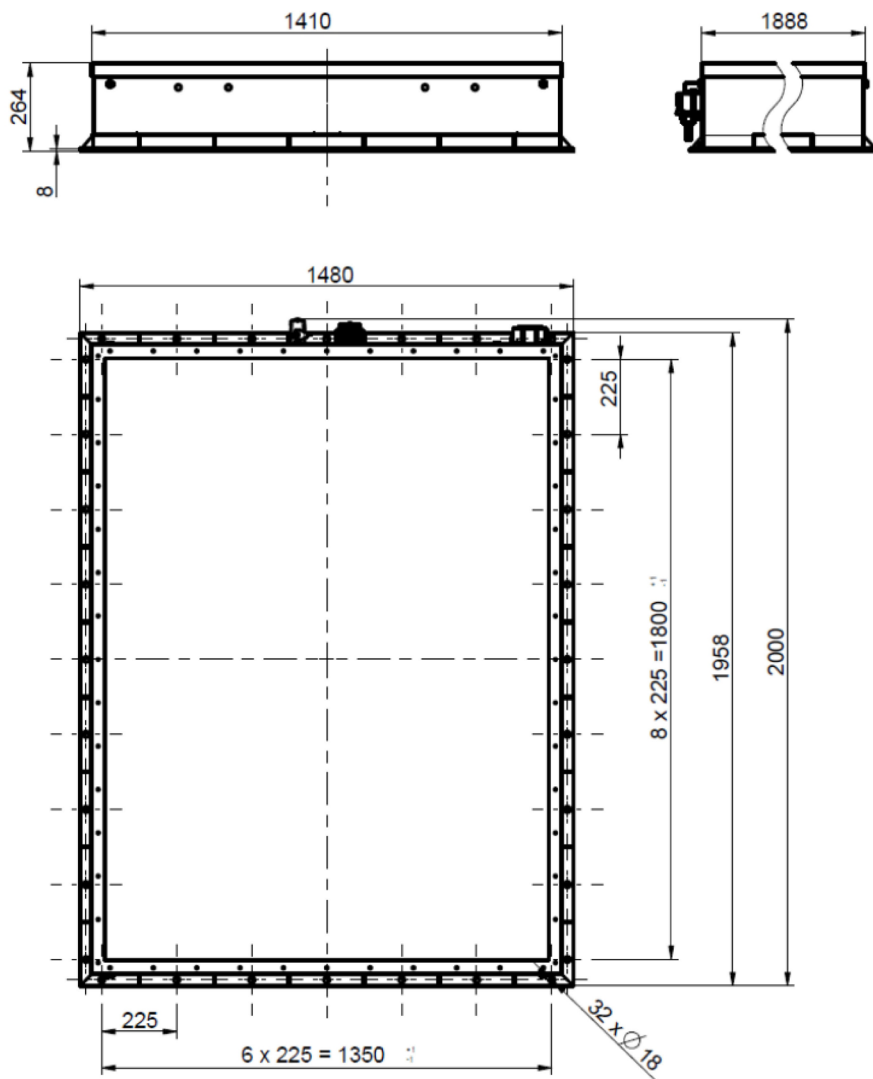
2. Baterie trakcyjne dla pojazdów elektrycznych



Rys. 2.25. Pakiet baterijny e-BUS firmy BMZ [11]



Rys. 2.26. Pakiet baterijny e-BUS firmy BMZ [11]



Rys. 2.27. Pakiet baterijny e-BUS firmy BMZ – wymiary gabarytowe [11]

2.5. 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 właściwości tych baterii
- 17. Na trwałość baterii litowo-jonowych negatywnie wpływa:**
- a. przechowywanie ich w pełni naładowanych w wysokich temperaturach
 - b. przechowywanie ich rozładowanych w wysokich temperaturach
 - c. temperatura nie ma wpływu na właściwości 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 cewa cylindryczna do budowania pakietów baterii litowo-jonowych ma wymiary:**
- a. 18x65
 - b. 21x70
 - c. 30x100
- 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 mająca 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



2.6. Ćwiczenia wraz z instrukcją

2.6.1. 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
-
-
-

2.6.2. 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 baterijnego i jego producenta
 - Określenie wymiarów pakietu i miejsce jego umieszczenia w pojeździe
-
-
-

2.6.3. 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



.....

.....

.....

2.6.4. 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

.....

.....

.....

.....

2.6.5. Ćwiczenie 5

Dokonaj złożenia w programie do modelowania 3D magazynu energii opartego o moduł 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

.....

.....

.....

1

2

3

4

5

3. Integracja komponentów pojazdów elektrycznych



3.1. Potrzeba integracji komponentów

Pojazdy elektryczne, jak to wynika z wiadomości przedstawionych we wprowadzeniu, mogą być od zaprojektowane i skonstruowane całkowicie od podstaw. Wtedy w znacznym stopniu będą różnić się od tradycyjnych pojazdów, w których silnik spalinowy zastąpiono silnikiem elektrycznym. Innowacyjne pojazdy zaprojektowane jako elektryczne posiadają wiele komponentów, które muszą ze sobą współpracować. W obszarze obejmującym układ napędowy, dotyczy to współpracy silnika trakcyjnego z bateriami oraz baterii z ładowarką pokładową lub szybką ładowarką zewnętrzną. Pamiętajmy, że pojazdy elektryczne muszą też posiadać wszystkie systemy odpowiadające za bezpieczeństwo i komfort jazdy kierowcy i pasażerów. W pojazdach elektrycznych wiele komponentów musi zostać zaprojektowanych od nowa lub zdecydowanie przekonstruowanych.

Na przykład układ hamulcowy pojazdu elektrycznego znacznie różni się od tego dobrze znanego z pojazdów z silnikami spalinowymi. Oczywiście musi on obejmować hydrauliczny system hamulcowy z układem ABS i ESP. Ale już wspomaganie układu hamulcowego nie może wykorzystać podciśnienia w kolektorze dolotowym silnika bo go po prostu nie ma. Ponadto pojazd elektryczny posiada możliwość odzyskiwania energii hamowania. Oznacza to, że bardzo duże ilości energii nie będą rozpraszane w układzie hamulcowym a efektywnie wykorzystywane do doładowywania baterii trakcyjnych.

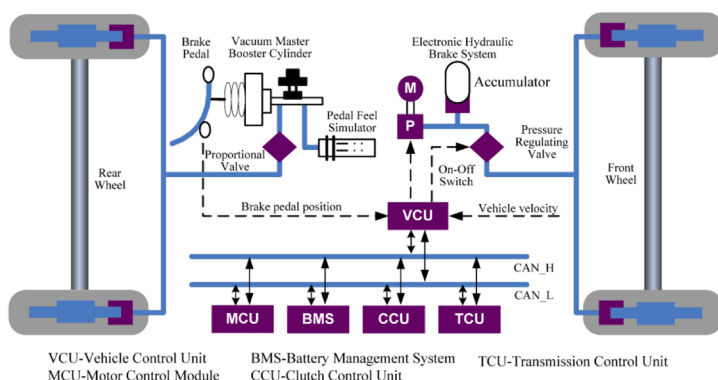
W pojeździe elektrycznym nie ma ponadto silnika spalinowego, który zazwyczaj generował ogromne ilości ciepła, które z powodzeniem mogły zostać wykorzystane do ogrzewania kabiny pojazdu. Zatem system ogrzewania i klimatyzacji pojazdu elektrycznego również będzie się w znaczący sposób różnił od tradycyjnych rozwiązań.

Wszystkie systemy pokładowe pojazdu elektrycznego są w chwili obecnej zaawansowanymi systemami mechatronicznymi. Szereg elektronicznych jednostek sterujących zarządza wybranymi systemami oddzielnie a jeśli zachodzi taka konieczność również razem. Podstawowe elektroniczne jednostki sterujące występujące w pojeździe elektrycznym przedstawiono na rysunku 3.1. Należą do nich:

- VCU – Jednostka Sterująca Pojazdem,
- MCU – Jednostka Sterująca Silnikiem Elektrycznym,

- BMS – System Zarządzania Baterią,
- CCU – Jednostka Sterująca Sprzęgłem,
- TCU – Jednostka Sterująca Przeniesieniem Napędu.

Na rysunku 3.1 wyraźnie widać, że wszystkie Elektroniczne Jednostki Sterujące są połączone z siecią CAN (Controller Area Network). Controller Area Network jest to szeregową magistralą komunikacyjną powstała w latach 80. XX w. w firmie Robert Bosch GmbH z myślą o zastosowaniach w przemyśle samochodowym. To właśnie za pomocą sieci CAN poszczególne jej jednostki sterują wybranymi komponentami oraz wymieniają się informacjami między sobą.



Rys. 3.1. Podstawowe elektroniczne jednostki sterujące występujące w pojeździe elektrycznym [73]

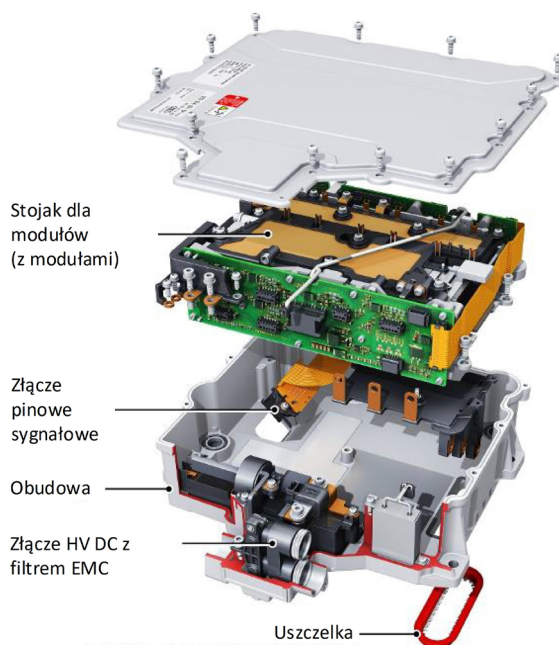
Aby pojazd elektryczny charakteryzował się zaprojektowanymi cechami, komponenty do jego budowy muszą być starannie do siebie dobrane, pod względem parametrów mechanicznych i elektrycznych oraz ze sobą skomunikowane w celu efektywnego sterowania nimi. Działania takie nazywamy integracją komponentów w pojeździe elektrycznym.

Zatem MCU (Jednostka Sterująca Silnikiem Elektrycznym) za pomocą sieci CAN steruje silnikiem elektrycznym. Do sieci CAN wysyła ramki danych zawierające parametry sterujące w postaci żądanej prędkości obrotowej silnika oraz momentu obrotowego. Ramki danych są odpowiednio adresowane, aby trafiły do odpowiedniego adresata. Jednak niektóre dane krążące w sieci CAN mają status danych ogólnych i mogą zostać odczytane przez dowolny moduł ko-

munikacyjny. Oczywiście ramki danych w sieciach CAN mogą być przesyłane z różnymi prędkościami, chociaż obserwuje się na rynku trendy związane ze standaryzacją i unifikacją systemów sterowania.

3.2. Zasilanie silnika

Prąd trójfazowy dla elektrycznych silników trakcyjnych jest generowany przez moduł elektroniki mocy, który jest zazwyczaj połączony z silnikiem. Elektronika mocy jest zgodna z koncepcją inteligentnej integracji napędu osi pojazdu, w oparciu o którą jeden projekt komponentu może być stosowany dla wszystkich architektur osi stosowanych w marce Audi. Obudowa i stojak modułowy są wykonane prawie na gotowo w wyniku odlewania. Jedynym pozostałym zabiegiem jest wyfrezowanie gniazda pod podłączenie przewodów wysokiego napięcia z lewej lub prawej strony odlewu w zależności od warunków zabudowy. Na rysunku 3.2 przedstawiono rozstrzelony widok głównych elementów energoelektroniki wraz z ich kluczowymi parametrami technicznymi.



Rys. 3.2. Elektronika sterująca mocą [54]

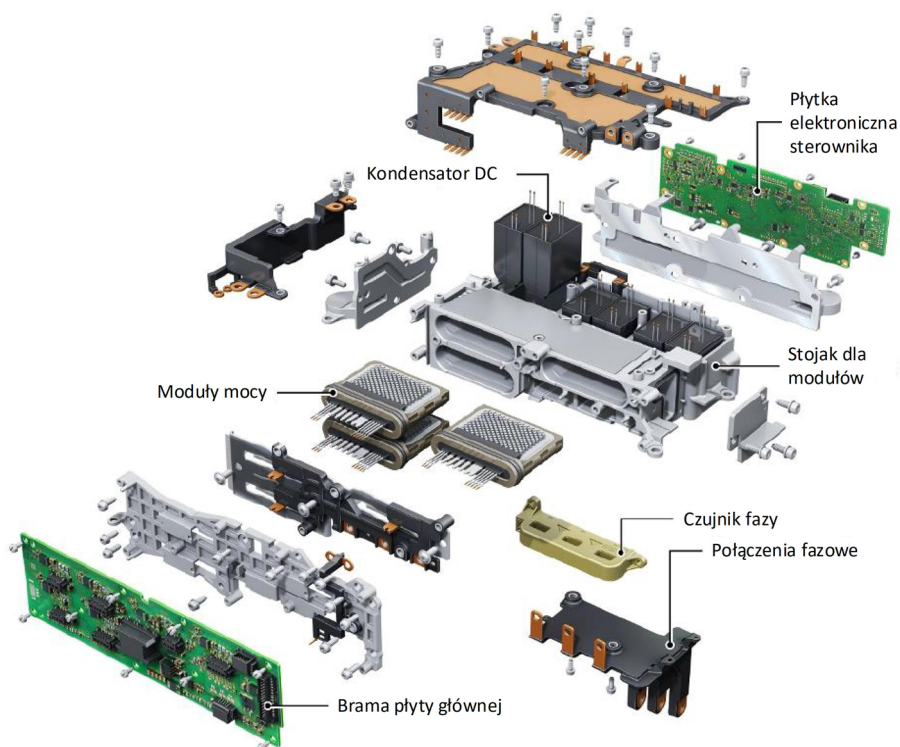
Tabela 3.1. Dane techniczne elektroniki sterującej mocą [54]

Dane techniczne	
Efektywny prąd fazowy	530 A10s/ 260 A ∞
Objętość	5,5 l
Waga	8 kg
Napięcie	150 – 460 V
Gęstość mocy	30 kW/l
Obudowa	Aluminiowa
Procesor	Infineon AURIX TriCore
Klasa ochrony	IP6k9k, IP67

Wewnątrz jednostki energoelektronicznej trzy krzemowe moduły mocy najnowszej generacji są skonfigurowane do tworzenia konwencjonalnego falownika impulsowego B6 i są instalowane w szafie. W szafie, moduły mocy są chłodzone z obu stron i zamontowane w taki sposób, żeby karta sterownika bramki mogła być podłączona bezpośrednio do ich styków. Pomimo dwustronnego chłodzenia i kompaktowych wymiarów, całkowita wysokość elementu wynosi zaledwie 82 mm. Na rysunku 3.3 przedstawiono wewnętrzną konstrukcję szafy z zainstalowanymi modułami.

Elektroniczna płytką sterownika jest zamontowana z tyłu szafy modułowej w sposób umożliwiający oszczędność miejsca, podczas gdy powiązane z nią sygnałowe złącze pinowe znajduje się w podstawie obudowy. Pakiet ten został zrealizowany na podstawie skoordynowanego projektu sprzętowego, który umożliwia połączenie za pomocą kabla taśmowego bez negatywnego wpływu na integralność sygnału i EMC (kompatybilność elektromagnetyczną).

Aby uszczelnić połączenie fazowe z silnikiem, połączono trójwargowe uszczelnienie środowiskowe nowego typu z pierścieniem stykowym EMC. Pierścień stykowy kompensuje wszelkie odchyłki tolerancji produkcji silnika i zapewnia ekranowanie systemu oraz połączenie z masą. Dzięki integracji obu rozwiązań w jednym komponencie można zminimalizować wielkość pakietu, jego koszt i złożoność.



Rys. 3.3. Konstrukcja wewnętrzna modułu [54]

Modułowa konstrukcja elektroniki mocy jest ukierunkowana na wielkoseryjną produkcję przemysłową. Moduł mocy, szafka i moduł elektroniki mocy zawierają zestaw, za pomocą którego można również zrealizować dalsze projekty elektryfikacji pojazdów z niewielkimi zmianami. Ponadto w pełni zautomatyzowana produkcja elektroniki mocy zapewnia najwyższą jakość wykonania i identyfikowalność nawet w przypadku dużych partii produkcyjnych.

Po raz pierwszy w Audi funkcje sterowania silnikiem elektrycznym, znajdujące się na płycie sterownika, są opracowywane w całości we własnym zakresie. Umożliwia to optymalne połączenie kompetencji w zakresie projektowania komponentów, rozwoju funkcji i integracji pojazdów.

Sterowanie silnikiem elektrycznym jest bardzo dynamiczne. Dane z czujników są odczytywane, a nowe wartości prądu podawane do silnika 10 000 razy na sekundę. Rezultatem jest optymalne wykorzystanie mocy, szczególnie w dynamicznych punktach pracy.

Niektóre funkcje pojazdu, takie jak tłumienie drgań i kontrola poślizgu, zostały zintegrowane bezpośrednio z elektroniką mocy. Oznacza to, że działania te mogą być wykonywane bez opóźnień, bez komunikacji z magistralą BUS. W wyniku tych działań na przykład przyspieszanie na oblodzonych nawierzchniach jest znacznie lepsze.

Zaletami projektu Audi są bardziej bezpośrednie możliwości adaptacji w procesie rozwoju, a także osiągi jazdy optymalnie dostosowane do konkretnego pojazdu. Do celów sterowania, sprzęt dodatkowo zawiera kompatybilny z ASIL-D monitor momentu obrotowego oparty na prądzie fazowym [54].

3.3. Sterowanie silnikiem elektrycznym

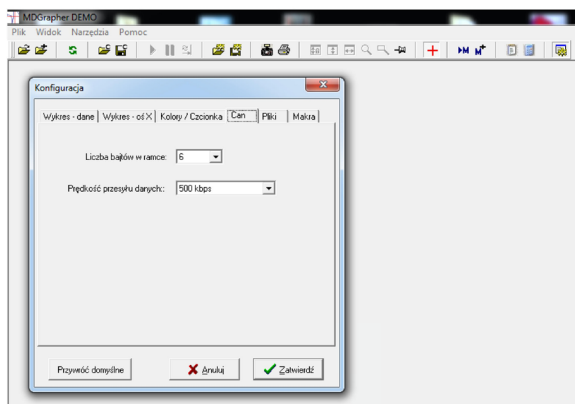
W większości pojazdów elektrycznych do sterowania nimi oraz do ich diagnostyki wykorzystywane są sieci CAN. Do komunikacji z magistralą CAN potrzebny jest interfejs, który jest w stanie odczytać dane krążące w magistrali, wyświetlić ich aktualne wartości a nawet zapisać do pliku ich chwilowe wartości w celu analizy off-line. Przykładem takiego interfejsu jest PCAN-USB – CAN interfejs z końcówką USB firmy Peak System (rysunek 3.4). Autor szczególnie poleca ten interfejs ze względu na niezawodne działanie i łatwość obsługi.



numer części IPEH-002022,
koszt 220 €
PEAKSystem
Technik GmbH
OttoRöhmStr.69
D64293 Darmstadt
Fon: +49 6151 817320
Fax: +49 6151 817329
info@peaksystem.com
www.peaksystem.com

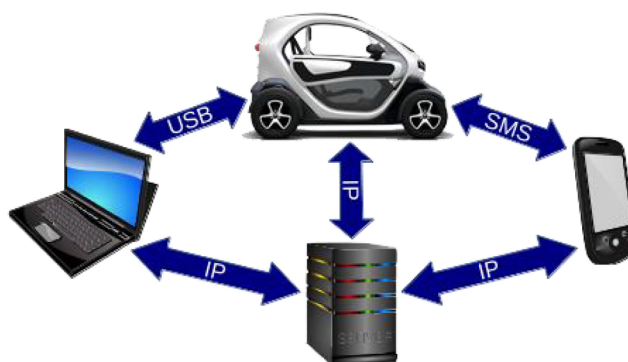
Rys. 3.4. Interfejs PCAN-USB

Do odczytu i wizualizacji danych z magistrali CAN służy specjalistyczny software, którego przykładem może być MDGrapher (rysunek 3.4).



Rys. 3.5. Okno programu MDGrapher

Na podstawie takiego podejścia do diagnostyki powstają specjalne software i aplikacje dedykowane pojazdom elektrycznym. Przykładem może być OVMS, przedstawiony na rysunku 3.6, dedykowany Renault Twizy.



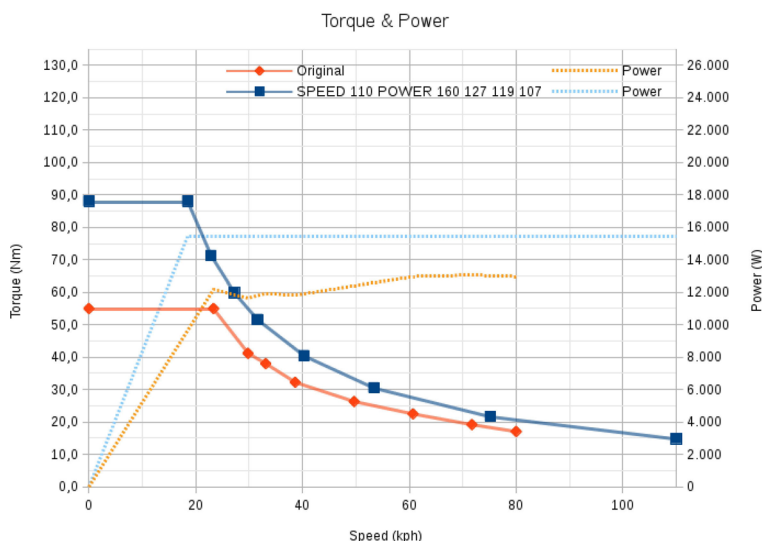
Rys. 3.6. Zasad działania software OVMS

Co to jest OVMS? OVMS w wolnym tłumaczeniu oznacza system monitorowania otwartych pojazdów. OVMS jest to mały moduł, który łączy się z portem diagnostycznym pojazdu (szyna OBD2 / CAN), aby w sposób ciągły odczytywać stan pojazdu i dane dotyczące osiągnięć. Może również dokonywać wysyłania informacji do magistrali CAN, aby zmienić konfigurację sterownika silnika (chip tuning). OVMS może (ale nie musi) być podłączony do sieci GSM za pomocą

standardowej karty SIM. Jeśli użytkownik skorzysta z tej opcji, może go kontrolować za pomocą wiadomości SMS, aplikacji OVMS na smartfony lub komputera. OVMS może wysyłać dane telemetryczne do serwera, umożliwiając długoterminowe przechwytywanie i analizę danych. Moduł może również wysyłać powiadomienia SMS, na przykład o przerwaniu procesu ładowania lub gdy bateria 12 V wymaga ładowania. Jest również wyposażony w odbiornik GPS, dzięki czemu użytkownik może zlokalizować pojazd i nagrać ścieżki przejazdu. Więcej o systemie można znaleźć na oficjalnej stronie internetowej producenta www.openvehicles.com.

Schematy i oprogramowanie OVMS są wydawane jako Open Source i mogą być używane dowolnie w dowolnym celu. Każdy może pomóc w projekcie, każda pomoc jest mile widziana. OVMS wywodzi się z Tesli Roadster, ale w chwili obecnej obsługuje szeroką gamę pojazdów elektrycznych.

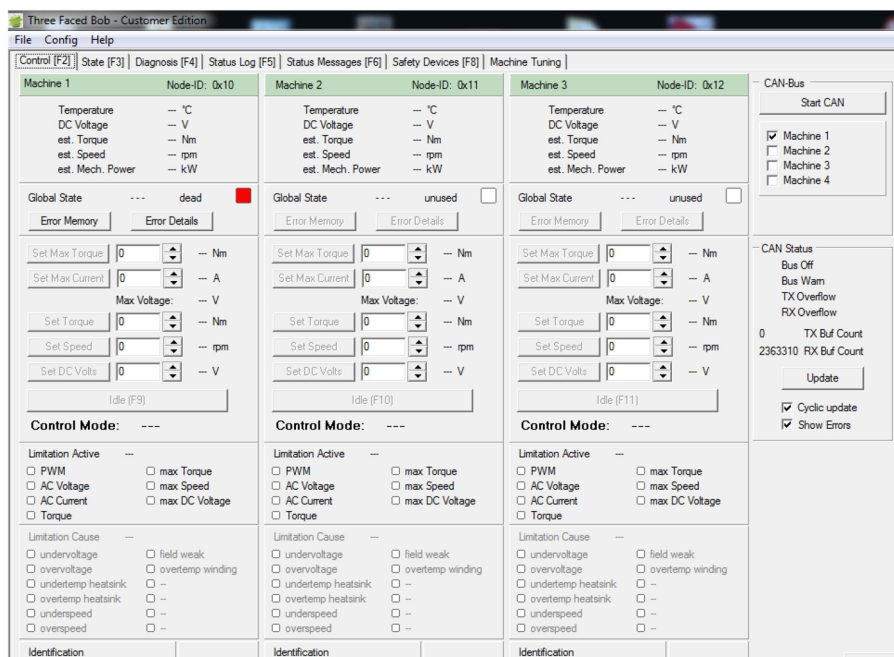
Osoby będące elektronikami i programistami mogą zrobić za pomocą takiego software znacznie więcej. Możliwa jest rekonfiguracja ustawień silnika elektrycznego lub BMS baterii w celu zwiększenia osiągnięć układu napędowego. Efekt takiego tuningu dla pojazdu Renault Twizy przedstawiono na rysunku 3.7.



Rys. 3.7. Efekt tuningu Renault Twizy

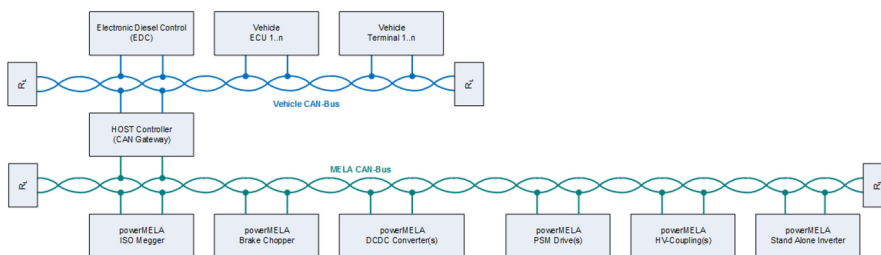
3. Integracja komponentów pojazdów elektrycznych

Producenci silników elektrycznych dla pojazdów elektrycznych mają swoje dedykowane software, które umożliwiają konfigurację danego silnika. Przykładem takiego oprogramowania jest Three face Bob przeznaczony do konfiguracji silników trakcyjnych dla pojazdów jednego z niemieckich producentów (rysunek 3.8).



Rys. 3.8. Three face Bob software – okno Control

Na rysunku 3.9 przedstawiono powiązania i zależności pomiędzy magistralą CAN silnika elektrycznego EV a magistralą CAN pojazdu.



Rys. 3.9. Zależności magistrali CAN silnika elektrycznego z magistralą CAN pojazdu

W magistrali CAN krążą odpowiednie informacje (ramki z danymi) adresowane do wszystkich lub wybranych odbiorców (rysunek 3.10). Dzięki takiemu podejściu nie trzeba dublować tej samej informacji adresowanej do kilku odbiorców, a co najważniejsze nie trzeba do nich ciągnąć wiązek przewodów elektrycznych, by taką informację dostarczyć.

Identifier	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Command-1-ID	Maximum torque		Maximum speed		Control value		Control mode	Valid flags
	LB	HB	LB	HB	LB	HB		
	In Nm unsigned int16		In rpm unsigned int16		In S.I. units signed int16		Numerical unsigned int8	Bit-coded unsigned int8

Rys. 3.10. Komendy sterujące silnikiem elektrycznym podawane przez magistralę CAN

Nowoczesne inwertery zapewniają możliwość sterowania silnikiem PMSM (*ang. Permanent-Magnet Synchronous Motor*) na wiele sposobów. Przykładowe tryby sterowania przedstawiono w tabeli na rysunku 3.11.

Data Byte	Control mode	Control value	Unit
0	IDLE	Nothing (0xFFFF)	-
1	Torque	Desired torque	Nm
2	Speed	Desired speed	rpm
3	DC voltage	Desired DC voltage	V
4	Angle	Desired angle	rad
5	Master: Synchronization of the generator	Desired DC voltage	V
6	Slave: Synchronization of the generator	Desired DC voltage	V
7..255	Invalid	Nothing (0xFFFF)	-

Rys. 3.11. Tryby sterowania silnikiem elektrycznym poprzez magistralę CAN

W sieci CAN krążą również informacje z kodami usterek (rysunek 3.12) i ostrzeżeniami (rysunek 3.13). Ich odczytanie i interpretacja mają znaczenie na poprawność pracy elektrycznego układu napędowego.

3. Integracja komponentów pojazdów elektrycznych

Bit of D7	Definition	Description
0	Valid maximum torque	B0 set to 1 enables the maximum torque to adopt the sent value B0 set to 0 blocks the maximum torque to adopt the sent value
1	Valid maximum speed	B1 set to 1 enables the maximum speed to adopt the sent value B1 set to 0 blocks the maximum speed to adopt the sent value
2	Valid control value	B2 set to 1 enables the control value to adopt the sent value B2 set to 0 blocks the control value to adopt the sent value
3	Valid control mode	B3 set to 1 enables the control mode to adopt the sent value B3 set to 0 blocks the control mode to adopt the sent value

Rys. 3.12. Kody usterek podawane przez magistralę CAN

Bit	Warning Status
0	DC under voltage
1	DC over voltage
2	Under temperature IGBT heat sink
3	Over temperature IGBT heat sink
4	Over temperature DC-link capacitor
5	Over temperature motor winding
6	Maximum speed
7	Maximum D-current
8	Maximum phase current
9	Maximum torque
10	Maximum electrical power
11	Over temperature ambient inside the inverter
12	Minimum speed (blocked drive)
13...15	Reserved

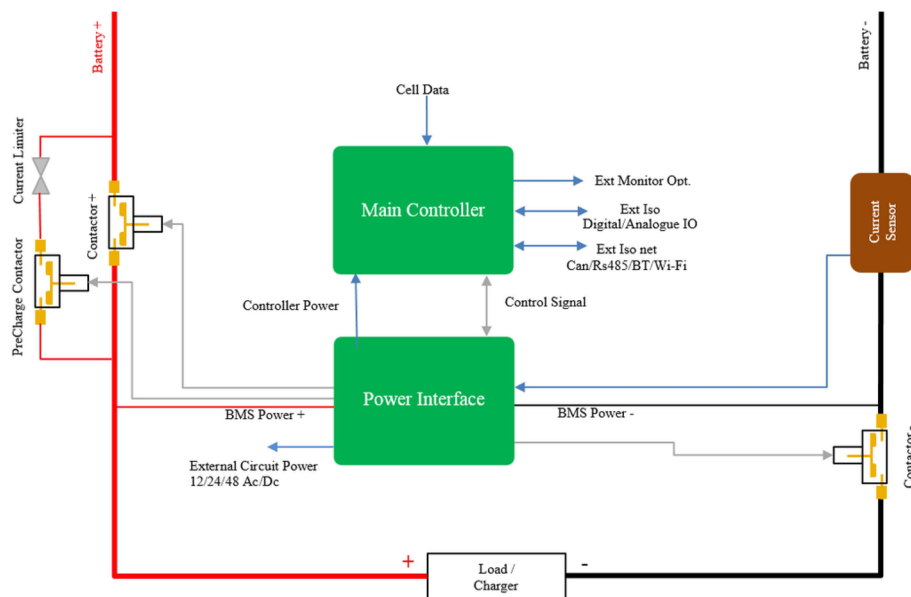
Rys. 3.13. Ostrzeżenia podawane przez magistralę CAN

Duże skomplikowanie sterowania silnikiem elektrycznym oraz bateriami EV wymaga znajomości procedur CAN przez pracownika warsztatu. Szkolenie takie są w stanie przeprowadzić specjalistyczne firmy zajmujące się elektroniką samochodową i nie tylko.

3.4. Rola Battery Management System - BMS

BMS (z ang. Battery Management System) to system zarządzania bateriami w pojeździe. Jest to rozwiązanie, które spotkać można między innymi w samochodach elektrycznych, które zasilane są bateriami litowo-jonowymi. System zarządzania baterią jest jednym z najważniejszych elementów pojazdu elektrycznego. Główną cechą BMS jest zabezpieczenie baterii i zapewnienie jej niezawodnej i płynnej pracy.

System zabezpiecza poszczególne ogniwa przed skutkami nierównomiernego ich naładowywania, jak również ich przeładowaniem oraz przegrzaniem. Schemat elektryczny najprostszego BMS przedstawiono na rysunku 3.14.

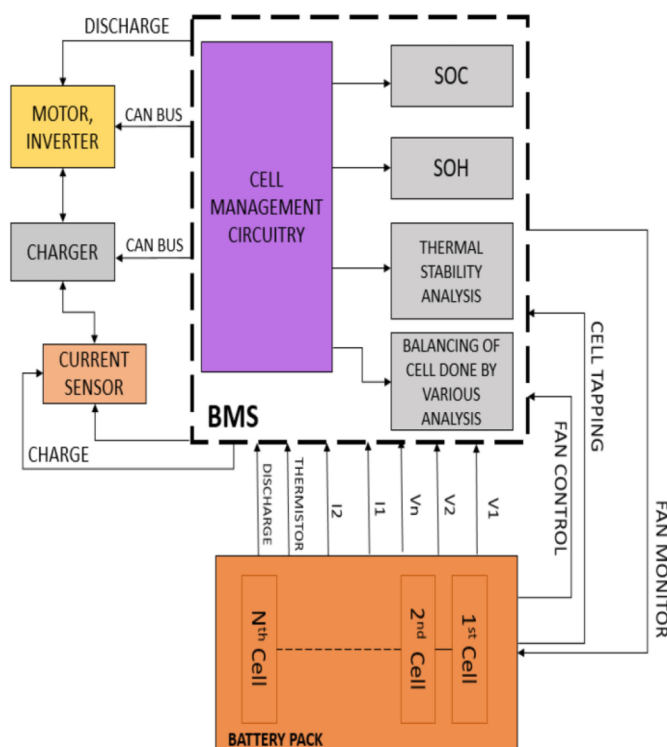


Rys. 3.14. Schemat elektryczny przykładowego BMS [130]

System zarządzania układem akumulatorów w samochodzie pełni wiele praktycznych funkcji, do których należą:

- ochrona akumulatora przed uszkodzeniem,
- wydłużenia żywotności ogniw w baterii,
- utrzymania pożądanego stanu naładowania baterii,
- współpraca z oprogramowaniem pokładowym.

Aktualne parametry pracy baterii z BMS są przesyłane do silnika za pośrednictwem magistrali CAN. Prosty schemat funkcjonalny systemu BMS i transmisji sygnałów w nim występujących przedstawiono na rysunku 3.15.



Rys. 3.15. System Zarządzania Baterią w pojeździe elektrycznym [74]

BMS służy do monitorowania pakietu baterii trakcyjnych. Sprawdza stan szeregu parametrów, takich jak prąd baterii, napięcie, pozostały zakres pracy baterii, stan naładowania (SoC), stan działania (SoF) określonej funkcji lub zadania oraz stan zdrowia baterii (SoH). W najnowszych rozwiązaniach BMS jest w stanie oszacować stan życia (SoL) pakietu baterii i obliczyć całkowitą oczekiwaną długość życia w normalnym środowisku pracy. Stan naładowania baterii jest teoretycznie definiowany jako stosunek dostępnej pojemności baterii do maksymalnej pojemności pakietu baterii. Sprawdza się go przy użyciu dystrybutora ładunku lub korektora, który wykorzystuje napięcie obwodu otwartego pakietu akumulatorów. SoH definiuje się jako

maksymalną pojemność pakietu baterii, która jest określona przez liczbę cykli ładowania i rozładowania pakietu. Jest to jeden z kluczowych czynników determinujących wydajność baterii i stanowi sedno szacowania jej żywotności.

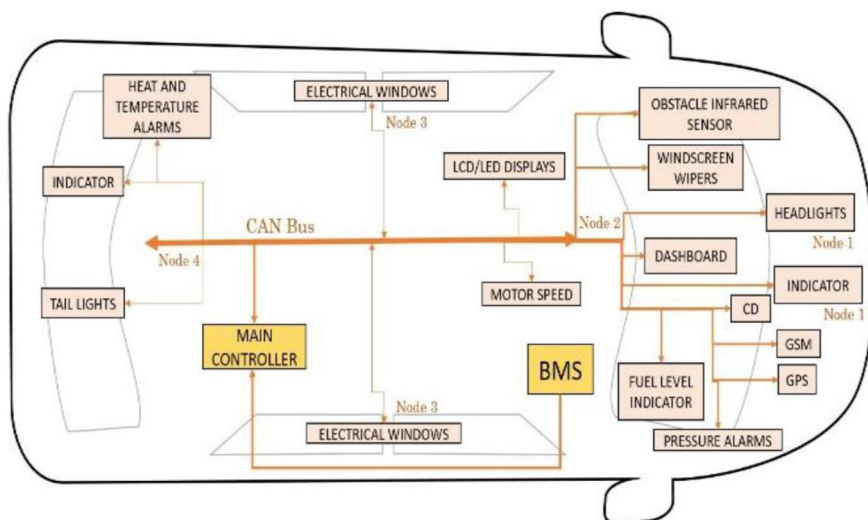
Sieć kontrolowana (CAN) jest jednym z najczęściej wykorzystywanych protokołów komunikacyjnych we współczesnym świecie. Służy do komunikacji między wieloma jednostkami sterującymi a BMS. W normalnych przypadkach komunikacja między pakietem akumulatorów a jednostkami sterującymi odbywa się za pomocą okablowania, które staje się nieporęczne i nie pozwala na łatwe dokładanie dodatkowych komponentów. Aby rozwiązać ten problem, wdrożenie komunikacji opartej na magistrali CAN jest niezbędne, ponieważ zmniejsza ilość okablowania wymaganego między jednostkami sterującymi. Wykorzystuje pojedynczą magistralę szeregową, która łączy całe okablowanie w jeden węzeł przy użyciu protokołu sieci kontrolowanej. Współczesne firmy motoryzacyjne starają się instalować w pojazdach architekturę rozproszoną, ponieważ zmniejsza to złożoność i ryzyko awarii. Architektura rozproszona umożliwia większą elastyczność i możliwość rozbudowy w porównaniu ze scentralizowaną architekturą sieciową. System sterowania CAN ma bardzo przejrzysty charakter. Natychmiastowe komunikaty, takie jak prędkość silnika czy temperatura akumulatora, nie są przekazywane do jednego konkretnego węzła, ale do całego układu jednostek sterujących.

3.5. Integracja BMS i CAN z innymi systemami

Sieć kontrolowana (CAN) jest jednym z najlepiej skonstruowanych protokołów komunikacyjnych dla systemu komunikacji poprzez magistralę szeregową. System magistrali CAN służy do łączenia wielu systemów sterowania w jedną dużą sieć. Wykorzystuje wiele węzłów głównych do kierowania różnymi węzłami podrzędnymi. Magistrala CAN oparta jest na wiadomościach i węzłach sieci, które nie wymagają określonych adresów. Węzeł, do którego mają być przesłane informacje, będzie miał adres przesyłanej wiadomości, co będzie naśladować priorytet systemu.

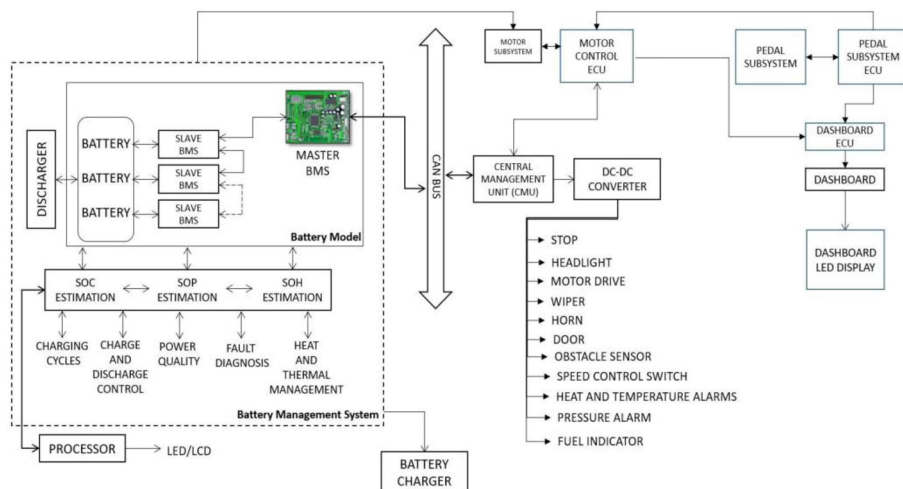
Magistrala CAN pełni podwójną rolę - jest głównym komunikatorem bezpieczeństwa i główną jednostką sterującą komunikacją dla

wszystkich elektronicznych jednostek sterujących (ECU), jak to pokazano na rysunku 3.16. Dlatego wszystkie czujniki podłączone do różnych jednostek sterujących muszą być w kontakcie z CAN. Magistrala CAN nie tylko utrzymuje kontakt z elektronicznymi jednostkami sterującymi w pojeździe, ale także z różnymi podsystemami w pojeździe, takimi jak zaawansowany układ przeciwblokujący (AABS) i system zarządzania akumulatorem (BMS). Jest to zatem system, w którym BMS integruje się z magistralą CAN.



Rys. 3.16. Systemy sterowania w pojeździe elektrycznym wykorzystujące magistralę CAN [74]

Zintegrowany układ pokazany na rysunku 3.17 to układ sterowania pracą pojazdu elektrycznego. Magistrala CAN jest pojedynczym medium komunikacyjnym magistrali szeregowych łączącym wszystkie elektroniczne jednostki sterujące w pojeździe.



Rys. 3.17. Środowisko sterowania zintegrowane z magistralą CAN BMS [74]

Jak wiemy BMS jest główną jednostką sterującą dla zestawu akumulatorów pojazdu, który dostarcza energię do silnika podczas jego pracy, a on ostatecznie wytwarza moment obrotowy i prędkość obrotową, aby koła mogły się obracać, a pojazd poruszać. Sterownik silnika ECU jest jedną z najważniejszych jednostek sterujących w pojeździe, ponieważ pomaga w kontroli prędkości pojazdu, tak aby jego sprawność i praca charakteryzowały się maksymalnymi wartościami. Prędkość silnika jest konwertowana na wartość cyfrową przez ECU deski rozdzielczej i jest wyświetlana na wyświetlaczu LED na desce rozdzielczej. Magistrala CAN jest odpowiedzialna za wszystkie informacje i polecenia przesyłane z jednego ECU do drugiego lub z jednego podsystemu do drugiego. Podsystem elektronicznego pedału przyspiesznika, jest połączony za pośrednictwem magistrali CAN z ECU sterownika silnika i ECU deski rozdzielczej w celu przekazania sygnału błędu lub błędu do wyświetlacza na desce rozdzielczej, co ostatecznie nakłoni kierowcę do zatrzymania pojazdu lub ponownego jego uruchomienia. BMS jest kluczowym komponentem niezbędnym do bezpiecznego i bezproblemowego działania pojazdu. BMS decyduje o bezpieczeństwie elementów samochodu i bezpieczeństwie człowieka w samochodzie. Informacje pochodzące z BMS są konwertowane na bity, które mogą być interpretowane przez magistralę CAN, a następnie przesyłane do podsystemu tablicy rozdzielczej i podsystemu sterowania silnikiem. Główne informacje BMS konwertowane na bity są następujące:

- stan zdrowia (1 bajt),
- stan naładowania (1 bajt),
- stabilność termiczna (2 bajty),
- temperatura (2 bajty),
- aktualne napięcie akumulatora (2 bajty),
- aktualny prąd akumulatora (2 bajty),
- pozostała moc akumulatora (2 bajty).

Praca wielu podsystemów jednocześnie powoduje nagrzewanie się wnętrza pojazdu, co może doprowadzić do zwarcia, zerwania przewodów lub pożaru, co może być niebezpieczne dla pojazdu i człowieka. W celu zminimalizowania występowania takich przypadków konieczne jest zastosowanie systemu odprowadzania ciepła. Menedżer termiczny działa jako główny czynnik chłodzący dla wewnętrznych elementów pojazdu i jest instalowany w miejscach, w których występuje przenoszenie wysokich napięć i dużych prądów. Czujnik jest podłączony do wentylatora chłodzącego lub układu chłodzącego i włącza ten układ, gdy napięcie w tym konkretnym układzie przekroczy wartość progową. Jeśli system nie schładza się nawet po uruchomieniu odpowiedniego układu, wówczas za pośrednictwem magistrali CAN do wyświetlacza na desce rozdzielczej wysyłany jest komunikat, aby nakłonić kierowcę do zatrzymania i wyłączenia pojazdu.

Pojazdy elektryczne to niewątpliwie przyszłość przemysłu motoryzacyjnego ze względu na większą sprawność energetyczną i poprawę bezpieczeństwa, przy niskiej emisji szkodliwych składników spalin. W tym rozdziale skrypty przedstawiono, w jaki sposób można połączyć magistralę CAN z BMS w celu stworzenia ogólnej struktury sterowania w czasie rzeczywistym i niezawodnej transmisji danych. Komunikacja CAN Bus jest niezbędna w komunikacji pojazdów elektrycznych ze względu na szybkość transmisji danych, niezawodność dzięki zmniejszeniu skomplikowania budowy, dokładność wykrywania błędów oraz niższe koszty sprzętowe dla technik przetwarzania wielu sygnałów. To sprawia, że idealnie nadaje się do implementacji magistrali CAN w pojeździe elektrycznym do komunikacji wewnętrznej. Korzystając z tego interfejsu, można zoptymalizować prędkość komunikacji i wykrywanie usterek / błędów, które mogą wystąpić w różnych systemach pojazdu elektrycznego. Magistrala CAN jest także skutecznie wykorzystywana do komunikacji z kierowcą. W tym rozdziale dokonano również przeglądu odpowiednich danych w celu stworzenia kompletnej koncepcji zintegrowanej technologii związanej z interfejsem CAN i BMS.



3.6. Pytania testowe

1. **Inżynier zajmujący się pojazdami elektrycznymi musi posiadać świadectwo kwalifikacyjne wydawane przez:**
 - a. CEP
 - b. SEP
 - c. MAP
2. **Napięcie w bateriach trakcyjnych elektrycznych pojazdów osobowych zazwyczaj wynosi:**
 - a. 100 – 200 V
 - b. 300 – 500 V
 - c. 600 – 800 V
3. **W celu pomiaru energii pobranej podczas ładowania pojazdu elektrycznego potrzebny jest:**
 - a. Woltomierz
 - b. Amperomierz
 - c. Licznik energii
4. **Baterie litowo-jonowe powinny być przechowywane w stanie:**
 - a. Całkowitego rozładowania
 - b. Częściowego naładowania
 - c. Pełnego naładowania
5. **BMS monitoruje w pakiecie baterii litowo-jonowych:**
 - a. Napięcie i prąd we wszystkich celach
 - b. Napięcie i temperaturę we wszystkich modułach
 - c. Napięcie i temperaturę we wszystkich celach
6. **BMS to skrót od angielskiego:**
 - a. Battery Monitoring System
 - b. Battery Management System
 - c. Battery Management Solution



7. **O niesprawności pakietu baterii litowo-jonowych system OBD informuje diagnostę poprzez:**
 - a. Zaświecenie kontrolki MIL
 - b. Wygenerowanie kodu usterki
 - c. Unieruchomienie pojazdu
8. **Diagnostyka baterii litowo-jonowych w pojeździe elektrycznym odbywa się za pomocą:**
 - a. złącza ładowania baterii
 - b. gniazda OBD
 - c. specjalnego gniazda w BMS
9. **Diagnostyka silnika trakcyjnego w pojeździe elektrycznym odbywa się za pomocą:**
 - a. złącza ładowania baterii
 - b. gniazda OBD
 - c. specjalnego gniazda w BMS
10. **Czy elektroniczna Jednostka Sterująca w pojeździe elektrycznym posiada pokładowy licznik energii pobranej do ładowania?**
 - a. tak
 - b. nie
 - c. może ale nie musi
11. **Czy położenie gniazda OBD w pojazdach elektrycznych jest inne niż w pojazdach spalinowych?**
 - a. Nie, obowiązują te same zasady montażu gniazda OBD
 - b. Tak
 - c. Gniazdo OBD w pojazdach elektrycznych jest zawsze montowane pod kierownicą
12. **Diagnostyka baterii trakcyjnych pojazdów elektrycznych może odbywać się w:**
 - a. Tylko w Autoryzowanych Stacjach Obsługi producenta pojazdu
 - b. Tylko w Autoryzowanych Stacjach Obsługi producenta baterii
 - c. Zarówno w autoryzowanych jak i nieautoryzowanych profesjonalnych warsztatach



- 13. Magistra CAN to:**
- a. Controller Area Network
 - b. Continuous Analog Network
 - c. Ciągła Administracja Numeryczna
- 14. Czy do diagnostyki i naprawy komponentów elektrycznych pojazdów elektrycznych wymagane są klucze izolowane dla elektryków?**
- a. Tak, bezwzględnie
 - b. Nie
 - c. Tak, ale nie wynika to z żadnych przepisów
- 15. Czy BMS współpracuje z tablicą wskaźników?**
- a. Tak
 - b. Nie
- 16. Jaką informację przesyła BMS do tablicy wskaźników?**
- a. SoC, stan naładowania baterii
 - b. Temperaturę baterii
 - c. Informacje o chłodzeniu baterii
- 17. Jaką informację przesyła Jednostka Sterująca Silnikiem Elektrycznym do tablicy wskaźników?**
- a. Pobór mocy przez silnik elektryczny i moc odzyskiwaną podczas hamowania odzyskowego
 - b. Zasięg pojazdu na jednym ładowaniu
 - c. Aktualny moment obrotowy silnika elektrycznego
- 18. BMS jest zintegrowany z innymi jednostkami sterującymi w pojeździe elektrycznym za pomocą?**
- a. Magistrali CAN
 - b. Sieci LAN
 - c. Bluetooth

19. Integracja pojazdów elektrycznych ma na celu?

- a. Staranny dobór komponentów pod względem parametrów mechanicznych i elektrycznych oraz skomunikowanie ich ze sobą w celu efektywnego sterowania nimi
- b. Wybór komponentów do budowy pojazdu elektrycznego
- c. Fizyczne połączenie komponentów pojazdów elektrycznych ze sobą za pomocą przewodów elektrycznych (np. silnika z bateriami)



20. Elektronika sterująca mocą ma za zadanie?

- a. Zasiląć silnik elektryczny
- b. Ładować baterie trakcyjne
- c. Komunikować się z szybką ładowarką zewnętrzną



3.7. Ćwiczenia wraz z instrukcją

3.7.1. Ćwiczenie 1

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

Badania powinny obejmować:

- Dobór pojazdu elektrycznego
 - Dobór modułu komunikacyjnego z systemem OBD i sposobu transmisji
 - Dobór oprogramowania do komunikacji z pojazdem elektrycznym
 - Wykonanie jazdy drogowej wraz z zapisem danych
 - Analiza danych za pomocą platformy internetowej lub specjalistycznego oprogramowania
-
-
-
-

3.7.2. Ćwiczenie 2

Dokonaj podłączenia interfejsu OBD ELM 327 z systemem OBD wybranego pojazdu elektrycznego w celu wyświetlenia aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego i pojazdu.

Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Przygotuj pojazd elektryczny posiadający system OBDII/EOBD
- Odnajdź gniazdo OBD w przedmiotowym pojeździe
- Dokonaj identyfikacji posiadanego interfejsu ELM 327 ze względu na rodzaj komunikacji z komputerem lub urządzeniem przenośnym (tablet, smartphone). Może to być komunikacja przewodowa (USB, RS-232) lub bezprzewodowa (wi-fi, Bluetooth)
- Dobierz odpowiedni software na komputer przenośny lub aplikację na urządzenie mobilne oraz je zainstaluj. Pamiętaj, że pojazdy elektryczne mają zazwyczaj aplikacje dedykowane konkretnym markom lub modelom pojazdów.
- Włóż interfejs ELM 327 do gniazda OBD pojazdu i ustanów komunikację z software

- Wyświetl i dokonaj porównania z dostępnymi wskaźnikami w pojeździe wybranych aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego (np. RPM)



.....

.....

.....

.....

3.7.3. Ćwiczenie 3

Dokonaj połączenia interfejsu OBD ELM 327 z systemem OBD wybranego pojazdu elektrycznego w celu wyświetlenia i skasowania zapamiętanych kodów błędów TDC.

Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Przygotuj pojazd elektryczny posiadający system OBDII/EOBD ze świecącą się kontrolką MIL
- Jeśli nie ma takiego pojazdu to dokonaj symulacji uszkodzenia poprzez odpięcie wtyczki wybranego czujnika lub urządzenia wykonawczego
- Odnajdź gniazdo OBD w przedmiotowym pojeździe
- Dokonaj identyfikacji posiadanego interfejsu ELM 327 ze względu na rodzaj komunikacji z komputerem lub urządzeniem przenośnym (tablet, smartphome). Może to być komunikacja przewodowa (USB, RS-232) lub bezprzewodowa (wi-fi, Bluetooth)
- Dobierz odpowiedni software na komputer przenośny lub aplikację na urządzenie mobilne oraz je zainstaluj. Pamiętaj, że pojazdy elektryczne mają zazwyczaj aplikacje dedykowane konkretnym markom lub modelom pojazdów.
- Włóż interfejs ELM 327 do gniazda OBD pojazdu i ustanów komunikację z software
- Wyświetl zakładkę z kodami błędów TDC. Zapisz i dokonaj identyfikacji kodu błędu. Skasuj błąd i sprawdź czy nie pojawia się od razu ponownie.
- Dokonaj diagnozy możliwego uszkodzenia na podstawie odczytanego kodu błędu DTC

.....

.....

.....

.....



3.7.4. Ćwiczenie 4

Dokonaj połączenia interfejsu PCAN-USB z silnikiem elektrycznym pojazdu elektrycznego.

Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Przygotuj pojazd elektryczny posiadający system OBDII/EOBD wykorzystujący magistralę CAN
 - Odnajdź gniazdo OBD w przedmiotowym pojeździe
 - Dokonaj podłączenia interfejsu PCAN-USB z siecią CAN systemu OBDII/EOBD
 - Dobierz odpowiedni software na komputer przenośny lub aplikację na urządzenie mobilne oraz je zainstaluj. Pamiętaj, że pojazdy elektryczne mają zazwyczaj aplikacje dedykowane konkretnym markom lub modelom pojazdów.
 - Dokonaj przeglądu wybranych parametrów dostępnych w sieci CAN
-
-
-
-

3.7.5. Ćwiczenie 5

Dokonaj monitoringu oraz diagnostyki baterii trakcyjnych w pojeździe elektrycznym z wykorzystaniem Platformy Internetowej.

Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Uzyskaj dostęp do Platformy Internetowej monitorującej wykorzystanie przykładowego pojazdu elektrycznego (osobowego lub autobusu)
 - Odnajdź parametry opisujące stan oraz stopień wykorzystania baterii trakcyjnych.
 - Sporządź wykresy w czasie wybranych parametrów opisujących stan oraz stopień wykorzystania baterii trakcyjnych.
 - Dokonaj analizy stanu baterii trakcyjnych w danym pojeździe.
-
-
-
-

1

2

3

4

5

4. Wyznaczanie parametrów elektrycznych baterii trakcyjnych pojazdów elektrycznych



4.1. 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 baterijne 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 [122]. Te ostatnie muszą posiadać chłodzone cieczą zarówno gniazda ładowania a także przewody wysokiego napięcia.

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

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 zakładów. 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.

4.2. 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.

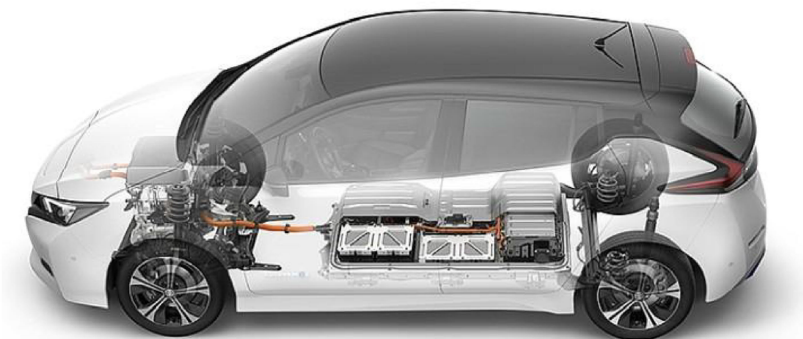
Wygląd interaktywnego stanowiska badawczego komponentów pojazdów elektrycznych przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. 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 4.2. Elektryczny silnik napędowy znajduje się w przedniej części pojazdu w miejscu montażu tradycyjnego silnika spalinowego. Na wierzchu silnika znajduje się inwerter. W środkowej części nadwozia, pod podłogą, znajduje się pakiet baterii trakcyjnych wraz z system zarządzania bateriami BMS (ang. Battery Management System). W części przedniej pojazdu, tuż nad zderzakiem znajdują się drzwiczki a pod nimi gniazda do ładowania baterii trakcyjnych.



Rys. 4.2. Elektryczny Nissan Leaf II [99]

W tej części podręcznika szczególnie zostanie przedstawiona 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 doбором komponentów do budowy pojazdów elektrycznych. Ze względu na dostępność, autor wielokrotnie używa przedmiotowego stanowiska badawczego, pojazdu Renault Twizy, Nissana Leaf i prototypowego pojazdu dostawczego Ursus Elvi do przeprowadzania praktycznych zajęć w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

4.2.1. 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 jest 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 4.3).



Rys. 4.3. 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 przyzmatycznych w technologii LiFePO₄. Akumulatory litowo-żelazowo-fosforowe (LiFePO₄ lub LFP) uchodzą za najbezpieczniejsze akumulatory z pośród akumulatorów litowo-jonowych. Bateria może być rozładowywana prądem ciągłym wynoszącym 30 A (1 C). Producent dopuszcza obciążenie prądem maksymalnym wynoszącym 60 A (2 C) przez czas 30 s oraz prądem szczytowym 100 A (3,3 C) przez czas 2 s. Gwarantowany przez producenta czas życia wynosi ~2000 cykli podczas których pojemność spadnie nie niżej niż do 80 % DoD (ang. Depth of Discharge). Moduł baterii posiada BMS. Ma on za zadanie nie dopuszczać do zbyt-niego 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 4.1 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 4.1. Porównanie wybranych parametrów modułów baterii

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

Prowadzenie dydaktyki na właściwie 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.

4.2.2. Systemy ładowania baterii trakcyjnych pojazdów

Na wyposażeniu stanowiska znajduje się system ładowania baterii litowo-jonowej Chargemaster 12/10 produkcji Mastervolt (patrz rysunek 4.4). Ładowarka zasilana jest prądem zmiennym o napięciu 230 V. Nominalne napięcie wyjściowe wynosi 12 V DC. Maksymalna moc ładowania wynosi 170 W. Za jej pomocą można ładować między innymi baterie żelowe i litowo-jonowe o pojemności 25÷100 Ah. Charakteryzuje się bardzo małą wagą wynosząco ok. 1 kg. Producent zastosował w niej innowacyjny system trójstopniowego ładowania 3-step+, dzięki któremu ładowane baterie działają lepiej i dłużej. To twierdzenie zostanie sprawdzone podczas badań laboratoryjnych.



Rys. 4.4. **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 4.5). Urządzenie prze-

znaczone 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: $\pm 2\%$. Oznacza to, że za jego pomocą można mierzyć zużycie energii podczas ładowania pojazdów elektrycznych z jednofazowego gniazdka domowego (nazywane w literaturze Schuko).



Rys. 4.5. 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 4.6). Warto zaznaczyć, że z gniazda Typ 2 można pobierać zarówno prąd przemienny jedno jak i trójfazowy.



Rys. 4.6. 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 Renault Twizy. Należy w tym celu wykonać adapter, przedstawiony na rysunku 4.7. Dzięki zabudowanemu we wtyczce Typ 2 prostemu układowi elektronicznemu, z dwoma przełącznikami, możliwe jest uzyskanie zasilania ze słupka ładowania.



Rys. 4.7. Adapter elektryczny z gniazda Typ 2 na gniazdko Schuko

Umieszczenie gniazda Typ 2 na stanowisku badawczym i wykonanie takiego adaptera ma bardzo dużą wartość dydaktyczną. Wynika to z faktu istnienia komunikacji pomiędzy ładowarką (lub słupkiem ładowania) a pojazdem. Autor zaznajamia też studentów z literaturą dotyczącą tego zagadnienia. Na przykład podczas ćwiczeń studenci musieli odnaleźć szczegóły przedmiotowej komunikacji w odpowiednich źródłach. Biblioteka uczelni zakupiła w tym celu odpowiednie normy SAE i DIN.

4.2.3. 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 4.8), działający w trybie stałego prądu ($6\text{ mA} \div 60\text{ A}$), napięcia ($3 \div 60\text{ V}$) lub rezystancji ($50\text{ m}\Omega \div 1\text{ k}\Omega$). Liczba 300 w oznaczeniu odnosi się do mocy pobieranej przez urządzenie, która wynosi $1 \div 300\text{ W}$. Moduł PEL-300 po-

siada możliwość programowania zmiennego cyklu obciążenia, które można zapisać w pamięci.



Rys. 4.8. Obciążenie elektroniczne GW Instek PEL-300

4.3. Badania baterii trakcyjnej w technologii litowo-jonowej

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

szczególnych 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).

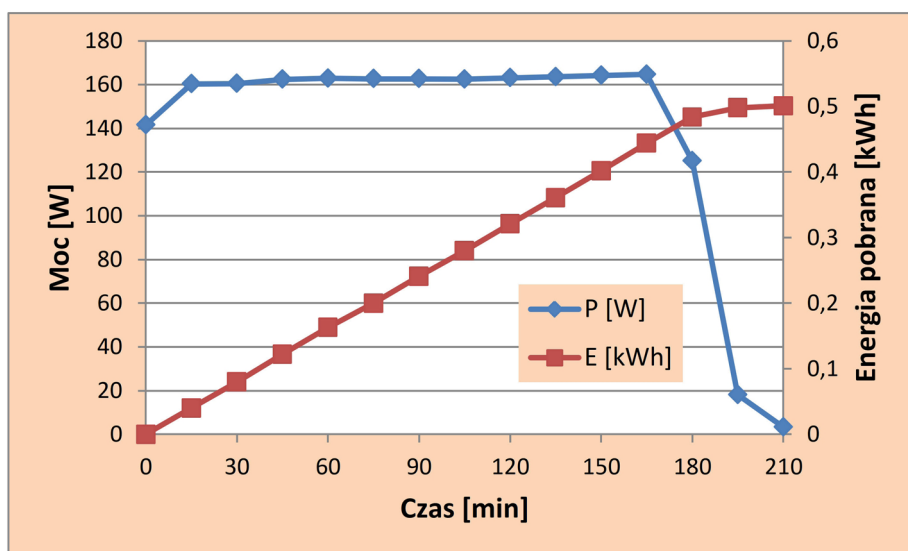
Prezentowane stanowisko badawcze bardzo często jest wykorzystywane w dydaktyce (rysunek 4.9). Przykładem jest laboratorium z Fizyki, obejmujące doświadczenia z pomiarów w obwodach prądu stałego i przemiennego. Podczas procesu ładowania baterii litowo-jonowej studenci mogą się zapoznać z teorią i praktyką 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. 4.9. Stanowisko podczas badania ładowania baterii

Do przeprowadzenia pomiarów w zakresie pełnego procesu ładowania baterii litowo-jonowej wykorzystano prezentowany wcześniej watomierz z kalkulatorem energii. Za jego pomocą dokonano pomiaru chwilowej mocy pobieranej z sieci energetycznej przez ładowarkę oraz ilości pobranej energii, co zostało przedstawione na wykresach na rysunku 4.10. Moc pobierana w początkowej fazie ładowania wynosiła 140 W, jednak szybko została zwiększona do ok. 160 W. Taki poziom pobieranej mocy utrzymywał się przez czas ok. 3 godzin. Ostatnie 30 minut procesu ładowania charakteryzowało się stopniowym obniżaniem mocy pobieranej przez ładowarkę. Cały proces ładowania trwał 3,5 godziny. Z sieci energetycznej ładowarka pobrała 0,5 kWh energii elektrycznej.

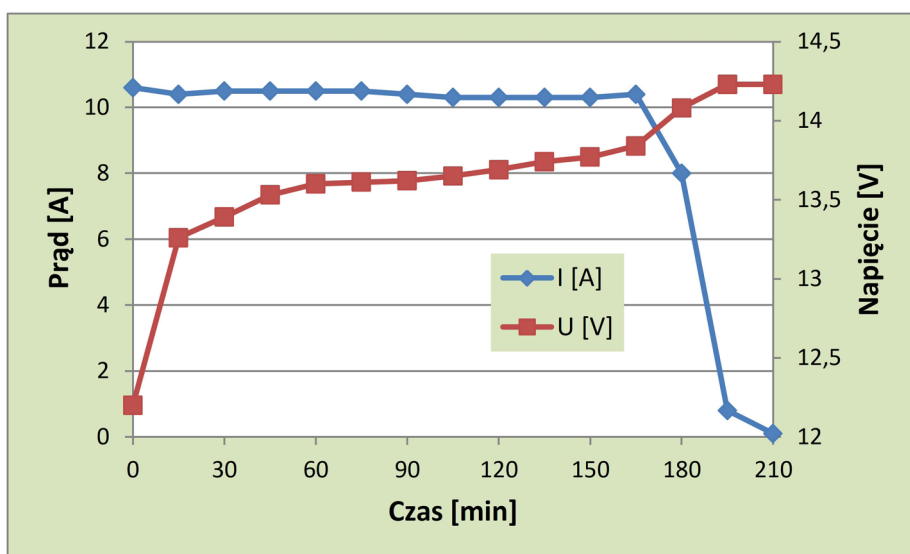
W tym miejscu warto zaznaczyć, że stanowisko badawcze zasilane jest z systemu fotowoltaicznego o mocy 1 kWp a prezentowana bateria litowo-jonowa stanowi magazyn energii.



Rys. 4.10. Przebieg mocy chwilowej i pobranej energii przez ładowarkę baterii litowo-jonowej

Przebieg mocy chwilowej i energii pobranej przez ładowarkę jest wynikiem zapisanej w niej 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 ($\pm 0,1$ A) podczas pierwszych 3 godzin ładowania. Widać to dokładnie na wykresie przedstawionym na rysunku 4.11. 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. 4.11. Przebieg prądu i napięcia ładowania baterii litowo-jonowej

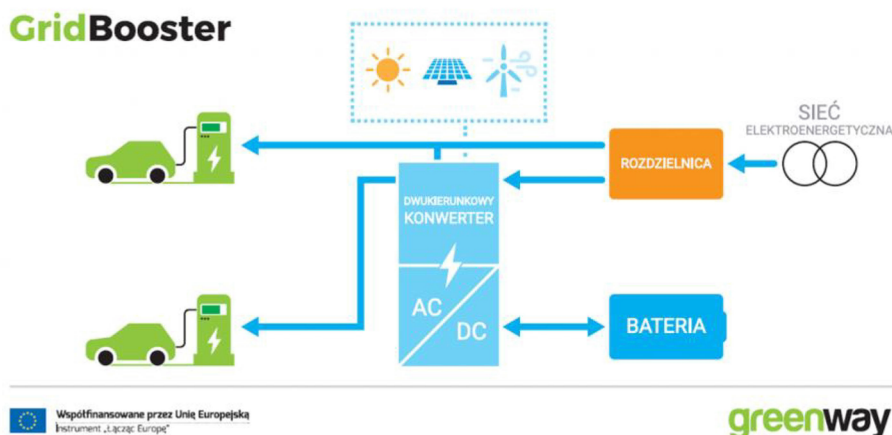
Najlepszym sposobem na zdobycie praktycznych umiejętności w zakresie pomiarów w obwodach prądu stałego i przemiennego jest wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych na prezentowanym stanowisku. Przeprowadzenie pełnego procesu ładowania baterii litowo-jonowej pomaga studentom zrozumieć strategię ładowania, występujące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

4.4. 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 [100]. Rozwiązanie stanowi część sieci Greenway, która jest także rozbudowywana w Polsce. Stanowi ona 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. 4.12. Schemat funkcjonalny zintegrowanej stacji ładowania [100]

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 w OZE wyniosła 8 563,826 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 nowej mocy, ale też aktualizacji decyzji koncepcyjnych. Pod względem mocy zainstalowanej największy udział miały elektrownie wiatrowe (68,4 proc.), na drugim miejscu były źródła biomasowe (16 proc.), a na trzecim elektrownie wodne (11,6 proc.). 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 proc., kolejno w fotowoltaice – o 8 proc., a w energetyce biomasowej już tylko o 3 proc. 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 proc., a także w Wielkiej Brytanii (28 proc.). Rekordzistami okazali się jednak Duńczycy, którzy w ubiegłym roku z tych trzech źródeł pokryli aż 74 proc. krajowego wytwarzania energii elektrycznej [101].

4.5. Badania procesu ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego

4.5.1. 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 [102]. Szczególnym powodzeniem cieszy się w krajach śródziemnomorskich (Hiszpania, Włochy) ze względu na pół otwartą kabinę pojazdu. Należy podkreślić, że otwierane do góry drzwi stanowią dodatkową opcję przy zakupie pojazdu. Podstawowy model sprzedaży tego pojazdu obejmuje zakup auta bez baterii trakcyjnych, które podlegają dzierżawie na określony okres czasu. Od roku 2018 zarówno w Polsce jak i innych krajach europejskich można zakupić 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 4.13), a w wielu miastach europejskich, w tym także w Lublinie, jest zwolniony z opłaty w strefach płatnego parkowania jako pojazd ekologiczny.



Rys. 4.13. Pojazd elektryczny Renault Twizy

Podstawowe dane techniczne pojazd Renault Twizy, mające wpływ na użytkowanie pojazdu, jak i przeprowadzenie badań, przedstawiono w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Dane Renault Twizy [102]

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

4.5.2. 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. Konstrukcja została 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 4.14.

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. 4.14. 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 4.15). Dodatkowo na konstrukcji nośnej carportu zainstalowano 3 gniazda 230 V w celu zasilania odbiorników zewnętrznych, w tym pojazdu elektrycznego.



Rys. 4.15. Układ elektryczny minicarportu

4.5.3. 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 4.16).



Rys. 4.16. 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.

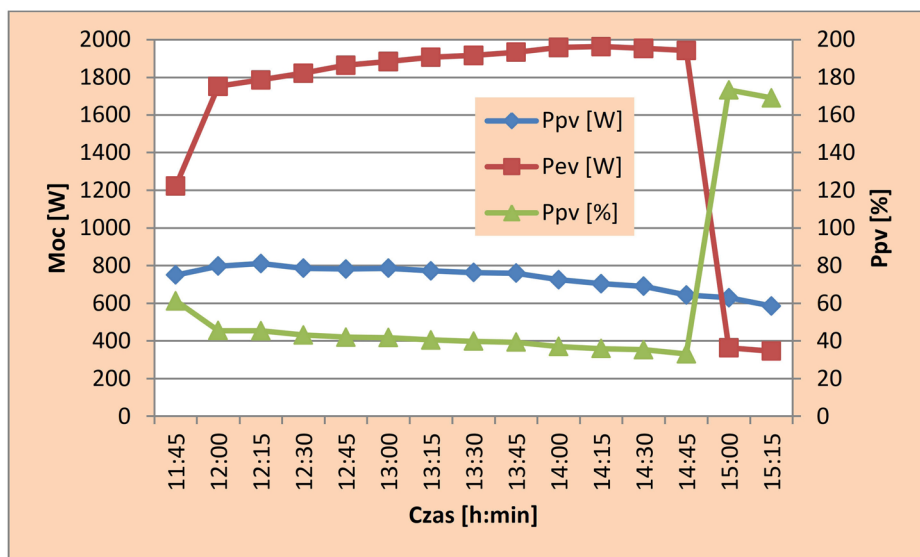
Pomiaru chwilowej mocy pobieranej przez pojazd dokonano za pomocą powszechnie dostępnego Watomierza z kalkulatorem energii, który jest w stanie mierzyć i wskazywać jeszcze wiele innych parametrów elektrycznych, zarówno sieci jak i podłączonych odbiorników. Do pomiarów wartości elektrycznych systemu fotowoltaicznego, 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 4.17. Proces ładowania 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 i 15:15. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny generował chwilową moc wynoszącą od 600 do 800 W (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.

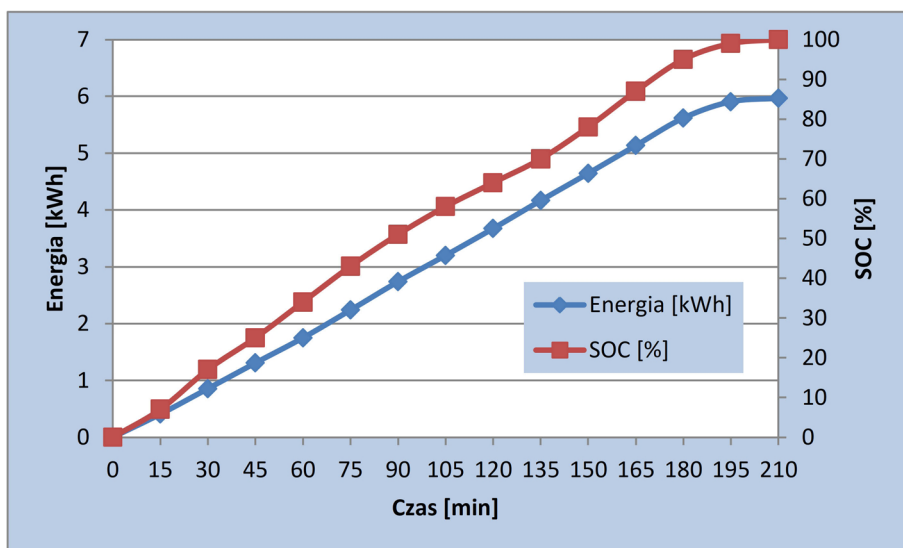
Jednak w wielu pojazdach, także w Renault Twizy, możliwe jest zaawansowane ustawienie maksymalnej mocy pobieranej przez ładowarkę pojazdu.

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. 4.17. 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 4.18). 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 %. W celu pełnego naładowania baterii zostało pobrane ok. 6 kWh energii elektrycznej. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny wytworzył 2,75 kWh energii elektrycznej co stanowi 46 % zapotrzebowania.



Rys. 4.18. 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). Przedstawiony w tej części skryptu minicarport o mocy 1 kWp może posłużyć do modelowania systemów generowania mocy z OZE dla szybkich ładowarek DC.

4.6. Demonstracyjne stacje ładowania pojazdów elektrycznych

4.6.1. 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]. Wcześniejsze 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. 4.19. Carport fotowoltaiczny w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym

4.6.2. 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 Technicznego, 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 (Dz.U. 2018 poz. 317) “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:
 - a. podłączenie i ładowanie pojazdu elektrycznego i pojazdu hybrydowego,
 - b. 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 [123].

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 może być dokonywana za pomocą karty zbliżeniowej typu Mifare (karta mieszkańca/ pracownika, karta miejska).

Stacja ładowania ecoMOTO jest urządzeniem wolnostojącym 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, administrowanie oraz serwi-

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



Rys. 4.20. Wygląd ładowarki EcoMOTO [123]

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 4.21).



Rys. 4.21. Ładowanie pojazdu Renault Zoe ze stacji EcoMOTO

Warto podkreślić, że stacja EcoMOTO jest zasilana z pobliskiej farmy fotowoltaicznej, co przedstawia grafika przedstawiona na rysunku 4.22.



Rys. 4.22. Stacja ładowania EcoMOTO podłączona do systemu fotowoltaicznego

4.7. 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 Type 2 i jednym Schuko 230 V
 - b. szybką ładowarkę prądem stałym DC z końcówkami CCS i Chademo
 - c. Wallbox ze złączem Type 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 moduł baterii litowo-jonowych służy:**
 - a. miernik napięcia
 - b. watomierz z kalkulatorem energii
 - c. multimetr cęgowy z możliwością pomiaru prądu

4.8. Ćwiczenia wraz z instrukcją



4.8.1. 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
-
-

4.8.2. 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
-
-

4.8.3. 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
-
-

4.8.4. Ćwiczenie 4

Dokonaj 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
-
-

4.8.5. 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
-
-

1

2

3

4

5

5. Badania i pomiary energii hamowania pojazdu



5.1. Idea odzysku energii hamownia przez pojazdy elektryczne

W tradycyjnym samochodzie z silnikiem spalinowym, pozbawionym systemu odzyskiwania energii hamowania, energia kinetyczna zamieniana jest w hamulcach ciernych w procesie hamowania na ciepło i przekazywana do otoczenia. Proces hamowania jest zatem niczym innym jak tylko bezpowrotnym marnowaniem energii zużytej na rozpędzenie pojazdu.

W samochodach z napędem elektrycznym proces ten wygląda zupełnie inaczej. Silnik elektryczny podczas hamowania, zaczyna pracować jak prądnica odzyskując część energii wykorzystanej uprzednio do rozpędzenia pojazdu. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania, oprócz oczywiście poprawienia bilansu energetycznego, jest ograniczenie zużycia hamulca ciernego, a co za tym idzie redukcja pyłów dostających się do atmosfery. Zjawisko odzyskiwania energii elektrycznej w procesie hamowania określa się często mianem rekuperacji. Działa ona w nowoczesnych pojazdach elektrycznych bardzo efektywnie.

Systemy odzysku energii występują zarówno w pojazdach elektrycznych, jak i hybrydowych. Według badań przeprowadzonych przez naukowców z Politechniki Krakowskiej, już w pojeździe o napędzie hybrydowym istnieje możliwość wygenerowania 375 Wh energii podczas 40-minutowego cyklu jezdnego w warunkach drogowych [129].

Systemy rekuperacji są nieustannie dopracowywane przez producentów aut elektrycznych. We współczesnych pojazdach odzysk energii działa na tyle sprawnie, że jest w stanie nie tyle zredukować prędkość, co wręcz zatrzymać auto. Warto zauważyć, że hamowanie odzyskowe odbywa się w sposób całkowicie zautomatyzowany, w niektórych pojazdach wystarczy zdjąć nogę z pedału przyspieszenia, w innych wymagane jest naciśnięcie hamulca nożnego. W obu jednak przypadkach silnik zaczyna automatycznie pracować w funkcji prądnicy, a tradycyjny układ hamulcowy jest wykorzystywany jako uzupełnienie procesu hamowania. Tym samym wydłuża się okres eksploatacji elementów ciernych w postaci tarcz i klocków hamulcowych, ograniczone jest zanieczyszczenie środowiska oraz - co jest najłatwiej zauważalne przez kierującego - rośnie zasięg pojazdu.

5.2. Budowa miejskiego autobusu elektryczno-wodorowego

W XXI wieku dostępnych jest wiele komponentów do zbudowania układu napędowego autobusu elektryczno-wodorowego. 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 [59].

5.2.1. Silnik elektryczny i oś napędowa

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 wzbudzone 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.

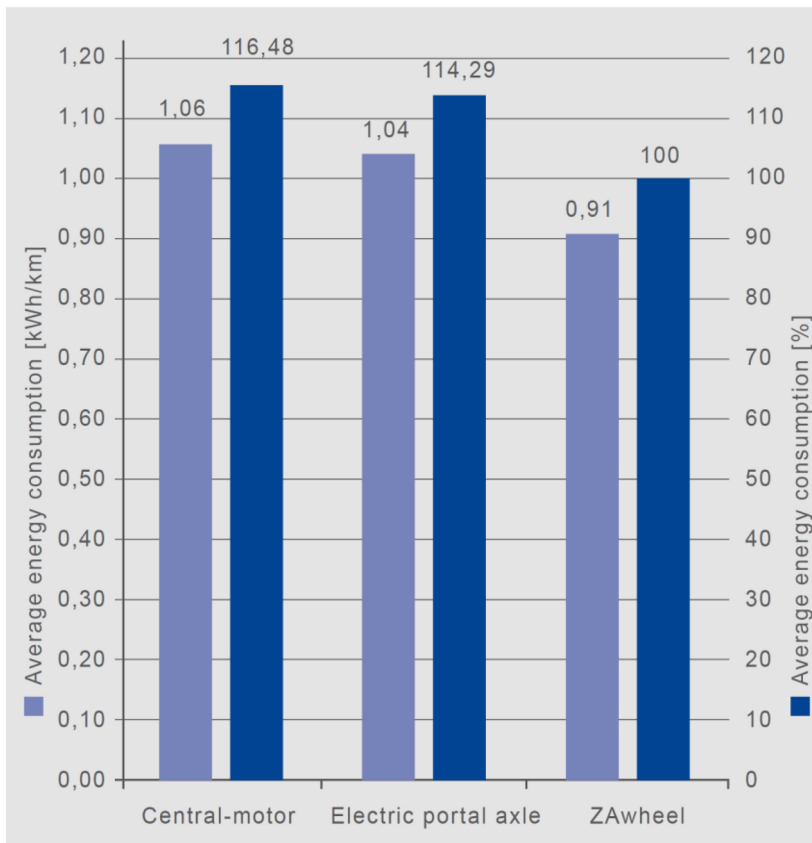
Producent autobusu porównał trzy koncepcje napędu, z silnikiem centralnym, elektryczną osią portalową i napędem w piaście koła, stosowane w 12-metrowym autobusie elektrycznym z dziennym przebiegiem 200 km przez 340 dni w roku. Wyniki porównania przedstawiono na rysunku 5.1. Autobus został wyposażony 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. 5.1. Porównanie średniego zużycia energii elektrycznej przez różne rodzaje napędów [127]

5.2.2. Baterie trakcyjne

Kolejnym kluczowym komponentem elektrycznego autobusu są baterie trakcyjne. Najbardziej ich rozpowszechnioną technologią, wykorzystywaną w motoryzacji, są baterie litowo-jonowe dostępne w wielu odmianach [61]. Zdaniem autorów do zbudowania taniego, ale bardzo niezawodnego systemu gromadzenia energii o dużej pojemności powinny posłużyć baterie litowo-jonowe typu NMC (lithium nickel manganese cobalt oxide battery - LiNiMnCoO_2 lub NMC). Zastąpiły one powszechnie stosowane wcześniej ogniwa LiFePO_4 Litowo - żelazowo – fosforanowe ze względu na dłuższy czas życia i możliwość większej ilości cykli ładowania i rozładowania. Coraz częściej do budowy autobusów elektrycznych wykorzystywane są baterie litowo-tytanowe (LTO) [68]. Cechują się one przyjmowaniem bardzo dużych prądów podczas procesu ładowania, co znacząco skraca czas ładowania. Jednak są dużo cięższe niż NMC. Do krótkoterminowego gromadzenia energii elektrycznej odzyskiwanej podczas hamowania służą superkondensatory [66]. W porównaniu do najnowocześniejszych akumulatorów superkondensatory ładują się i uwalniają energię znacznie szybciej. Ponadto mogą wytrzymać znacznie więcej cykli ładowania i rozładowania bez utraty pojemności. Jednak ze względu na ich wysoką cenę oraz ograniczone zastosowanie nie znalazły one szerokiego zastosowania. Więcej informacji o budowie najnowszych superkondensatorów i ich zastosowaniu do gromadzenia energii w układach hybrydowych można znaleźć w materiale opublikowanym w Internecie [133].

Przy bateriach 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 zapewnia 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 ilości elektrycznych autobusów [70].

5.2.3. Wodorowe ogniwa paliwowe

Wodorowe ogniwa paliwowe są urządzeniami elektro-chemicznymi, których zadaniem jest wytwarzanie energii elektrycznej z wodoru i tlenu pochodzącego z powietrza. Strona anodowa ogniwa paliwowego jest zasilana czystym wodorem, zaś strona katodowa powietrzem. Pomędzy elektrodami znajdują się membrany zdolne do przewodzenia protonów. Pojedyncze ogniwa łączy się w stosy, aby uzyskać odpowiednie napięcie i moc elektryczną.

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 [50]. 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 [71]. Większa tolerancja CO przez systemy wysokotemperaturowe, przekłada się na możliwość użycia do ich zasilania wodoru pochodzącego z reformingu paliw węglowodorowych [72].

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

5.2.4. Sposób 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

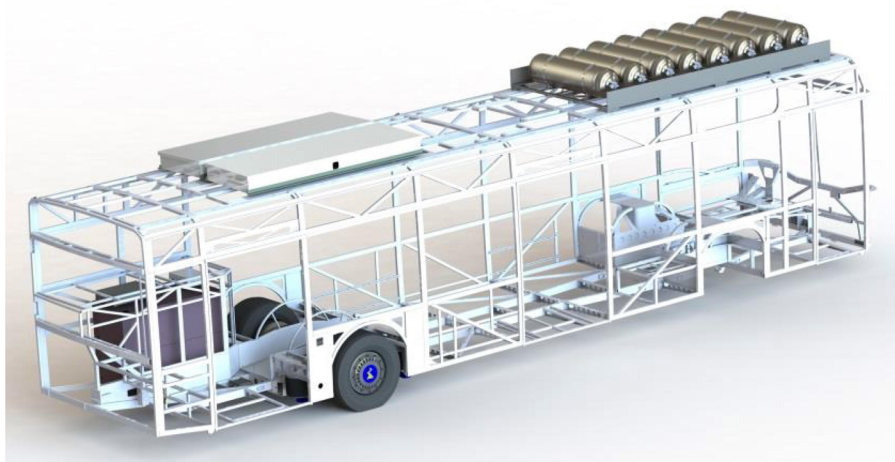
bardzo kosztowny ze względu na konieczność utrzymywania bardzo niskich temperatur na poziomie produkcji, dystrybucji oraz przewożenia wodoru. Istnieją również zbiorniki hybrydowe z kriogenicznym i dodatkowo sprężonym wodorem (ang. cryo-compressed tanks) [55]. Wodór może być także gromadzony w postaci 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 nano rurki węglowe [60]. Do gromadzenia wodoru na pokładzie pojazdów służą jednak najczęściej metalowe lub kompozytowe zbiorniki wysokociśnieniowe. Te drugie prawie całkowicie wyparty 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. Kilku producentów europejskich i światowych produkuje zbiorniki posiadające homologacje na poziomie międzynarodowym.

5.3. Obiekt badań

Praktycznym przykładem projektowania osiązków 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 na pokładzie w formie sprężonej pod ciśnieniem 35 MPa (350 bar), 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 dwa moduły wodorowych ogniw paliwowych, umieszczone w tylnej części autobusu, co widać na rysunku 5.2. Są to dwa stosy o mocy 30 kW. Więcej na temat budowy, zasady działania i charakterystyki pracy wodorowych ogniw paliwowych można znaleźć w monografii autora [75].



Rys. 5.2. Rozkład komponentów w autobusie Ursus hydrogen demo bus [33]

Autobus elektryczny z wodorowym range extenderem posiada wiele zalet:

- 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 pozytywne wszystkie badania i uzyskał homologację w kategorii M3.

5.4. Metodologia badań i narzędzia badawcze

Istnieje wiele testów, które służą do badania i porównywania parametrów pojazdów z napędem elektrycznym. Są to zarówno laboratoryjne testy jezdne, odbywające się na hamowniach podwoziowych, jak i testy w rzeczywistych warunkach drogowych.

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 ona 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 będą przechodzić testy RDE od września 2019 roku.

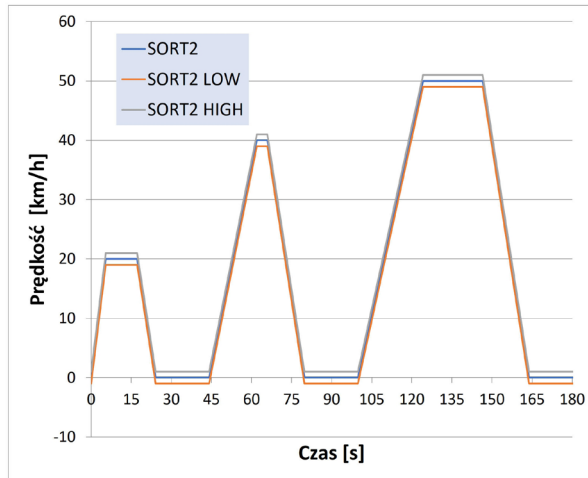
Przejdźmy teraz do badań zasięgu pojazdów elektrycznych w warunkach drogowych. Posłużymy się badaniami powszechnie stosowanymi dla autobusów miejskich, w tym w ostatnim czasie dla autobusów z napędem elektrycznym.

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.

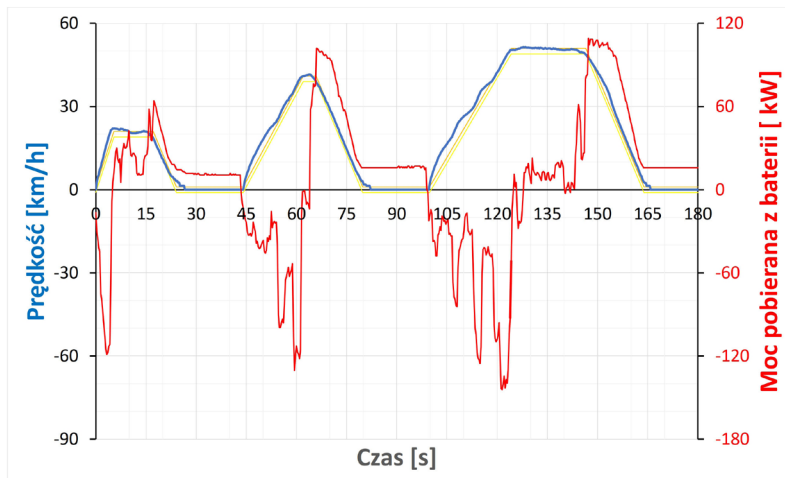
Ale co oznacza skrót SORT? SORT (ang. Standardised On-Road Test) to procedura pozwalająca na obliczenie zużycia paliwa i energii w ruchu miejskim. Zasady realizacji testów zostały opracowane przez Światowe Stowarzyszenie Transportu Publicznego (UITP). Okazały się na tyle przydatne i pożyteczne, że są 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 5.3 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. 5.3. Przebieg prędkości jazdy w teście SORT

Parametry z jazdy testowej autobusu elektrycznego podczas testu SORT przedstawiono na rysunku 5.4.

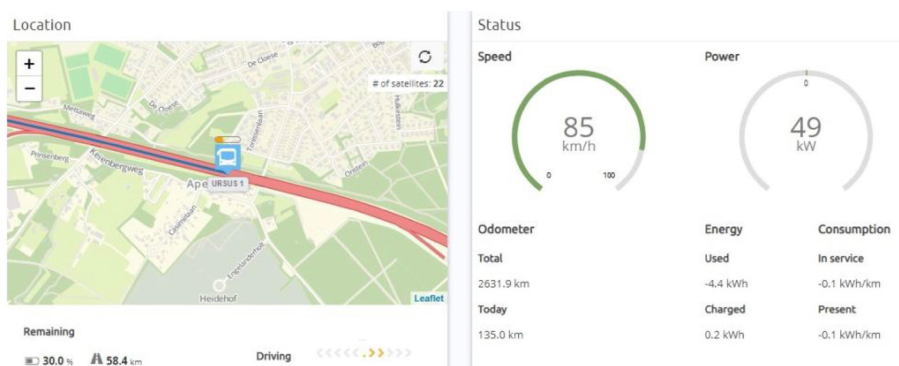


Rys. 5.4. Parametry z jazdy testowej autobusu elektrycznego podczas testu SORT

Na rysunku 5.4 linią żółtą oznaczono prędkość zadaną, niebieską oznaczono 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 zmniejszania 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.

5.5. Pomiar energii hamowania w warunkach jazdy drogowej

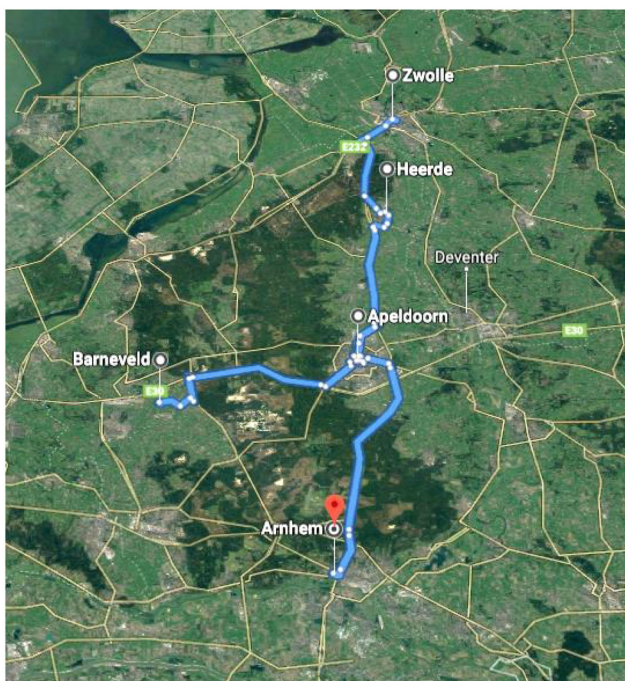
Efektywna optymalizacja konstrukcyjna w zakresie doboru komponentów, oraz kosztowa w zakresie kosztów budowy i eksploatacji autobusów elektryczno-wodorowych, nie może być oparta jedynie na analizie literaturowej [49]. Wszystkie zagadnienia poddane analizie teoretycznej powinny być poddane walidacji w warunkach rzeczywistych [52]. Aby to było możliwe autobus musi posiadać funkcje mobilnego laboratorium, zdolnego dokonywać zaawansowanych 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 5.5.



Rys. 5.5. Okno Platformy Internetowej do monitoringu autobusu wodorowego [128]

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.

Aplikacja ViriCiti [128] wykorzystując interaktywną mapę, wskazuje aktualne położenie pojazdu. Umożliwia także obserwację poruszającego się autobusu w czasie rzeczywistym oraz graficznie przedstawia poziom naładowania baterii trakcyjnych pojazdu. Pojazd najczęściej pokonuje trasę międzymiastową. Na jego drodze znajdują się miasta: Apeldoorn, Epe, Heerde, Zwolle, Heerde, Epe, Apeldoorn, Barneveld, Apeldoorn, Arnhem, Apeldoorn. Pokonywane odcinki to drogi miejskie, ekspresowe oraz autostrada (rysunek 5.6).



Rys. 5.6. Jedna z tras przejazdu autobusu elektryczno-wodorowego

Interfejs aplikacji ViriCiti umożliwia uzyskanie szeregu tematycznie pogrupowanych informacji. W pierwszej grupie zawarte zostały podstawowe informacje o pojazdach znajdujących się obecnie na trasie oraz o ich aktualnym położeniu. Druga grupa informacji pozwala na wygenerowanie przez system raportu o stanie parametrów

jezdnych monitorowanego pojazdu w okresach dziennych, tygodniowych, miesięcznych, kwartalnych oraz rocznych. Kolejna grupa umożliwia pobranie zbiorczych parametrów autobusów i zapisanie ich w arkuszu kalkulacyjnym do dalszej analizy.

W trakcie monitorowania jazdy autobusu rejestrowane są kluczowe wskaźniki wydajności służące do analizowania i raportowania wydajności pojazdu. Przedstawia je poniższe zestawienie:

1. Wskaźniki wydajności

- Średnia prędkość, która jest średnią prędkością jazdy w wybranym okresie czasu
- Wynik netto CO₂ określający ilość CO₂, która została zaoszczędzona podczas jazdy autobusem elektrycznym
- Cykle ładowania, które są liczbą pełnych cykli ładowania (naładowania do SoC = 100%) pojazdu w wybranym okresie (ang. State of Charge, Stopień Naładowania Baterii)
- Zużycie energii podczas jazdy, które jest średnim zużyciem energii podczas jazdy (prędkość > 0) w wybranym okresie czasu
- Zużycie w eksploatacji, które jest średnim zużyciem energii w eksploatacji w wybranym okresie czasu
- Całkowite zużycie, które określa średnie zużycie energii zarówno w trakcie jazdy, jak i poza eksploatacją w wybranym okresie czasu
- Dystans - Delta określający całkowitą odległość przebytą w wybranym przedziale czasu
- Dystans - Wartość końcowa, który jest wartością końcową całkowitej odległości przebytej od momentu rozpoczęcia jazdy przez pojazd
- Wynik netto NO_x będący ilością NO_x, która została zaoszczędzona podczas jazdy pojazdem elektrycznym
- Ilość sesji szybkiego ładowania, która jest ilością rozpoczętych sesji szybkiego ładowania w wybranym przedziale czasu
- Ilość sesji wolnego ładowania, która jest ilością rozpoczętych sesji wolnego ładowania w wybranym okresie czasu
- Ilość cząsteczek = Ilość cząstek stałych, które zostały zaoszczędzone dzięki wykorzystaniu napędu elektrycznego
- Szybkość regeneracji, która określa procent zużytej energii odzyskanej podczas jazdy regeneracyjnej

2. Czas

- Czas ładowania będący całkowitym czasem spędzonym przez pojazd na ładowaniu baterii
- Czas jazdy będący całkowitym czasem spędzonym przez pojazd na realizowaniu przejazdu ($\text{prędkość} > 0$)
- Czas prowadzenia pojazdu będący całkowitym czasem, gdy pojazd realizował jazdę ($\text{prędkość} > 0$) minus czas spędzony na odzyskiwaniu energii
- Czas szybkiego ładowania będący całkowitym czasem, gdy pojazd realizował szybkie ładowanie baterii
- Czas na biegu jałowym określający całkowity czas, jaki pojazd spędził na biegu jałowym ($\text{prędkość} = 0$)
- Czas eksploatacji będący całkowitym czasem pracy pojazdu
- Czas nieużywany to całkowity czas, kiedy pojazd nie był używany
- Czas wolnego ładowania będący całkowitym czasem, przez jaki pojazd realizował wolne ładowanie

3. Stan naładowania baterii

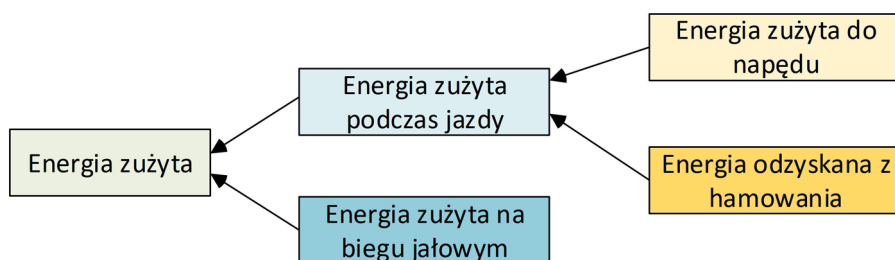
- SOC naładowany, który określa procent naładowania akumulatora
- Zastosowany SOC określający procent akumulatora zużyty podczas włączania pojazdu
- SOC wykorzystany podczas jazdy określający procent akumulatora użytego podczas jazdy ($\text{prędkość} > 0$). Odzyskana energia jest uwzględniona w tej wartości.
- SOC używane na biegu jałowym określa procent naładowania akumulatora, który został użyty, gdy pojazd był na biegu jałowym ($\text{prędkość} = 0$)
- SOC użyty podczas eksploatacji określający procent naładowania akumulatora, który został użyty, gdy pojazd był w eksploatacji
- SOC nieużywany, to procent naładowania akumulatora, który był używany, gdy pojazd nie był eksploatowany

4. Energia (w kWh)

- Naładowana energia określająca aktualną ilość energii w bateriach trakcyjnych
- Energia zużyta podczas jazdy, która jest ilością energii zużytej podczas jazdy ($\text{prędkość} > 0$). Energia odzyskana nie jest odejmowana od tej wartości.
- Energia zużyta do napędu pojazdu, która jest ilością energii zużytej podczas jazdy ($\text{prędkość} > 0$), minus energia odzyskana.

- Napęd energetyczny, który jest energią zużytą na jazdę - jazda z odzyskiem energii
- Energia uzyskana podczas szybkiego ładowania, która jest ilością energii uzyskanej podczas szybkiego ładowania $>43\text{kW}$
- Energia uzyskana podczas wolnego ładowania, która jest ilością energii uzyskanej podczas wolnego ładowania $<43\text{ kW}$
- Energia na biegu jałowym, która jest ilością energii zużytej na biegu jałowym (prędkość = 0)
- Jazda z regeneracją energii, która jest ilością energii odzyskanej podczas jazdy regeneracyjnej (prędkość > 0)
- Zużycie energii, które jest sumą ilości energii zużytej podczas włączania pojazdu
- Energia zużywana podczas eksploatacji, która jest ilością energii zużytej podczas eksploatacji pojazdu
- Energia zużywana poza czasem eksploatacji, która jest ilością energii zużytej, gdy pojazd nie był używany

Wybrane wskaźniki dotyczące energii zostały przedstawione na rysunku 5.7. Warto zauważyć, że energia odzyskana z hamowania stanowi ważny składnik bilansu energetycznego.



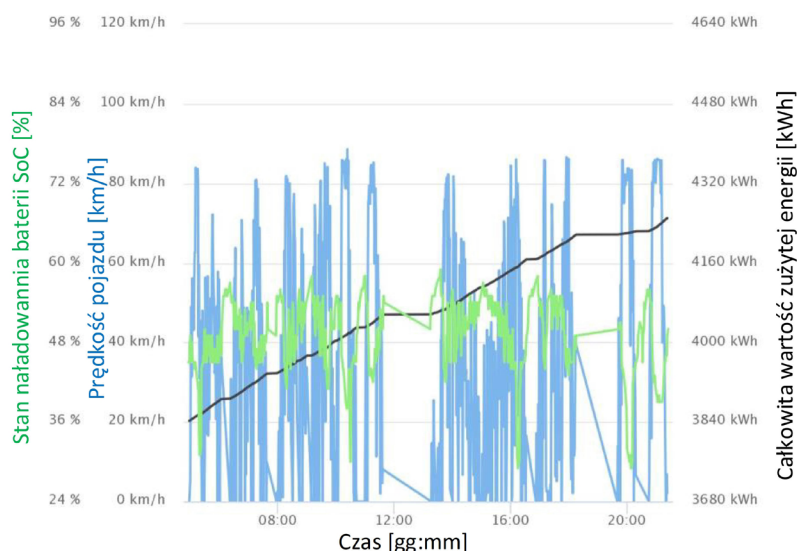
Rys. 5.7. Energia w pojeździe

Autobus uważa się za aktywny w czasie jazdy lub gdy pojazd jest na biegu jałowym przez mniej niż 10 minut. Gdy pojazd pracuje na biegu jałowym przez ponad 10 minut, status pojazdu jest rejestrowany jako nieczynny.

Przykładowy wykres wybranych parametrów z całodzienniej jazdy przedstawiono na rysunku 5.8. Z przedstawionych danych wynika, że pojazd porusza się z prędkością do 85 km/h. Stopień naładowania

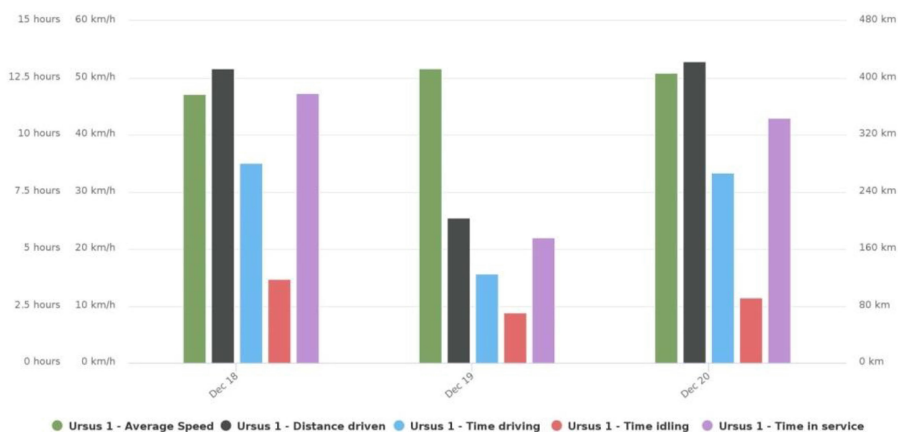
baterii oscyluje od 30 do 60%. Jest to wynikiem strategii ładowania baterii litowo-jonowych mającym na celu minimalizowanie utraty ich pojemności energetycznej w dłuższym okresie czasu. Jazda została wykonana w dniu 5 października 2019 roku. W tym dniu pojazd był eksploatowany ponad 10 godzin, podczas których podczas jazdy spędził 9 godzin i 12 minut. W tym czasie przejechał 448,56 km ze średnią prędkością 48,7 km/h. Zużył w tym czasie 407,57 kWh energii a z hamowania regeneracyjnego odzyskał 20,32 kWh. Średnie zużycie energii wyniosło 0,91 kWh/km. W ten sposób zweryfikowano doświadczalnie po raz kolejny dane producenta przedstawione na rysunku 5.1.

Na podstawie danych uzyskanych z platformy internetowej bardzo łatwo jest obliczyć zwiększenie zasięgu pojazdu w wyniku odzyskiwania energii hamowania. Podczas jazdy opisanej szczegółowo powyżej, energia z hamowania regeneracyjnego wynosząca 20,32 kWh stanowi prawie 5% energii zużytej przez pojazd do pokonania trasy, który wyniosła 407,57 kWh. Jednak przyglądając się profilowi prędkości (kolor niebieski na rysunku 5.8) można zauważyć, że jazda autobusem elektryczno-wodorowym odbywała się zarówno w warunkach miejskich, jak i pomiędzy miastami. Zwiększeniu udziału jazdy miejskiej w całym cyklu, towarzyszy również zwiększenie ilości energii odzyskiwanej podczas częstszego hamowania.



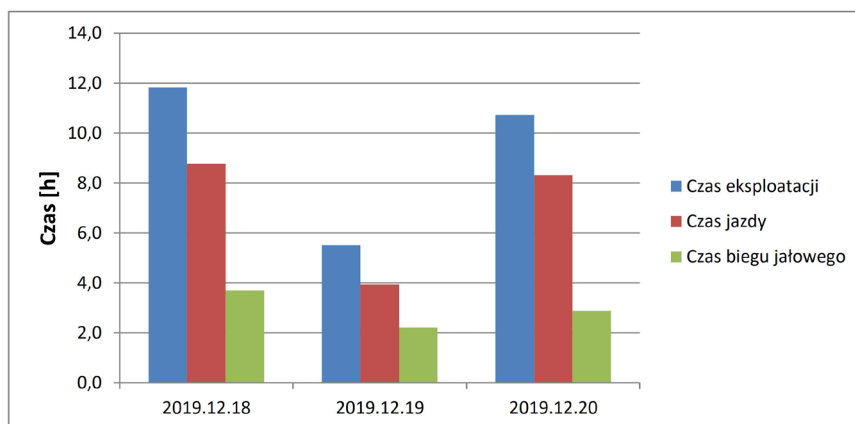
Rys. 5.8. Wybrane parametry z jazdy autobusu elektryczno-wodorowego

Na podstawie zarejestrowanych parametrów możliwe jest tworzenie raportów w określonych wcześniej przedziałach czasowych. Aplikacja automatycznie generuje wykresy na podstawie danych z pojazdu wybranych przez użytkownika. Przykład takiego automatycznie wygenerowanego przez platformę internetową wykresu przedstawiono na rysunku 5.9. W łatwy sposób można porównać średnią prędkość jazdy oraz przejechany dystans. Dla obliczenia wskaźników wykorzystania pojazdu bardzo ważne jest porównanie w poszczególnych dniach czasów eksploatacji pojazdu, w tym czasu jazdy oraz czasu pracy na biegu jałowym.



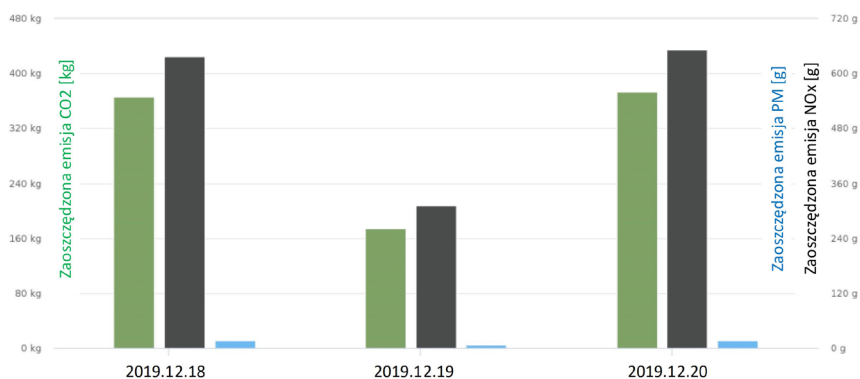
Rys. 5.9. Wybrane parametry z jazdy autobusu elektryczno-wodorowego w trzech kolejnych dniach

Jeszcze szerszą analizę danych można wykonać off-line dzięki możliwości zapisu wyników raportu w formacie csv. Można następnie z nich robić własne wykresy z dokładnym opisem osi i przedstawianych wartości, jak to przedstawiono na rysunku 5.10.



Rys. 5.10. Porównanie poszczególnych czasów eksploatacji autobusu elektryczno-wodorowego w trzech kolejnych dniach

W ostatnich latach bardzo ważne są w transporcie kwestie środowiskowe. Raporty z jazdy zawierają również wspomniane wcześniej wskaźniki związane z emisją CO₂, która została zaoszczędzona podczas jazdy autobusem elektrycznym. Raport zawiera również ekwiwalent unikniętej emisji tlenków azotu (NO_x) i cząstek stałych (PM). Oczywiście ta zasada dotyczy jedynie takiej sytuacji, gdy zarówno wodór jak i prąd elektryczny do zasilania autobusu elektryczno-wodorowego, pochodzi z odnawialnych źródeł energii [65]. Porównanie zaoszczędzonej emisji w ciągu trzech kolejnych dni jazdy autobusu, przedstawiono na rysunku 5.11.



Rys. 5.11. Porównanie zaoszczędzonej emisji przez autobus elektryczno-wodorowy w trzech kolejnych dniach

Eksploatacja autobusu wodorowego została objęta monitoringiem najważniejszych parametrów jazdy. Moduł archiwizacji danych zbiera dane ze wszystkich systemów na pokładzie autobusu i przesyła je do chmury danych. Na ich podstawie obliczane są wskaźniki wykorzystania pojazdu. Z obliczonych wskaźników można w automatyczny i bardzo łatwy sposób generować raporty z dowolnego okresu czasu.



5.6. 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. 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

4. Wodór w pojazdach przechowywany jest w zbiornikach o ciśnieniu:

- a. 100 bar
- b. 350 lub 700 bar
- c. 500 bar

5. Zaletą samochodów z napędem wodorowym w porównaniu do samochodów z silnikiem spalinowym jest:

- a. wyższa sprawność
- b. większy zasięg
- c. niższa cena

6. Strona katodowa ogniwa paliwowego zasilana jest:

- a. powietrzem
- b. wodorem
- c. parą wodną



- 7. Strona anodowa ogniwa paliwowego zasilana jest:**
 - a. wodorem
 - b. powietrzem
 - c. tlenem
- 8. Ogniwo paliwowe jest urządzeniem:**
 - a. elektro-chemicznym
 - b. mechanicznym
 - c. pneumatycznym
- 9. Ogniwa paliwowe PEM niskotemperaturowe pracują w temperaturach**
 - a. 0 – 100 °C
 - b. 100 – 200 °C
 - c. 200 – 400 °C
- 10. Ursus Hydrogen Bus zasilany jest ogniwami paliwowymi typu:**
 - a. LTPEM
 - b. HTPEM
 - c. SOFC
- 11. Ursus Hydrogen Bus posiada zbiorniki wodoru:**
 - a. sprężony wodór o ciśnieniu 350 barów
 - b. sprężony wodór o ciśnieniu 700 bar
 - 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. O ile może wydłużyć zasięg pojazdu elektrycznego energia odzyskana podczas hamowania?

- a. 5-10 %
- b. 20-30 %
- c. 40-50 %





5.7. Ćwiczenia wraz z instrukcją

5.7.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj podłączenia interfejsu OBD ELM 327 z systemem OBD wybranego pojazdu elektrycznego w celu wyświetlenia aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego oraz ilości energii odzyskiwanej podczas hamowania .

Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Przygotuj pojazd elektryczny posiadający system OBDII/EOBD
- Odnajdź gniazdo OBD w przedmiotowym pojeździe
- Dokonaj identyfikacji posiadanego interfejsu ELM 327 ze względu na rodzaj komunikacji z komputerem lub urządzeniem przenośnym (tablet, smartphone). Może to być komunikacja przewodowa (USB, RS-232) lub bezprzewodowa (wi-fi, Bluetooth)
- Dobierz odpowiedni software na komputer przenośny lub aplikację na urządzenie mobilne oraz je zainstaluj. Pamiętaj, że pojazdy elektryczne mają zazwyczaj aplikacje dedykowane konkretnym markom lub modelom pojazdów.
- Włóż interfejs ELM 327 do gniazda OBD pojazdu i ustanów komunikację z software
- Wyświetl i dokonaj porównania z dostępnymi wskaźnikami w pojeździe wybranych aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego (np. RPM)
- Wyświetl i dokonaj oceny wybranych aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego dotyczących ilości odzyskiwanej energii podczas hamowania.

.....

.....

.....

.....

.....

5.7.2. Ćwiczenie 2

Dokonaj podłączenia interfejsu OBD ELM 327 z systemem OBD wybranego pojazdu hybrydowego w celu wyświetlenia aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego oraz ilości energii odzyskiwanej podczas hamowania.



Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Przygotuj pojazd hybrydowy posiadający system OBDII/EOBD
- Odnajdź gniazdo OBD w przedmiotowym pojeździe
- Dokonaj identyfikacji posiadanego interfejsu ELM 327 ze względu na rodzaj komunikacji z komputerem lub urządzeniem przenośnym (tablet, smartphone). Może to być komunikacja przewodowa (USB, RS-232) lub bezprzewodowa (wi-fi, Bluetooth)
- Dobierz odpowiedni software na komputer przenośny lub aplikację na urządzenie mobilne oraz je zainstaluj. Pamiętaj, że pojazdy elektryczne mają zazwyczaj aplikacje dedykowane konkretnym markom lub modelom pojazdów.
- Włóż interfejs ELM 327 do gniazda OBD pojazdu i ustanów komunikację z software
- Wyświetl i dokonaj porównania z dostępnymi wskaźnikami w pojeździe wybranych aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego (np. RPM)
- Wyświetl i dokonaj oceny wybranych aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego dotyczących ilości odzyskiwanej energii podczas hamowania

.....

.....

.....

.....

.....

5.7.3. Ćwiczenie 3

Dokonaj podłączenia interfejsu PCAN-USB z silnikiem elektrycznym pojazdu elektrycznego.

Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Przygotuj pojazd elektryczny posiadający system OBDII/EOBD wykorzystujący magistralę CAN
- Odnajdź gniazdo OBD w przedmiotowym pojeździe
- Dokonaj podłączenia interfejsu PCAN-USB z siecią CAN systemu OBDII/EOBD
- Dobierz odpowiedni software na komputer przenośny lub aplikację na urządzenie mobilne oraz je zainstaluj. Pamiętaj, że pojazdy elektryczne mają zazwyczaj aplikacje dedykowane konkretnym markom lub modelom pojazdów.



- Dokonaj przeglądu wybranych parametrów dostępnych w sieci CAN.
- Wyświetl i dokonaj oceny wybranych aktualnych parametrów pracy silnika elektrycznego dotyczących ilości odzyskiwanej energii podczas hamowania

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.7.4. Ćwiczenie 4

Dokonaj analizy ilości odzyskiwanej podczas hamowania energii w pojeździe elektrycznym z wykorzystaniem Platformy Internetowej.

Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Uzyskaj dostęp do Platformy Internetowej monitorującej wykorzystanie przykładowego pojazdu elektrycznego (osobowego lub autobusu)
- Odnajdź parametry opisujące ilość energii odzyskiwanej podczas hamowania
- Sporządź wykresy w czasie wybranych parametrów opisujących ilość energii odzyskiwanej podczas hamowania dla jazdy miejskiej, poza miejskiej i autostradowej
- Dokonaj analizy ilości energii odzyskiwanej podczas hamowania dla jazdy miejskiej, poza miejskiej i autostradowej

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.7.5. Ćwiczenie 5

Dokonaj analizy ilości energii odzyskiwanej podczas hamowania w pojeździe elektrycznym na podstawie przebiegu mocy.



Ćwiczenie wykonaj w następującej kolejności:

- Przygotuj pojazd elektryczny posiadający system OBDII/EOBD
- Odnajdź gniazdo OBD w przedmiotowym pojeździe
- Dokonaj identyfikacji posiadanego interfejsu ELM 327 ze względu na rodzaj komunikacji z komputerem lub urządzeniem przenośnym (tablet, smartphone). Może to być komunikacja przewodowa (USB, RS-232) lub bezprzewodowa (wi-fi, Bluetooth)
- Dobierz odpowiedni software na komputer przenośny lub aplikację na urządzenie mobilne oraz je zainstaluj. Pamiętaj, że pojazdy elektryczne mają zazwyczaj aplikacje dedykowane konkretnym markom lub modelom pojazdów.
- Włóż interfejs ELM 327 do gniazda OBD pojazdu i ustanów komunikację z software
- Wyświetl i zapisz do chmury danych moc elektryczną wytwarzaną podczas hamowania pojazdu elektrycznego.
- Na podstawie przebiegu mocy oblicz ilość odzyskanej podczas hamowania energii.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Podsumowanie i wnioski

Prawie wszyscy producenci samochodów elektrycznych, dostosowują swoje pojazdy napędzane do tej pory w sposób tradycyjny silnikami spalinowymi, 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. 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.

Pojazdy elektryczne są coraz częściej spotykane na ulicach światowych jak i polskich miast. Wśród zalet napędu elektrycznego wymienić należy niski koszt eksploatacji, nieduże zużycie elementów maszynowy 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 do ceny gazu albo ropy. Energię elektryczną

można wytworzyć w różny sposób, nie tak jak paliwa kopalne. Energię odnawialną – 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 wysokopiętnym, 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. Według najnowszych obliczeń Całkowitych Kosztów Użytkowania pojazdy elektryczne mogą być tańsze niż ich spalinowe odpowiedniki.

Bibliografia

- [1] Małek A., Łusiak T.: Interaktywne stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 1-2/2019
- [2] Apostolaki-Iosifidou E., Codani P., Kempton W.: Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging. Energy 127 (2017)
- [3] Bosch R., Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne, WKiŁ, Warszawa 2010.
- [4] Caban J., Vrabel J., Šarkan B., Zarajczyk J., Marczuk1 A., Analysis of the market of electric tractors in agricultural production, MATEC Web of Conferences 244, 03005 (2018)
- [5] Caban J., Zarajczyk J., Małek A.: Possibilities of using electric drives in city buses, Proceeding of 23rd International Scientific Conference. Transport Means 2019. Str. 543-547. ISSN 2351-7034 (on-line).
- [6] Caban J., Zarajczyk J., Szmigielski M., Górniak B., Hybrid drive as a future in agricultural technology, Proceedings of the Institute of Vehicles 3(117)/2018
- [7] Dobrzański D.: Przegląd i charakterystyka standardów złączy szybkiego ładowania pojazdów EV. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 3/2017 (115)
- [8] Flasza J.: Elektromobilność w Polsce - wyzwania i możliwości z uwzględnieniem inteligentnych instalacji OZE. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 6/2017
- [9] Gołębiowski W.: Elastyczność wybranych silników samochodów elektrycznych. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 7-8/2017
- [10] Hall F., Touzri J., Wußler S.: Experimental investigation of the thermal and cycling behavior of a lithium titanate-based

- lithium-ion pouch cell, *Journal of Energy Storage*, Volume 17, 2018, pp. 109-117
- [11] Lejczak T. Trzciński T.: Battery pack roof version. Technical manual. BMZ, 2017
- [12] Małek A., Filipowicz I.: Ładowanie pojazdu elektrycznego z minicaroprtu fotowoltaicznego, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018”, Kazimierz Dolny, 19-21.09.2018. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 11/2018 (7 pkt. MNiSW) str. 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, str. 63-75 (10 pkt. MNiSW). doi:10.14669/AM.VOL82.ART5.
- [14] Małek A., Kowalczyk D.: Analiza procesu ładowania pojazdu elektrycznego z fotowoltaicznych ogniw słonecznych. XIII Konferencja LOGITRANS'2016, Szczyrk, 11-14.04.2016. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 6/2016 (7 pkt. MNiSW) str. 271-275. ISSN 1509-5878.
- [15] Małek A., Łusiak T.: 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) str. 93-98. ISSN 1509-5878. JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2019.014, Data zgłoszenia: 15.12.2018, Data akceptacji: 08.02.2019
- [16] Małek A., Ogrodnik M.: Metody badań autonomii pojazdów elektrycznych, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018”, Kazimierz Dolny, 19-21.09.2018. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 12/2018 (7 pkt. MNiSW) str. 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, Arkadiusz, Jacek Caban and Łukasz Wojciechowski. 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.: Empirical analysis of electric vehicle fast charging under cold temperatures, *Energy Policy*, Volume 122, November 2018, Pages 162-168
- [19] Mruzek M., Gajdáč I., Kučera L., Gajdošík T.: The Possibilities of Increasing the Electric Vehicle Range. *Procedia Engineering*, Volume 192, 2017
- [20] Nian V., Hari M.P., Yuan J.: The prospects of electric vehicles in cities without policy support. *Energy Procedia*, Volume 143, December 2017
- [21] Nitta N., Wu F., Lee J. T.: Li-ion battery materials: present and future, *Materials Today*, Volume 18, Issue 5, 2015, pp. 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.: Samochód z napędem elektrycznym a bezpieczeństwo ruchu drogowego. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 7-8/2017
- [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*, Volume 201, 10 November 2018, Pages 1043-1051

- [28] Rogge M., Wollny S., Sauer D. U., Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport – A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements, „Energies” 2015, No. 8.
- [29] Satyendra Kumar M., Revankar S. T.: Development scheme and key technology of an electric vehicle: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 70, April 2017
- [30] Szumanowski A., Pojazdy ekologiczne – przyszłość samochodów hybrydowych, Przegląd Mechaniczny 2010.
- [31] Wang L., Wang Z., Ju Q.: Characteristic Analysis of Lithium Titanate Battery, Energy Procedia, Volume 105, May 2017, Pages 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, Pages 302-310
- [33] Wielgus J., Kasperek D., Małek A., Łusiak T.: Generacje rozwojowe autobusów elektrycznych marki URSUS. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 11/2017
- [34] Yilmaz M., Krein P. T., Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles, „IEEE Transactions on Power Electronics” 2013, Vol. 28, No. 5.
- [35] Zajkowski K., Seroka K.: Przegląd możliwych sposobów ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 7-8/2017
- [36] Zarajczyk K., Małek A., Kośko M.: Założenia konstrukcyjne i funkcjonalne pojazdu użytkowego Ursus Elvi z napędem elektrycznym. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 6/2018, 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
- [37] Zawilak J., Zawilak T.: Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi o dużej sprawności, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 90 NR 1/2014

- [38] Pielecha I., Cieślík W., Borowski P., Czajka J., Bueschke W., Rozwój silników spalinowych napędów hybrydowych, *Combustion Engines* 3/2014 (158).
- [39] Schmidt T.: Pojazdy hybrydowe i elektryczne w praktyce warsztatowej. Budowa, działanie, podstawy obsługi. WKiŁ 2019
- [40] 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*, Volume 42, Issue 19, 11 May 2017, Pages 13949-13959
- [41] Zajkowski K., Seroka K.: Przegląd możliwych sposobów ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 7-8/2017
- [42] Ahluwalia R. K., Peng J. K., Roh H. S., Hua T. Q., James B. D., Supercritical cryo-compressed hydrogen storage for fuel cell electric buses. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 43, Issue 22, 31 May 2018, Pages 10215-10231
- [43] 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
- [44] 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*, Volume 44, Issue 33, 5 July 2019, Pages 18472-18482
- [45] 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*, Volume 141, 15 December 2017, Pages 537-549
- [46] 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, str. 823-829.
- [47] Jwa K., Lim O., Comparative life cycle assessment of lithium-ion battery electric bus and Diesel bus from well to wheel. *Energy Procedia*, Volume 145, July 2018, Pages 223-227

- [48] Laib F., Braun A., Rid W., Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic. A case study from Stuttgart, Germany. *Transportation Research Procedia*, Volume 37, 2019, Pages 377-384
- [49] 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*, Volume 128, May 2019, Pages 565-583
- [50] Małek A., A comprehensive analyze of LTPEM and HTPEM Fuel Cells aimed at their usage in vehicles drive. *Czasopismo Logistyka – nauka* 3/2015, pages 3048 – 3056.
- [51] Tong H. Y., Development of a driving cycle for a supercapacitor electric bus route in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, Volume 48, July 2019, Article 101588
- [52] Vepsäläinen J., Otto K., Lajunen A., Tammi K., Computationally efficient model for energy demand prediction of electric city bus in varying operating conditions. *Energy*, Volume 169, 15 February 2019, Pages 433-443
- [53] Wang L., Wang Z., Ju Q., Characteristic Analysis of Lithium Titanate Battery, *Energy Procedia*, Volume 105, May 2017, Pages 4444-4449
- [54] Doerr J., Mendl G., Straber R., The new full electric drivetrain of the Audi e-tron. AUDI AG, Ingolstadt. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019
- [55] Ahluwalia R. K., Peng J. K., Roh H. S., Hua T. Q., James B. D., Supercritical cryo-compressed hydrogen storage for fuel cell electric buses. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 43, Issue 22, 31 May 2018, Pages 10215-10231
- [56] 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
- [57] 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*, Volume 44, Issue 33, 5 July 2019, Pages 18472-18482

- [58] 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*, Volume 141, 15 December 2017, Pages 537-549
- [59] 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*, Volume 42, Issue 19, 11 May 2017, Pages 13949-13959
- [60] 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, str. 823-829.
- [61] Jwa K., Lim O., Comparative life cycle assessment of lithium-ion battery electric bus and Diesel bus from well to wheel. *Energy Procedia*, Volume 145, July 2018, Pages 223-227
- [62] Laib F., Braun A., Rid W., Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic. A case study from Stuttgart, Germany. *Transportation Research Procedia*, Volume 37, 2019, Pages 377-384
- [63] 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*, Volume 128, May 2019, Pages 565-583
- [64] Małek A., A comprehensive analyze of LTPEM and HTPEM Fuel Cells aimed at their usage in vehicles drive. *Czasopismo Logistyka – nauka* 3/2015, pages 3048 – 3056.
- [65] 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
- [66] Tong H. Y., Development of a driving cycle for a supercapacitor electric bus route in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, Volume 48, July 2019, Article 101588
- [67] Vepsäläinen J., Otto K., Lajunen A., Tammi K., Computationally efficient model for energy demand prediction of electric city bus in varying operating conditions. *Energy*, Volume 169, 15 February 2019, Pages 433-443

- [68] Wang L., Wang Z., Ju Q., Characteristic Analysis of Lithium Titanate Battery, *Energy Procedia*, Volume 105, May 2017, Pages 4444-4449
- [69] Wielgus J., Kasperek D., Małek A., Łusiak T., Developed generations of electric buses produced by Ursus. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 11/2017, pages 20 – 25
- [70] 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, Pages 399-415
- [71] Zuliani N., Radu R., Tacconi 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
- [72] Zuliani N., Tacconi R., Microcogeneration system based on HTPEM fuel cell fueled with natural gas: Performance analysis, *Applied Energy*, Volume 97, September 2012, Pages 802-808
- [73] Xu, G.; Li, W.; Xu, K.; Song, Z. An Intelligent Regenerative Braking Strategy for Electric Vehicles. *Energies* 2011, 4, 1461-1477. <https://doi.org/10.3390/en409146>
- [74] Divyashree S., Madhavan P., Ranjeev A., Battery Management System Integrated with CAN BUS Safety Control Environment for Electric Vehicle, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 9 Issue 09, 2020
- [75] Małek A., Wendeker M., Ogniwa paliwowe typu PEM teoria i praktyka. Monografia, Politechnika Lubelska, Lublin 2010. ISBN 978-83-62596-08-9.
- [76] Bernatt J., Bałkowiec M., Barański M., Gawron S., Glinka T., Polak A., Silnik asynchroniczny pierścieniowy synchronizowany magnesami trwałymi. *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe* Nr 3/2017 (115)

Czasopisma, strony internetowe:

- [77] http://samochodyelektryczne.org/4000_szybkich_ladowarek_ccs_combo_2_w_europie.htm [dostęp 2019-12-11]
- [78] <https://dexters-web.de/faq/en> [dostęp 2019-12-11]
- [79] <https://sep.com.pl/aktualnosci/szkolenie-sep-do-1kv-dla-nieelektrykow.html> [dostęp 2019-12-11]
- [80] https://www.bmz-group.com/Company/Polska/PL_index_1906.html [dostęp 2019-11-25]
- [81] <https://www.aideautomotive.com/hybrid-safe-to-service-tool-kit/> [dostęp 2019-11-25]
- [82] <https://eu.industrial.panasonic.com/products/batteries-energy-products/secondary-batteries-rechargeable-batteries/lithium-ion-batteries> [dostęp 2019-11-28]
- [83] <https://elektromobilnosc24.pl/artukul/137-baterie-trakcyjne-samochodow-elektrycznych> [dostęp 2019-12-11]
- [84] <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/> [dostęp 2020-01-15]
- [85] <https://www.teslarati.com/tesla-model-s-battery-pack-tear-down/> [dostęp 2020-01-15]
- [86] <https://www.electricclassiccars.co.uk/batteries/tesla-model-s-battery-module> [dostęp 2020-01-15]
- [87] <https://chargedevs.com/newswire/tesla-on-the-way-to-eliminating-cobalt-from-its-batteries/> [dostęp 2020-01-15]
- [88] <https://www.quora.com/How-are-the-Tesla-18650-cells-in-the-battery-pack-cooled> [dostęp 2020-01-15]
- [89] <https://qnovo.com/peek-inside-the-battery-of-a-tesla-model-s/> [dostęp 2020-01-15]
- [90] <https://www.youtube.com/watch?v=Fgs46PsTon4> [dostęp 2020-01-15]
- [91] <http://www.mynissanleaf.com/viewtopic.php?t=21399> [dostęp 2020-01-13]
- [92] <https://insideevs.com/nissan-leaf-battery-nerdgasm/> [dostęp 2020-01-12]

-
- [93] <https://www.electrive.com/2018/07/02/nissan-scrap-one-billion-dollar-battery-deal-with-gsr/> [dostęp 2020-01-11]
- [94] <http://www.leafstalk.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]
- [95] <https://ekoenergetyka.com.pl/pl/stacje-ladowania/20-kw-mobile-charger/> [dostęp 2020-01-15]
- [96] <http://portalwysokichplonow.pl/elektryczne-maszyny-rolnicze-maja-szanse-podbic-rynek/> [dostęp 2020-01-16]
- [97] <https://www.avl.com/-/electrification-solution-for-tractors> [dostęp 2020-01-16]
- [98] <https://www.mobil1.pl/aktualnosci-i-wiedza/mobil-1-dla-nowoczesnych-silnikow/pojazdow-hybrydowych.aspx> [dostęp 2020-06-08]
- [99] <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]
- [100] <http://www.elektro.info.pl/aktualnosc/id8170,gridbooster-czyli-magazyn-energii-i-ladowarka-e-pojazdow-w-jednym> [dostęp 2020-06-08]
- [101] <http://gramwzielone.pl/trendy/29908/w-2017-w-europie-wyprodukowano-po-raz-pierwszy-wiecej-energii-z-oze-niz-z-wegla> [dostęp 2020-06-08]
- [102] <https://www.renault.pl/samochody/samochody-nowe/twizy.html> [dostęp 2020-06-08]
- [103] <https://pulawska.chodzen.pl/articles/nowa-toyota-prius-oszczednosc-i-dynamika> [dostęp 2018-05-25].
- [104] <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].
- [105] <https://moto.wp.pl/cykl-atkinsona-wszystko-co-nalezy-o-nim-wiedziec-6081116745822849a> [dostęp 2019-05-29].
- [106] <https://autokult.pl/15441,cykl-atkinsona-millera-sposob-na-oszczedniejsze-silniki> [dostęp 2019-05-29].

- [107] <https://4.bp.blogspot.com/> [dostęp 2020-05-29].
- [108] https://regmedia.co.uk/2012/04/10/twizy_4.jpg [dostęp 2020-05-29].
- [109] <https://cdn.motor1.com/images/mgl/vzNnQ/s1/renault-zoe-z-e-40-battery.jpg> [dostęp 2020-05-29].
- [110] <https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef022ad3b45e3a200b-550wi> [dostęp 2020-05-29].
- [111] <https://cdn.motor1.com/images/mgl/Orr4e/s3/audi-e-tron-battery-pack.jpg> [dostęp 2020-05-29].
- [112] <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audimediatv/video/charging-and-thermal-management-of-the-audi-e-tron-animation-4282> [dostęp 2020-05-29].
- [113] <https://www.tipeurope.com/are-electric-trucks-coming-our-way-next-year> [dostęp 2020-05-29].
- [114] <https://ursusbus.com/> [dostęp 2020-05-29].
- [115] <https://www.sunchainmetal.com/upload/Admin/images/IMG-0101.jpg> [dostęp 2020-05-29].
- [116] <https://www.vehicledynamicsinternational.com/news/chassis/low-floor-chassis-developed-for-electric-buses.html> [dostęp 2020-05-29].
- [117] <https://pl.farnell.com/motor-control-permanent-magnet-sync-motor-pmsm-technology> [dostęp 2020-05-29].
- [118] <https://www.stw-technic.com/new-products/powermela/> [dostęp 2020-05-29].
- [119] <https://electrek.co/2017/10/16/tesla-new-dual-charge-port-design-model-s-model-x/> [dostęp 2020-05-29].
- [120] <https://www.nissan.ie/vehicles/new-vehicles/leaf.html> [dostęp 2020-09-29].
- [121] <http://www.setec-power.com/product/20kw-ccs-portable-charger/> [dostęp 2020-09-29].
- [122] http://samochodyelektryczne.org/greenway_zapowiada_pierwsze_ladowarki_350_kw_na_autostradzie_a1_w_2019r.htm [dostęp 2020-09-29].
- [123] <https://www.kzl.pl/oferta/stacje-ladowania-ecomoto.html> [dostęp 2020-09-29].

- [124] <https://pl.pinterest.com/pin/459015387006967468/> [dostęp 2020-09-29].
- [125] <https://www.greencarcongress.com/2015/04/20150429-mirai.html> [dostęp 2020-09-29].
- [126] <https://insideevs.com/news/326312/2016-toyota-mirai-do-not-refuel-after-2029/> [dostęp 2020-09-29].
- [127] <https://www.ziehl-abegg.com/gb/en/downloads/file/get/10917/> [dostęp 2020-09-29]
- [128] <https://accounts.viriciti.com/login> [dostęp 2020-09-29]
- [129] <https://electromobilitypoland.pl/baza-wiedzy/2018/09/18/jak-dziala-hamowanie-w-autach-elektrycznych/> [dostęp 2021-02-08]
- [130] <https://www.autobaza.pl/blog/wiki/bms-system-zarzadzania-ukladem-akumulatorow/> [dostęp 2021-02-08]
- [131] <http://silnik-elektryczny.com.pl/silniki-elektryczne/podzial-silnikow-elektrycznych/> [dostęp 2021-04-15]
- [132] <https://teslapower2020.blogspot.com/2018/03/tesla-battery-cell.html> [dostęp 2021-04-15]
- [133] <https://avtotachki.com/pl/mogut-li-superkondensatory-zamenit-batarei-v-elektromobilyah/> [dostęp 2021-04-15]
- [134] <https://komel.com.pl/> [dostęp 2021-04-15]

Spis rysunków

Rys. 0.1. Rodzaje hybrydowych układów napędowych [98].....	12
Rys. 1.1. Charakterystyka silnika typu PMSM [36].....	16
Rys. 1.2. Częściowy podział silników elektrycznych prądu przemienneego [131].....	16
Rys. 1.3. Silnik elektryczny – model 3D [3]	17
Rys. 1.4. Model wirnika silnika elektrycznego [9]	18
Rys. 1.5. Wirnik z magnesami trwałymi [9].....	19
Rys. 1.6. Struktury mocowania magnesów a) mocowane (klejone) na powierzchni wirnika, b) umieszczone tuż pod powierzchnią wirnika, c) zagłębione w wirniku, d) ułożone promieniowo [9]	19
Rys. 1.7. Silnik elektryczny indukcyjny [9]	21
Rys. 1.8. Model silnika indukcyjnego [9].....	21
Rys. 1.9. Wirnik silnika indukcyjnego	22
Rys. 1.10. Silnik elektryczny pojazdu Renault Twizy [26].....	24
Rys. 1.11. Silnik elektryczny Nissan Leaf	25
Rys. 1.12. Silnik elektryczny pojazdu Nissan Leaf II [99]	26
Rys. 1.13. Konstrukcja pojazdu Nissan Leaf w przekroju.....	26
Rys. 1.14. Silnik i zawieszenie tylne Tesli model S - model 3D [119]	27
Rys. 1.15. Silnik i zawieszenie przednie Tesli model X - wygląd rzeczywisty	28
Rys. 1.16. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wygląd zewnętrzny	29
Rys. 1.17. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – wymiary gabarytowe.....	29

Rys. 1.18. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – charakterystyka momentu obrotowego.....	31
Rys. 1.19. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D	32
Rys. 1.20. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – model 3D	32
Rys. 1.21. Projekt uchwytu mocującego dla silnika - model 3D	33
Rys. 1.22. Złożenie rzeczywiste silnik – uchwyt – blacha mocująca	33
Rys. 1.23. Silnik PMSM 4 kW firmy ABM – badania laboratoryjne.....	34
Rys. 1.24. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW	35
Rys. 1.25. Zastosowanie silników PMSM Mela 85 i 140 kW	35
Rys. 1.26. Silniki PMSM Mela 85 i 140 kW – charakterystyki momentu i sprawności [118].....	37
Rys. 1.27. Silnik PMSM Mela 85 – wymiary gabarytowe [118].....	37
Rys. 1.28. Silnik PMSM Mela 140 – wymiary gabarytowe [118].....	38
Rys. 1.29. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika	38
Rys. 1.30. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika	39
Rys. 1.31. Silnik PMSM Mela 85 – projekt mocowania silnika	39
Rys. 1.32. Komponenty dodatkowe dla układów napędowych [74]	40
Rys. 1.33. Konstrukcja stojana z rdzeniem z klejonego laminatu i rozłożonym uzwojeniem wciągającym [54].....	41
Rys. 1.34. Konstrukcja wirnika z laminowanym rdzeniem [54].....	42
Rys. 1.35. Zasada wzbudzenia maszyny asynchronicznej (schemat) [54].....	42
Rys. 1.36. Koncepcja chłodzenia elektrycznych napędów osi (APA250 lewy / AKA320 prawy) [54]	44
Rys. 1.37. Krzywe mocy i momentu obrotowego silnika APA250 [54].....	46
Rys. 1.38. Krzywe mocy i momentu obrotowego silnika AKA320 [54]	46

Tabela 1.5. Wymagania dotyczące chłodzenia / odprowadzania ciepła silników spalinowych i elektrycznych [54]	47
Rys. 1.39. Symulacje CHT napędu APA250 bez (po lewej) i z (po prawej) wewnętrznym chłodzeniem wirnika [54]	49
Rys. 2.1. Gniazdo ładowania prądem stałym i przemiennym CCS Combo	60
Rys. 2.2. Pojedyncza cela, moduł i pakiet baterii Nissana Leaf 2012 [92]	61
Rys. 2.3. Moduł baterii Nissana Leaf 2012 [92]	61
Rys. 2.4. Pojedyncze ogniwo litowo-jonowe Nissan Leaf [92]	62
Rys. 2.5. Pakiet baterii Nissana Leaf 2012 [92]	62
Rys. 2.6. Moduły baterii Nissana Leaf 2011-2018 [91]	63
Rys. 2.7. Ogniwa baterii trakcyjnej pojazdu Tesla [132]	64
Rys. 2.8. Wygląd pakietu baterii w Renault Twizy [107]	66
Rys. 2.9. Miejsce montażu pakietu baterii w Renault Twizy [108] ..	67
Rys. 2.10. Miejsce montażu pakietu baterii w Renault Zoe [109] ..	67
Rys. 2.11. Miejsce montażu pakietu baterii w BMW i3 [110]	68
Rys. 2.12.6 Wygląd pakietu baterii w Audi e-tron [111]	69
Rys. 2.13. Rzeczywisty przekrój elektrycznego Nissana Leaf	70
Rys. 2.14. Położenie baterii w Nissanie Leaf	70
Rys. 2.15. Miejsce montażu pakietu baterii w Audi e-tron [112]	71
Rys. 2.16. Przepływ energii w Audi e-tron podczas ładowania baterii [112]	72
Rys. 2.17. Chłodzenie baterii w Audi e-tron podczas jazdy [112] ..	73
Rys. 2.18. Miejsce montażu pakietu baterii w pojeździe ciężarowym [113]	74
Rys. 2.19. Miejsce montażu pakietu baterii na dachu autobusu elektryczno-wodorowego Ursus Hydrogen Demo Bus [114]	74

Rys. 2.20. Miejsce montażu pakietu baterii w luku bagażowym autobusu [115].....	75
Rys. 2.21. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [116].....	76
Rys. 2.22. Miejsce montażu pakietu baterii w ramie autobusu [116].....	76
Rys. 2.23. Moduły bateryjny 12S01P firmy BMZ [80]	77
Rys. 2.24. Przykładowy rozkład modułów bateryjnych w projektowanym pojeździe.....	78
Rys. 2.25. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ [11].....	79
Rys. 2.26. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ [11].....	79
Rys. 2.27. Pakiet bateryjny e-BUS firmy BMZ – wymiary gabarytowe [11]	80
Rys. 3.1. Podstawowe elektroniczne jednostki sterujące występujące w pojeździe elektrycznym [73]	90
Rys. 3.2. Elektronika sterująca mocą [54]	91
Rys. 3.3. Konstrukcja wewnętrzna modułu [54].....	93
Rys. 3.4. Interfejs PCAN-USB	94
Rys. 3.5. Okno programu MDGrapher.....	95
Rys. 3.6. Zasad działania software OVMS	95
Rys. 3.7. Efekt tuningu Renault Twizy	96
Rys. 3.8. Three face Bob software – okno Control.....	97
Rys. 3.9. Zależności magistrali CAN silnika elektrycznego z magistralą CAN pojazdu.....	97
Rys. 3.10. Komendy sterujące silnikiem elektrycznym podawane przez magistralę CAN.....	98
Rys. 3.11. Tryby sterowania silnikiem elektrycznym poprzez magistralę CAN	98
Rys. 3.12. Kody usterek podawane przez magistralę CAN.....	99
Rys. 3.13. Ostrzeżenia podawane przez magistralę CAN.....	99

Rys. 3.14. Schemat elektryczny przykładowego BMS [130]	100
Rys. 3.15. System Zarządzania Baterią w pojeździe elektrycznym [74].....	101
Rys. 3.16. Systemy sterowania w pojeździe elektrycznym wykorzystujące magistralę CAN [74]	103
Rys. 3.17. Środowisko sterowania zintegrowane z magistralą CAN BMS [74].....	104
Rys. 4.1. Stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych	116
Rys. 4.2. Elektryczny Nissan Leaf II [99].....	117
Rys. 4.3. Bateria litowo-jonowa MLS 12/390.....	118
Rys. 4.4. Ładowarka do baterii litowo-jonowych Chargemaster 12/10	120
Rys. 4.5. Watomierz z kalkulatorem energii	121
Rys. 4.6. Słupki ładowania z gniazdem Typ 2 i Schuko (po prawej)	122
Rys. 4.7. Adapter elektryczny z gniazda Typ 2 na gniazdko Schuko	123
Rys. 4.8. Obciążenie elektroniczne GW Instek PEL-300	124
Rys. 4.9. Stanowisko podczas badania ładowania baterii.....	125
Rys. 4.10. Przebieg mocy chwilowej i pobranej energii przez ładowarkę baterii litowo-jonowej.....	126
Rys. 4.11. Przebieg prądu i napięcia ładowania baterii litowo-jonowej	127
Rys. 4.12. Schemat funkcjonalny zintegrowanej stacji ładowania [100]	129
Rys. 4.13. Pojazd elektryczny Renault Twizy	130
Rys. 4.14. Pojazd elektryczny podczas ładowania baterii z minicarportu fotowoltaicznego	132
Rys. 4.15. Układ elektryczny minicarportu	133
Rys. 4.16. Podłączenie pojazdu elektrycznego do carportu celem ładowania baterii.....	134

Rys. 4.17. Przebieg parametrów podczas ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu	136
Rys. 4.18. Przebieg w czasie pobranej energii i stanu naładowania baterii podczas procesu ładowania	137
Rys. 4.19. Carport fotowoltaiczny w Lubelskim Parku Naukowo -Technologicznym.....	138
Rys. 4.20. Wygląd ładowarki EcoMOTO [123]	141
Rys. 4.21. Ładowanie pojazdu Renault Zoe ze stacji EcoMOTO.....	142
Rys. 4.22. Stacja ładowania EcoMOTO podłączona do systemu fotowoltaicznego.....	142
Rys. 5.1. Porównanie średniego zużycia energii elektrycznej przez różne rodzaje napędów [127]	150
Rys. 5.2. Rozkład komponentów w autobusie Ursus hydrogen demo bus [33]	154
Rys. 5.3. Przebieg prędkości jazdy w teście SORT	156
Rys. 5.4. Parametry z jazdy testowej autobusu elektrycznego podczas testu SORT	156
Rys. 5.5. Okno Platformy Internetowej do monitoringu autobusu wodorowego [128].....	157
Rys. 5.6. Jedna z tras przejazdu autobusu elektryczno-wodorowego.....	158
Rys. 5.7. Energia w pojeździe	161
Rys. 5.8. Wybrane parametry z jazdy autobusu elektryczno-wodorowego.....	162
Rys. 5.9. Wybrane parametry z jazdy autobusu elektryczno-wodorowego w trzech kolejnych dniach	163
Rys. 5.10. Porównanie poszczególnych czasów eksploatacji autobusu elektryczno-wodorowego w trzech kolejnych dniach.....	164
Rys. 5.11. Porównanie zaoszczędzonej emisji przez autobus elektryczno-wodorowy w trzech kolejnych dniach	164

Spis tabel

Tabela 1.1. Dane finalne silnika.....	30
Tabela 1.2. Dane silnika	31
Tabela 1.3. Silnik PMSM Mela 85 i 140 kW – dane charakterystyczne [118]	36
Tabela 1.4. Dane techniczne silników Audi [54]	45
Tabela 1.5. Wymagania dotyczące chłodzenia / odprowadzania ciepła silników spalinowych i elektrycznych [54].....	47
Tabela 2.1. Dane techniczne modułu baterii Nissan Leaf	64
Tabela 2.2. Dane techniczne modułu baterii Tesla [132]	64
Tabela 2.3. Dane techniczne modułu baterii BMZ [80]	77
Tabela 3.1. Dane techniczne elektroniki sterującej mocą [54].....	92
Tabela 4.1. Porównanie wybranych parametrów modułów baterii	119
Tabela 4.2. Dane Renault Twizy [102]	131

Grafika użyta do rozdzielania poszczególnych rozdziałów:

1. Ad. 1- [menneyd/Pixabay.com](https://www.pixabay.com/user/?from_view_profile=1&from_view_profile_username=menneyd)
2. Ad. 2 – [michaljamro/Pixabay](https://www.pixabay.com/user/?from_view_profile=1&from_view_profile_username=michaljamro)
3. Ad. 3 – [frimufilms/Freepik.com](https://www.freepik.com/free-vector/illustrations)
4. Ad. 4 – [Jeonomias/Pixabay](https://www.pixabay.com/user/?from_view_profile=1&from_view_profile_username=Jeonomias)
5. Ad.5 - [frimufilms/Freepik.com](https://www.freepik.com/free-vector/illustrations)

Odpowiedzi do pytań testowych

Pytanie testowe 1.2		Pytanie testowe 2.5		Pytanie testowe 3.6		Pytanie testowe 4.7		Pytanie testowe 5.6							
1	A	1	B	1	B	1	A	1	A						
2	B	2	C	2	B	2	A	2	B						
3	C	3	A	3	C	3	B	3	B						
4	A	4	A	4	B	4	C	4	B						
5	B	5	B	5	B	5	A	5	A						
6	B	6	B	6	B	6	A	6	A						
7	A	7	A	7	B	7	A	7	A						
8	A	8	A	8	B	8	A	8	A						
9	B	9	A	9	B	9	C	9	A						
10	B	10	B	10	A	10	B	10	A						
11	B	11	C	11	A			11	A						
12	A	12	C	12	C			12	A						
13	C	13	A	13	A			13	A						
14	A	14	B	14	A			14	A						
15	C	15	B	15	A			15	A						
16	B	16	B	16	A			16	A						
17	A	17	A	17	A			17	A						
18	A	18	B	18	A			18	A						
19	C	19	A	19	A			19	A						
20	A	20	C	20	A			20	A						
21	B	21	C												
22	A	22	B												
23	A	23	B												
24	B	24	B												
25	B	25	A												
26	B	26	A												
27	B	27	C												
28	B	28	C												
29	B	29	A												
30	B	30	A												
31	A														
32	B														
33	A														
34	C														
35	A														
36	B														
37	C														
38	B														
39	B														
40	A														

195

BUDOWA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Część druga Studia przypadków

Arkadiusz Małek

Lublin 2021

Spis treści

Wprowadzenie	201
1. Budowa pojazdu elektrycznego Renault Zoe	202
1.1. Klient	202
1.2. Potrzeba	204
1.3. Rozwiązanie	210
1.3.1. Rozwój Renault Zoe	210
1.3.2. Silnik elektryczny Renault Zoe	214
1.3.3. Baterie trakcyjne Renault Zoe	224
1.3.4. Montaż Renault Zoe	226
1.3.5. Ładowanie pojazdu Renault Zoe	233
1.4. Rezultaty	238
1.4.1. Badanie Renault Zoe w warunkach drogowych	238
1.4.2. Sprzedaż Renault Zoe	243
2. Budowa pojazdu elektrycznego Nissan Leaf	246
2.1. Klient	246
2.2. Potrzeba	247
2.3. Rozwiązanie	247
2.3.1. Nissan Leaf I	247
2.3.2. Nissan Leaf II	251
2.3.3. Silniki elektryczne w Nissanie Leaf	255
2.3.4. Pakiety baterii elektrycznych w Nissanie Leaf	260
2.3.5. Produkcja Nissana Leaf	264
2.3.6. Ładowanie pojazdu Nissan Leaf	265
2.3.7. Aplikacja Leaf Spy	278
2.4. Rezultaty	282
3. Budowa pojazdów elektrycznych dostawczych	284
3.1. Klient	284
3.2. Potrzeba	286
3.2.1. Wymagania Poczty Polskiej na dostawcze auto elektryczne	286

3.3. Rozwiązanie	287
3.3.1. Renault Master Z.E.....	287
3.3.2. VW e-Crafter.....	290
3.3.3. Hitachi Maxus	293
3.3.4. Mercedes e-Vito.....	294
3.4. Rezultaty	295
3.4.1. Całkowite Koszty Użytkowania	296
3.4.2. Koszty zakupu pojazdu.....	296
3.4.3. Koszty użytkowania pojazdu.....	297
3.4.4. Optymalizacja wyboru pojazdu dostawczego dla Poczty Polskiej.....	298
4. Budowa pojazdu elektrycznego typu SUV Audi e-tron	302
4.1. Klient	302
4.2. Potrzeba	307
4.3. Rozwiązanie	307
4.3.1. Audi e-Tron – charakterystyka ogólna	307
4.3.2. Napęd SUVa Audi e-tron.....	308
4.3.3. Baterie i ich ładowanie w Audi e-Tron.....	316
4.3.4. Inne innowacje w Audi e-Tron.....	323
4.4. Rezultaty	326
5. Budowa pojazdu elektrycznego Tesla	330
5.1. Klient	330
5.1.1. Charakterystyka klientów Tesli X i S.....	330
5.1.2. Charakterystyka klientów Tesli 3.....	333
5.2. Potrzeba	336
5.3. Rozwiązanie	338
5.3.1. Budowa nadwozi.....	338
5.3.2. Silniki elektryczne	342
5.3.3. Pakiety baterii trakcyjnych	344
5.3.4. Tesla jako pojazd autonomiczny	347
5.4. Rezultaty	353
Podsumowanie i wnioski	357
Bibliografia.....	359
Spis rysunków	365
Spis tabel.....	373

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 przełomowym, podczas którego kilka poważnych koncernów motoryzacyjnych wprowadziło do sprzedaży swoje pierwsze modele elektryczne. Dużą rolę w popularyzacji elektromobilności odegrała firma Tesla oraz Nissan i Renault.

Kolejne lata rozwoju napędów elektrycznych i hybrydowych, związane są ze zwiększeniem zasięgów pojazdów poprzez zwiększanie 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 wnikliwe studia 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 użytkownikiem, projektantem, diagnostą i serwisantem.

1. Budowa pojazdu elektrycznego Renault Zoe

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 różnym grupom wiekowym i społecznym.

Według danych Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych (PSPA), pod koniec lutego 2020 roku w Polsce było zarejestrowanych 9803 elektrycznych samochodów osobowych. 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 %.

Badania przedstawione w literaturze potwierdzają 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”).

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. Dla porównania w Niemczech i na Słowacji – 4 pojazdy elektryczne przypadają na jeden punkt ładowania.

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: Kto jest klientem kupującym 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 [11]. 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 osiąganymi, 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 środowiskowy-

mi 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 podręcznika i od chwili zakupu pojazdu elektrycznego Renault Twizy w 2015 roku efektywnie propaguje ideę elektromobilności wśród mieszkańców Lublina.

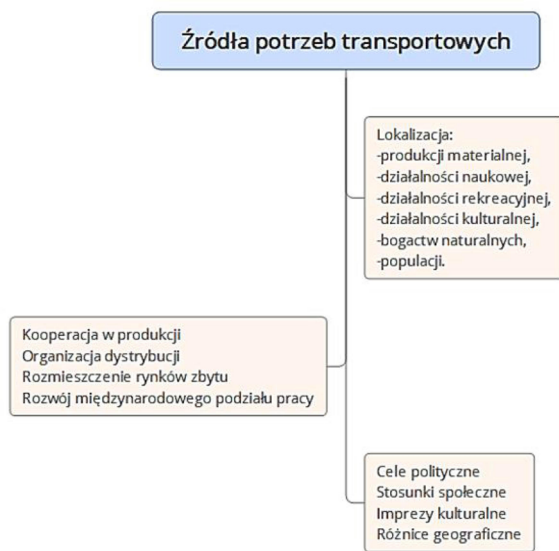
1.2. Potrzeba

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, stano-

wią 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 nierozzerwalnie z produkcją i społeczną działalnością człowieka oraz z funkcjonowaniem gospodarki narodowej i organizacją życia społecznego.

Ogólną klasyfikację potrzeb transportowych przedstawiono na rysunku 1.3.



Rys. 1.1. Przyczyny występowania potrzeb transportowych [5]

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 skażenia powietrza w centrach miast, spowodowane przez spaliny emitowane z pojazdów. W niesprzyjających warunkach meteorologicznych tworzą one smogi, które są szkodliwe nie tylko dla ludzi ale także zwierząt i roślin. Cierpią też budynki, których fasady nie są odporne na deszcze zawierające wiele szkodliwych kwasów. W związku ze wzrostem świadomości 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 nowoprodukowanych i są różne dla silników z zapłonem iskrowym i samoczynnym (Diesli). W związku z aferą VW gate 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, 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 zwiększająca 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 ilość 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 ilość 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 o pojazdy elektryczne. 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 SUVy. 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. 1.2. 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 Renault Twi-zy nie emitujemy żadnych zanieczyszczeń do atmosfery. Z drugim problemem – korkami - rozprawiamy się tylko połowicznie. W Polsce w wielu miastach stosowane są tzw. bus pasy. 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 bus pasy. Takie zabiegi zarządcze mają na celu przeciwdziałanie wszystkim trzem problemom cywilizacyjnym. Wiele osób przekonało już się, 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. 1.3. Pojazdy elektryczne marki Renault i Nissan

Pojazdy elektryczne bardzo często zwolnione są z opłat w Strefach Płatnego Parkowania w centrach miast. Ich właściciele bardzo często 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 zaczęły na poważnie pojawiać się na rynku od 2010 roku. Ale dopiero od 2012 roku można mówić o trendzie światowym zwanym Elektromobilnością.



Rys. 1.4. Rodzina pojazdów elektrycznych marki Renault [62]

W przedmiotowym rozdziale zostanie udowodnione, że Renault Zoe może być odpowiedzią na cywilizacyjne problemy miast w XXI wieku. W dalszej części rozdziału zostanie przedstawione jak koncern rozwiązał udowodnioną przed chwilą potrzebę, na wprowadzenie na rynek małych pojazdów miejskich o napędzie elektrycznym.

1.3. Rozwiązanie

1.3.1. Rozwój Renault Zoe

Renault Zoe to samochód elektryczny produkowany od roku 2012 przez francuski koncern w zakładach w Flins we Francji [19]. Ten 5-drzwiowy hatchback klasyfikowany jest jako segment pojazdów B lub C.

Pierwszą formę koncepcyjną modelu Zoe koncern Renault przedstawił w 2005 roku na targach samochodowych w Genewie (rysunek 1.5). 3-miejscowy pojazd nosił nazwę Zoe City Car. Kolejną wersję koncepcyjną Francuzi zaprezentowali 4 lata później na Frankfurt Motor Show. Zoe Z.E. Concept wyposażony był w 96-konny silnik elektryczny zasilany z litowo-jonowych akumulatorów. Ostatnim stadium

rozwoju elektrycznego samochodu Renault było Zoe Z.E. Preview. Ze wszystkich konceptów jakie zaprezentowano na przestrzeni lat, to on najbardziej przypominał auto, które trafiło do produkcji.



Rys. 1.5. Koncept Renault Zoe z 2005 roku [22]

Produkcję seryjną Renault Zoe rozpoczęto w grudniu 2012 roku a jego wygląd przedstawiono na rysunku 1.6. Wersja produkcyjna znacznie różniła się od tej koncepcyjnej. W pierwszym miesiącu sprzedano 68 Zoe. Do czerwca 2014 Renault sprzedało łącznie 12 631 egzemplarzy swojego elektrycznego samochodu. Największym rynkiem zbytu Zoe jest Francja. W wyżej wymienionym okresie zarejestrowano tam 7 637 tych aut. Na drugim miejscu znajdują się Niemcy. Tam sprzedaż wyniosła w sumie 1 532 sztuk.



Rys. 1.6. Pierwsza wersja produkcyjna Renault Zoe z 2012 roku [23]

Pierwsze Renault Zoe napędzane było przez elektryczny silnik synchroniczny z uzwojonym wirnikiem. Rozwijał on moc 88 KM w zakresie od 3 000 do 11 300 obr./min oraz moment obrotowy 220 Nm w zakresie od 20 do 2 500 obr./min. Te parametry zapewniały przyspieszenie od 0 do 100 km/h w 13,5 s oraz prędkość maksymalną równą 135 km/h.

Pierwszy produkcyjny Renault Zoe pobierał energię z akumulatorów o pojemności energetycznej wynoszącej 22 kWh. 192 ogniwa mieściły się w 12 modułach i według norm homologacyjnych NEDC zapewniały zasięg równy 210 km. Jednak Renault w katalogu podaje inne wartości rzeczywiste. W temperaturach umiarkowanych zasięg pierwszego Renault Zoe na w pełni naładowanych akumulatorach wynosił 150 km. Przy niskich temperaturach malał on do wartości 100 km.

Na samym początku sprzedaży Renault zdecydowało, że akumulatory będzie leasingować. Miesięczna stawka najmu jest zależna od okresu oraz szacowanego rocznego przebiegu. Najtańszym wariantem jest 36-miesięczny (lub więcej) leasing z ustalonym dystansem wynoszącym 12 500 km. Cena wynosi w tym przypadku 379 zł miesięcznie. Najbardziej kosztowną opcją jest 12-miesięczny leasing z zasięgiem określonym na poziomie 25 000 zł. W takim przypadku za miesiąc użytkowania akumulatorów Renault Zoe właściciel płacił 689 zł. Za przebieg ponadnormatywny naliczana jest kara w wysokości 12 500 brutto.

Renault Zoe uzyskało maksymalną notę w testach zderzeniowych Euro NCAP (rysunek 1.7). 5 gwiazdek zostało przyznane elektrycznemu autu po badaniach przeprowadzonych w 2013 roku [24]. Renault Zoe został najlepszym samochodem miejskim w roku 2013 pod względem bezpieczeństwa, spośród modeli spalinowych i elektrycznych, według Euro NCAP. To wyniki testu ogłoszone przez niezależną jednostkę badawczą w corocznym zestawieniu „best in class cars”.



Rys. 1.7. Test zderzeniowy Renault Zoe [24]

Francuski koncern wystawił trzy egzemplarze Zoe w Rajdzie Monte Carlo ZENN (Zero Emission No Noise) trwającym w dniach 21-23 marca 2014. Auto zostało na koniec sklasyfikowane na pierwszym miejscu.

We wrześniu 2016 roku Renault ogłosiło wprowadzenie do sprzedaży nowej wersji Zoe, z zasięgiem powiększonym do maksymalnie 400 km. Było to możliwe dzięki zastosowaniu nowych baterii o pojemności około 41kWh, opracowanych przez firmę LG Chem. Nowa wersja modelu została oznaczona ZE 40 i na początku była oferowana tylko na niektórych rynkach, równoległe z odmianą o mniejszym zasięgu.

W czerwcu 2019 roku Renault przedstawiło Zoe po gruntownej modernizacji (rysunek 1.8). Samochód otrzymał zupełnie nowy kokpit w stylu piątej generacji Clio, a także odświeżone zderzaki, inny kształt reflektorów i zmienione wkłady tylnych lamp.



Rys. 1.8. Odnowiona wersja produkcyjna Renault Zoe z 2019 roku [25]

Unowocześniono też napęd elektryczny. Samochód stał się wydajniejszy i zyskał większy zasięg. Jednak to, co najważniejsze, kryje się pod samochodem i pod maską. Mowa o baterii trakcyjnej o pojemności 52 kWh, co stanowi dodatkowe 11 kWh, czyli wystarcza na dobre 100 km jazdy. Niestety, odbyło się to kosztem 25 kg dodatkowej masy. Ale klient i tak zyskuje na zasięgu. W nowej wersji wynosi on ok. 390 km w cyklu jezdnym WLTP. Nowa bateria współpracuje także z nowym silnikiem o mocy 135 KM i momencie obrotowym 245 Nm. Jest to alternatywny silnik dla wciąż oferowanego 110-konnego, który pozostał bez zmian. Jego moment obrotowy to 225 Nm. Oczywiście auto ma przekładnię jednostopniową.

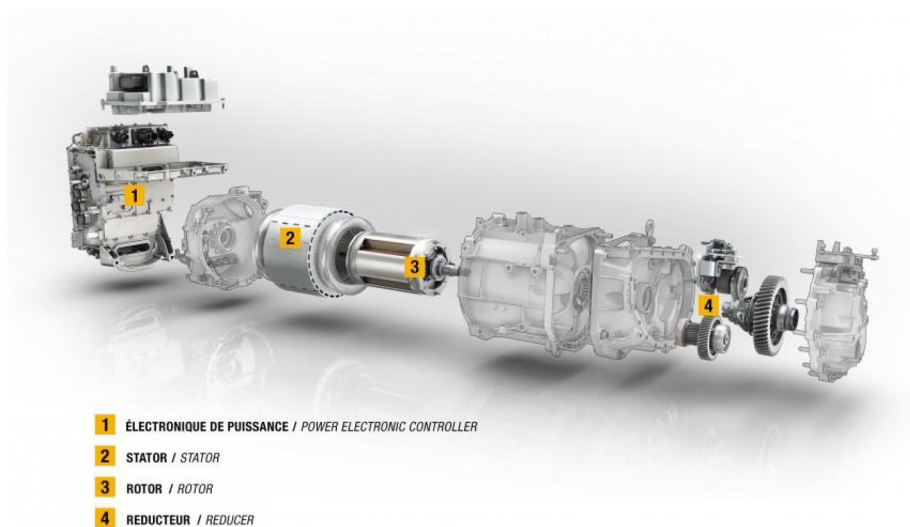
1.3.2. Silnik elektryczny Renault Zoe

Silnik elektryczny dla pojazdu Renault Zoe został zaprojektowany przez inżynierów Renault. Jest produkowany w fabryce we francuskiej miejscowości Cléon, jak to pokazano na rysunku 1.9.



Rys. 1.9. Fabryka Renault w Cléon [21]

W wyżej wymienionej fabryce powstaje cały elektryczny układ napędowy, który przedstawiono na rysunku 1.10.



Rys. 1.10. Elektryczny układ napędowy pojazdu Renault Zoe [21]

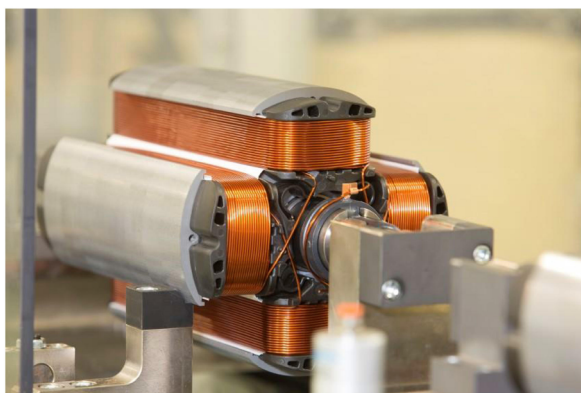
Jak widać na rysunku 1.10 układ napędowy Renault Zoe składa się z Elektronicznej Jednostki Sterującej Mocą (1), stojana (2), wirnika (3) oraz reduktora (4). Sam silnik elektryczny został przedstawiony na rysunku 1.11. Producent zaznacza, że jest to kompaktowa i wydajna jednostka napędowa, zaprojektowana i produkowana wyłącznie przez koncern Renault.

NOUVEAU MOTEUR ÉLECTRIQUE 100 % RENAULT, COMPACT ET PERFORMANT
Electric motor entirely designed and manufactured by Renault: compact and efficient



Rys. 1.11. Silnik elektryczny Renault Zoe [21]

Silnik elektryczny Renault Zoe jest to silnik synchroniczny prądu przemiennego z uzwojonym wirnikiem, który przedstawiono na rysunku 1.12. Jest to starsza konstrukcja silników ale bardzo niezawodna i tania w produkcji, w porównaniu z silnikami posiadającymi wirniki z magnesami trwałymi.



Rys. 1.12. Uzwojony wirnik silnika elektrycznego [21]

Wadą tej konstrukcji jest konieczność zasilania uzwojenia wirnika prądem elektrycznym za pomocą pierścieni ślizgowych, które można zobaczyć na rysunku 1.13. Współpracują z nimi szczotki, które stykając się z pierścieniami przekazują do uzwojenia wirnika prąd elektryczny pochodzący z inwertera.



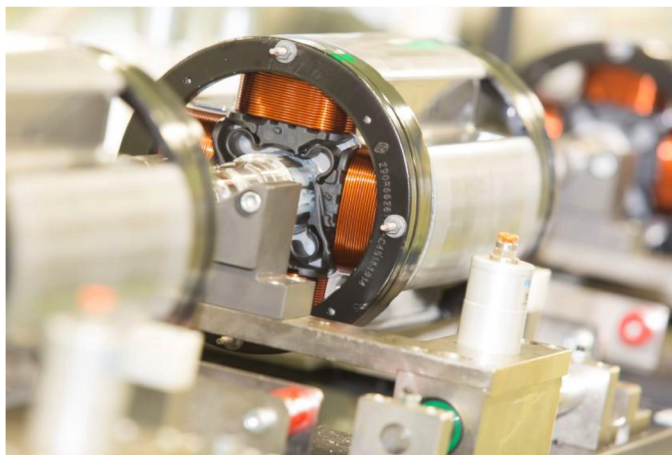
Rys. 1.13. Pierścienie ślizgowe na wirniku silnika elektrycznego [21]

W fabryce Renault produkowany jest także stojan oraz obudowa silnika. Obudowa, jak widać na rysunku 1.14, została wykonana jako odlew kokilowy z aluminium.



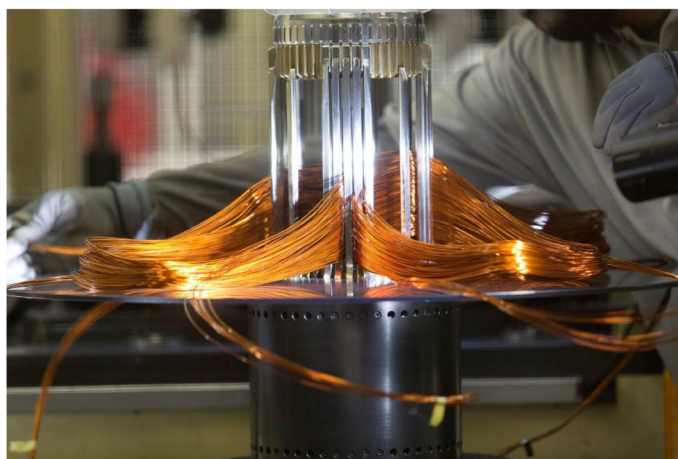
Rys. 1.14. Komponenty silnika elektrycznego (od lewej: obudowa, wirnik, stojan) [21]

Złożenie kompletnego uzwojonego wirnika silnika elektrycznego przedstawiono na rysunku 1.15.



Rys. 1.15. Złożenie wirnika silnika elektrycznego [21]

Renault w swojej fabryce wykonuje również kompletny stojan silnika. Proces produkcji uzwojeń w stojanie przedstawiono na rysunkach 1.16 i 1.17. Można zobaczyć, że niektóre części produkcji stojana są wykonywane ręcznie (rysunek 1.16), inne zaś w procesie zautomatyzowanym (rysunek 1.17).



Rys. 1.16. Ręczna produkcja uzwojeń stojana [21]



Rys. 1.17. Automatyczna produkcja uzwojeń stojana [21]

Produkowane komponenty, jeszcze przed złożeniem są poddawane szczegółowej kontroli technicznej. Na rysunku 1.18 przedstawiono kontrolę dokładności wykonania wirnika silnika.



Rys. 1.18. Kontrola jakości wykonania złożenia wirnika silnika elektrycznego [21]

Na rysunku 1.19 przedstawiono kontrolę jakości pod względem elektrycznym stojana silnika.



Rys. 1.19. Kontrola ciągłości uzwojeń w stojanie silnika elektrycznego [21]

Po dokonaniu montażu silnika elektrycznego następuje montaż falownika, który znajduje się na górze silnika (rysunek 1.20). Takie rozwiązanie pozwala uzyskać kompaktową budowę całego elektrycznego układu napędowego. Minimalizuje także długość przewodów elektrycznych.



Rys. 1.20. Montaż falownika na silniku elektrycznym [21]

Kompletne złożenie silnika elektrycznego z falownikiem przedstawiono na rysunku 1.21.



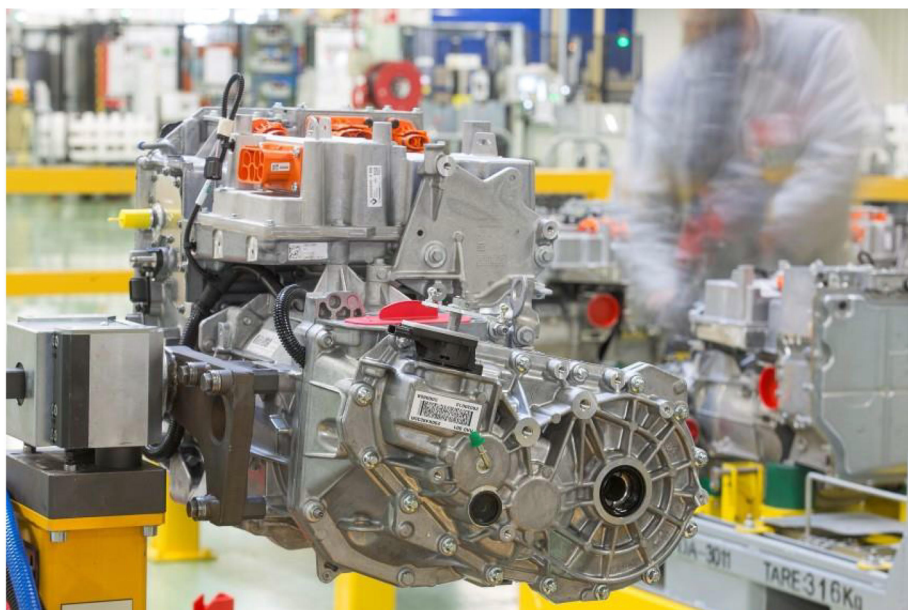
Rys. 1.21. Kompletne złożenie silnika elektrycznego z falownikiem [21]

Warto zaznaczyć, że wiele procesów produkcyjnych zostało całkowicie zautomatyzowanych. Automatyzacja procesów produkcyjnych z wykorzystaniem robotów przemysłowych została pokazana na rysunku 1.22. Taki kompletny silnik elektryczny może ważyć ok. 100 kg. Zatem bardzo zasadne jest wykorzystanie robotów do przenoszenia silnika z jednej linii produkcyjnej na kolejną.



Rys. 1.22. Automatyzacja procesów produkcyjnych z wykorzystaniem robotów przemysłowych [21]

Kompletne złożenie silnika elektrycznego z falownikiem i reduktorem prędkości obrotowej przedstawiono na rysunku 1.23. Silnik pomimo tego, że posiada już zamontowane wszystkie przewody elektryczne i złącza, nie jest jeszcze gotowy do montażu w pojeździe na linii produkcyjnej.



Rys. 1.23. Kompletne złożenie silnika elektrycznego z falownikiem i reduktorem prędkości obrotowej [21]

Kompletny silnik musi być jeszcze dokładnie sprawdzony na hamowni silnikowej, jak to pokazano na rysunku 1.24. Na tym etapie następuje ostateczna weryfikacja poprawności działania silnika elektrycznego, która może odbywać się pod obciążeniem. Po tym etapie producent silnika może być całkowicie pewien, że do fabryki montującej zostanie wysłany w 100% działający silnik.



Rys. 1.24. Testowanie kompletnego silnika elektrycznego na hamowni silnikowej [21]

Tak wyprodukowane i sprawdzone silniki elektryczne są pakowane i transportowane do fabryki montującej w Flins (rysunki 1.25 i 1.26). Według map Google obydwie fabryki dzieli odległość wynosząca ok. 80 km.



Rys. 1.25. Przygotowanie silników do transportu [21]



Rys. 1.26. Hala wysyłkowa w fabryce silników [21]

1.3.3. Baterie trakcyjne Renault Zoe

W Renault Zoe montowane są silniki elektryczne o mocy od 44 do 100 kW. Pakiety bateryjne są umieszczone w podłodze pojazdu, jak to przedstawiono na rysunku 1.27. Największy pakiet baterii ma pojemność 52 kWh. Na rysunku można dostrzec, że pakiet baterii to nie tylko moduły bateryjne ale także szereg urządzeń pomocniczych.



Rys. 1.27. Miejsce montażu pakietu baterii w Renault Zoe [26]

Widok pakietu o pojemności energetycznej 52 kWh przedstawiono na rysunku 1.28.



Rys. 1.28. Pakiet baterii o pojemności energetycznej 52 kWh w Renault Zoe [26]

Akumulator w Renault Zoe Z.E. 50 o pojemności 52 kWh pozwala przejechać do 395 km w cyklu WLTP (ang. Worldwide Harmonized Light vehicles Test Procedure). Cykl znormalizowany WLTP obejmuje 57 % tras miejskich, 25 % tras podmiejskich, 18 % tras na autostradzie w wersji Zoe Life wyposażonego w obręcze kół o średnicy 15”.

Elektryczny układ napędowy najnowszego Renault Zoe przedstawiono na rysunku 1.29. Składa się on z opisanego wcześniej silnika elektrycznego, pakietu baterii trakcyjnych oraz złącza ładowania. Na rysunku 1.29 widoczna jest także Elektroniczna Jednostka Sterująca elektrycznego układu napędowego.



Rys. 1.29. Elektryczny układ napędowy Renault Zoe [28]

Renault Zoe z 2019 roku zyskał także nowy wyświetlacz na tablicę wskaźników za kołem kierownicy. Jest jeszcze bardziej wyrazisty i bardzo kolorowy. Zawiera nawigację oraz zestaw bardzo czytelnych wskaźników. Znajduje się tam wskazanie poziomu naładowania baterii trakcyjnych oraz przewidywany zasięg na posiadanym prądzie. Widok wyświetlacza przedstawiono na rysunku 1.30.



Rys. 1.30. Zestaw wskaźników w nowym Renault Zoe [28]

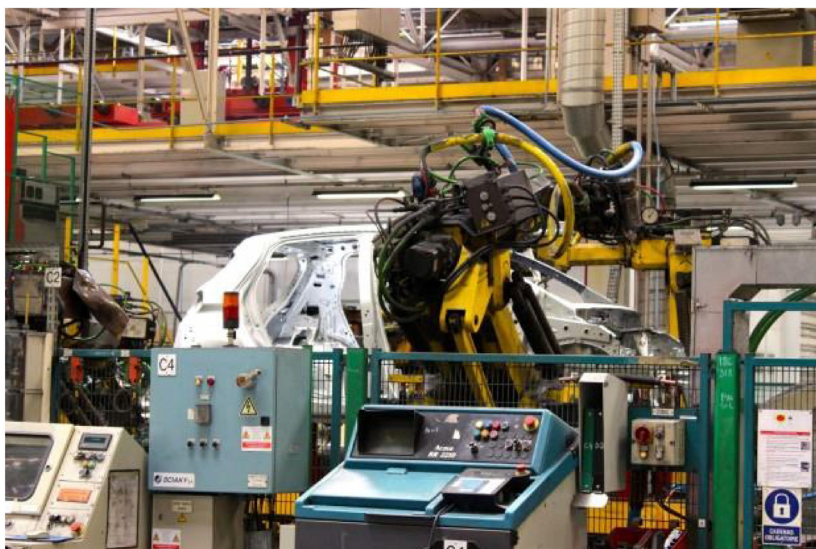
1.3.4. Montaż Renault Zoe

Renault Zoe produkowany jest z tradycyjnych materiałów i tradycyjnymi metodami wytwarzania. Nadwozie tego miejskiego pojazdu elektrycznego wykonane jest z blachy stalowej. Poszczególne elementy nadwozia są tłoczone i wykrawane z blachy, tak jak pokazana na rysunku 1.31 płyta boczna.



Rys. 1.31. Płyta boczna Renault Zoe [27]

Następnie wszystkie elementy nadwozia są zgrzewane na automatycznej linii zgrzewania nadwozia. Została ona przedstawiona na rysunku 1.32.



Rys. 1.32. Zgrzewanie nadwozia Renault Zoe [27]

Efekt zgrzewania w postaci kompletnego nadwozia samonośnego został przedstawiony na rysunku 1.33. Podlega ono właśnie kontroli jakości.



Rys. 1.33. Nadwozie Renault Zoe [27]

Więcej w obszarze budowy nadwozia można zobaczyć na rysunku 1.34, na który nadwozie Renault Zoe zostało przedstawione od przodu. Można zobaczyć, że jest to nadwozie samonośne 5-cio drzwiowe typu hatchback. Z przodu posiada dwie podłużnice do mocowania elektrycznej jednostki napędowej i przedniego zawieszenia. Na pierwszy rzut oka nawet fachowiec nie jest w stanie powiedzieć, czy jest to nadwozie pojazdu elektrycznego. Komora silnika wygląda identycznie jak w pojazdach z silnikiem spalinowym.



Rys. 1.34. Nadwozie Renault Zoe [27]

Aby dokonać całkowitego montażu pojazdu elektrycznego Renault Zoe należy jeszcze dostarczyć na linię montażową pakiet baterii trakcyjnych.

Pakiet baterijny składany jest w tej samej fabryce co cały pojazd. Dostarczane są tam moduły ogniw litowo-jonowych produkowane przez firmę LG Chem. Jest to spółka partnerska Renault-Nissan, która dostarcza moduły ogniw litowo-jonowych dla prawie wszystkich elektrycznych modeli Renault i Nissana. Pakiety są dostarczane na wózku paletowym, co zostało przedstawione na rysunku 1.35.



Rys. 1.35. Moduły bateryjne Renault Zoe [27]

Pojedynczy moduł można zobaczyć na rysunku 1.36. Składa się on z 16 litowo-jonowych cel o napięciu 3,5 V. W skład pakietu o pojemności energetycznej 40 kWh wchodzi 12 takich modułów. Zatem w skład pakietu wchodzi 192 cele, które dla Renault dostarcza firma LG Chem. Jest spółką córką koncernu LG znanego z produkcji sprzętu AGD, RTV i komputerowego. Spółka dedykowana LG Chem posiada również fabryki produkujące baterie w Polsce.



Rys. 1.36. Moduł baterijny Renault Zoe [27]

W fabryce Renault w Flins wykonywana jest także podstawa baterii. Ma postać płyty wykonanej z aluminium. Można zauważyć, że w produkcji wykorzystano różne technologie przetwarzania i łączenia aluminium (rysunek 1.37). Należy do nich tłoczenie i wykrawanie blach aluminiowych. Następnie są one łączone za pomocą zgrzewania z elementami aluminiowymi poddanymi obróbce skrawaniem na maszynach CNC.



Rys. 1.37. Płyta modułu baterijnego Renault Zoe [27]

Na płycie baterii układane są moduły bateryjne i w odpowiedni sposób ze sobą łączone. Sposób ich mocowania można zobaczyć na rysunku 1.38. Dodatkowo w pakiecie znajduje się system BMS, który ma za zadanie zarządzać pakietem baterijnym. Za pomocą pomarańczowych przewodów wysokiego napięcia pakiet baterijny połączony jest z gniazdami wysokiego napięcia, stanowiącymi wyjścia do podłączenia ładowarki oraz silnika elektrycznego. W pakiecie nie można dopatrzyć się przewodów chłodzących baterię bo ich po prostu nie ma.



Rys. 1.38. Pakiet baterijny Renault Zoe [27]

Następnie moduł zostaje szczelnie zamknięty, jak to pokazano na rysunku 1.39. Gotowy pakiet baterii, po przejściu przez kontrolę jakości, udaje się na linię montażową, jak to pokazano na rysunku 1.40. Fabryka pojazdów elektrycznych marki Renault jest bardzo zautomatyzowana, jak przystało na drugą dekadę XXI wieku.



Rys. 1.39. Zamykanie pakietu baterijnego Renault Zoe [27]



Rys. 1.40. Złożony pakiet baterijny Renault Zoe [27]

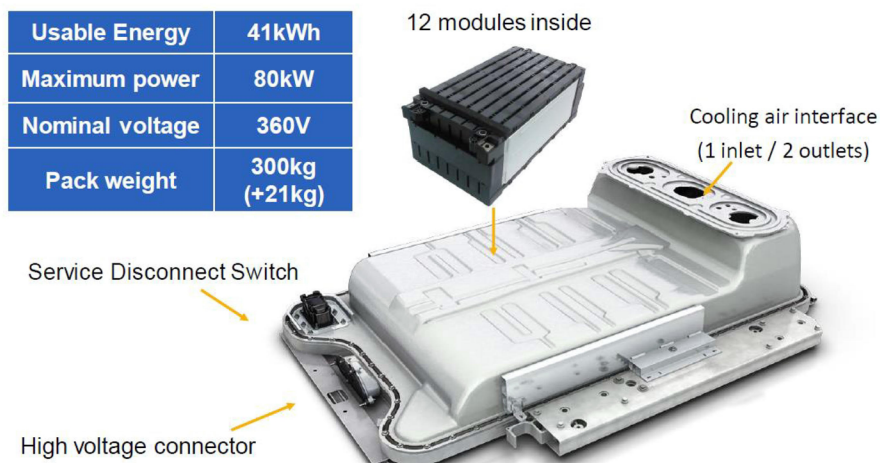
Na końcu linii produkcyjnej znajduje się zazwyczaj końcowa kontrola jakości produkcji, gdzie wykonywany jest krótki test jezdny każdego modelu. Końcowa część linii produkcyjnej Renault Zoe została przedstawiona na rysunku 1.41.



Rys. 1.41. Końcowa część linii produkcyjnej Renault Zoe [27]

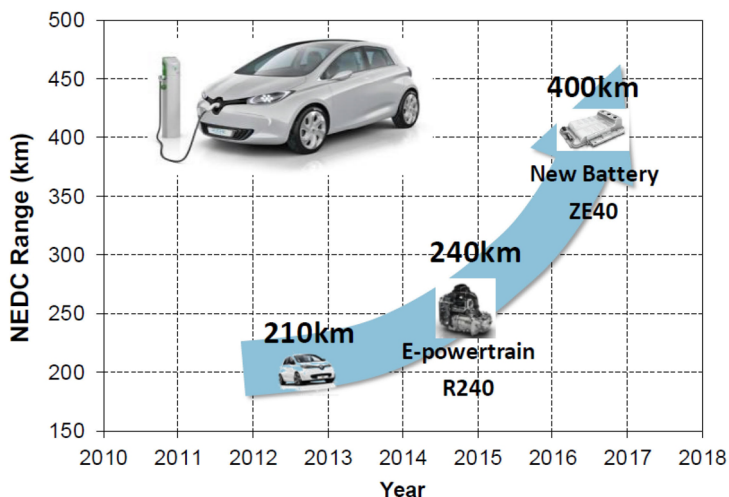
1.3.5. Ładowanie pojazdu Renault Zoe

Dokonajmy teraz podsumowania w obszarze gromadzenie energii elektrycznej w bateriach Renault Zoe i sposobu ich ładowania. Widok oraz najważniejsze parametry techniczne pakietu baterii trakcyjnych o pojemności 41 kWh przedstawiono na rysunku 1.42. Pakiet waży w sumie 321 kg i posiada napięcie nominalne 360 V. Może być ładowany maksymalną mocą 80 kW. Cały pakiet jest kondycjonowany poprzez nadmuch powietrza w tylnej jego części. W przedniej części pakietu znajduje się wtyczka wysokiego napięcia (High voltage connector) oraz zwora serwisowa (Service Disconnect Switch). Zworę trzeba koniecznie rozłączyć podczas dokonywania jakichkolwiek napraw przy samym pakiecie baterii, silniku elektrycznym lub przewodach wysokiego napięcia.



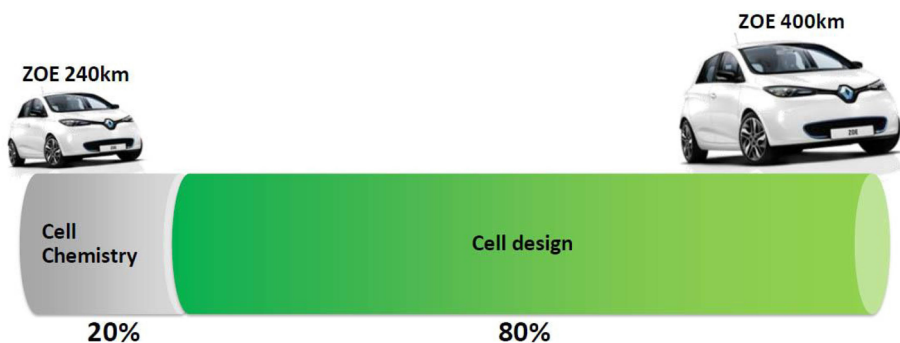
Rys. 1.42. Pakiet baterii trakcyjnych w Renault Zoe [39]

Ewolucja zasięgu pojazdu Renault Zoe w teście NEDC została przedstawiona graficznie na rysunku 1.43. Coraz większy zasięg na jednym ładowaniu jest wynikiem zwiększania pojemności energetycznej samych baterii oraz udoskonalania systemu zarządzania baterią - BMS.



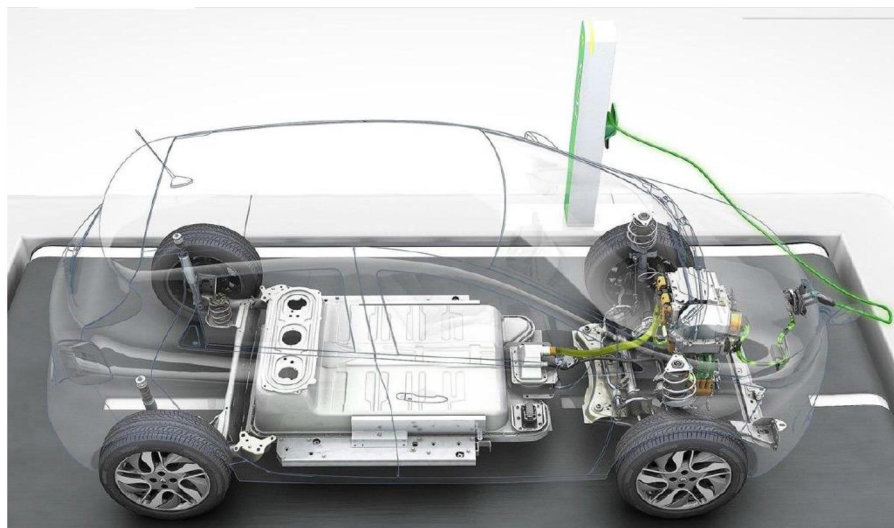
Rys. 1.43. Ewolucja zasięgu pojazdu Renault Zoe [39]

Warto zaznaczyć, że sama ilość oraz rodzaj cel nie uległa zmianie. Inżynierowie z Departamentu rozwoju baterii w Renault twierdzą, że chemia w bateriach odpowiada tylko za 20 % osiągnięć, zaś 80 % osiągnięć zależy od poprawnej i innowacyjnej konstrukcji całego pakietu baterii. Graficznie to przedstawiono na rysunku 1.43.



Rys. 1.44. Ewolucja zasięgu pojazdu Renault Zoe [39]

Dokładne rozmieszczenie wszystkich komponentów elektrycznego układu napędowego w Renault Zoe przedstawiono na rysunku 1.45.



Rys. 1.45. Rozmieszczenie komponentów elektrycznego układu napędowego w Renault Zoe [39]

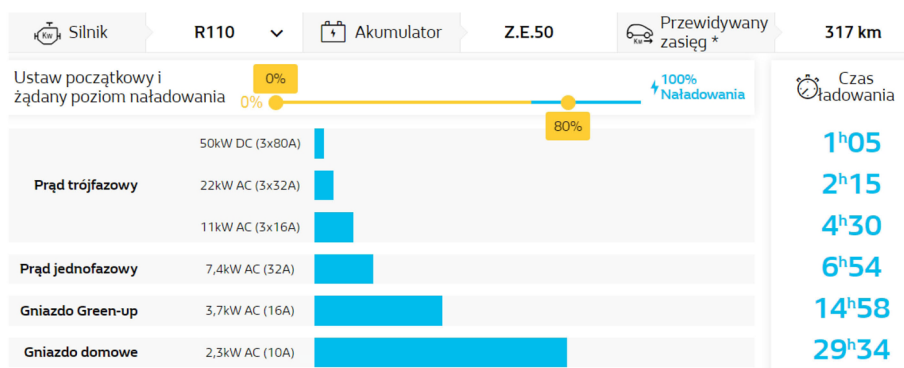
Do tej pory największym minusem Renault Zoe był brak złącza CCS, które pozwala na szybkie uzupełnianie energii z wykorzystaniem prądu stałego (DC) o mocy do 50 kW. Opisywane powyżej Zoe ZE 50 posiadały tylko złącza Typu 2, a więc dawały się ładować wyłącznie prądem przemiennym (AC) z mocą do 22 kW. Taka energia elektryczna jest tańsza, ale postój potrwa nawet dwa razy dłużej niż na stacji ładowania DC. Jednak w 2020 roku pojawiła się wersja Renault Zoe ze złączem CCS, której wygląd przedstawiono na rysunku 1.42. Pod gniazdem Typu 2 znajdują się dwa piny przeznaczone do ładowania baterii prądem stałym.



Rys. 1.46. Gniazdo CCS w Renault Zoe [28]

Renault na swojej oficjalnej stronie wystawiło bardzo ciekawą infografikę pokazującą czas ładowania Renault Zoe z baterią 50 kWh (rysunek 1.43). Wynika z niej, ile czasu potrzeba by naładować baterie pojazdu do pojemności energetycznej wynoszącej 80 %. Najwolniejsze jest ładowanie prądem przemiennym jednofazowym o napięciu 230 V, który może być dostarczany przez różnego rodzaju gniazda i przewody. Jeśli jest to gniazdo zabezpieczone bezpiecznikiem 10 A to można z niego pobierać maksymalną moc wynoszącą 2,3 kW i wtedy ładowanie trwa 29 godzin i 34 minuty. Największa moc, jaką można pobrać z gniazda prądu jednofazowego zabezpieczonego bezpiecznikiem 32 A, wynosi 7,4 kW. Wówczas ładowanie trwa prawie 7 godzin. Jeśli właściciel pojazdu posiada dostęp do zasilania prądem przemiennym trójfazowym o napięciu 400 V, może

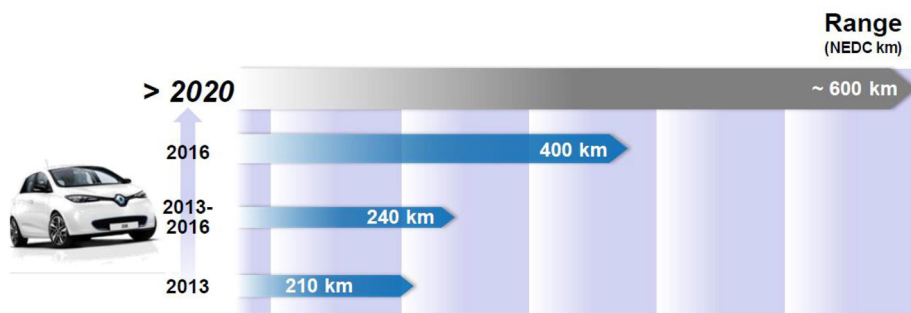
liczyć na znaczne skrócenie czasu ładowania. Renault Zoe posiada jedną z największych ładowarek pokładowych dostępnych na rynku. Ma ona moc 22 kW, zatem może być wykorzystana do zasilania ze słupków publicznego dostępu do infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Mają one zazwyczaj moc 11 lub 22 kW. W przypadku tej drugiej opcji ładowanie baterii trwa 2 godziny i 15 minut. Jednak wykorzystanie zewnętrznej szybkiej ładowarki o mocy 50 kW pozwala na ponad dwukrotne skrócenie tego czasu do 1 godziny i 5 minut. Jeśli użyta zostanie ładowarka o mocy 100 kW wówczas ładowanie będzie trwało tylko 0,5 godziny.



Rys. 1.47. Czas ładowania baterii Renault Zoe [26]

Wraz z zakupem Renault Zoe kupujący staje się posiadaczem akumulatora trakcyjnego, który objęty jest gwarancją przez okres 8 lat lub 160 000 km (w zależności od tego, który warunek zostanie osiągnięty pierwszy). Po tym czasie, lub przebiegu, pojemność ładowania gwarantowana jest na poziomie nie mniejszym niż 66% pierwotnej pojemności.

Renault ma zamiar w dalszym ciągu rozwijać pojazdy elektryczne tak, aby miały coraz większy zasięg na jednym ładowaniu. Graficznie rozwój zasięgu pojazdu Renault Zoe przedstawiono na rysunku 1.48.



Rys. 1.48. Ewolucja zasięgu pojazdu Renault Zoe [39]

1.4. Rezultaty

1.4.1. Badanie Renault Zoe w warunkach drogowych

Pojazdy z napędem elektrycznym charakteryzują się zerową emisją szkodliwych składników do atmosfery w miejscu użytkowania. W stosunku do pojazdów elektrycznych bardzo często pada zarzut o brak ekologii, gdyż bardzo często prąd elektryczny do ich ładowania pochodzi ze spalania paliw kopalnych, 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 zero emisyjnych pojazdów z napędem elektrycznym ładowanych energią elektryczną pochodzącą z Odnawialnych Źródeł Energii (OZE). Oprócz OZE czysta energia elektryczna może być produkowana również w elektrowniach jądrowych.

Od 2012 roku w Europie i na całym świecie obserwowany jest trend zwany elektromobilnością. Atrakcyjny wygląd oraz właściwości pojazdów elektrycznych są wynikiem pracy inżynierów pracujących w dużych koncernach motoryzacyjnych oraz naukowców pracujących na uniwersytetach i w 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.

Autor postanowił przetestować auto zarówno w ruchu miejskim jak i na trasie. Na jedno ze szkoleń w 2020 roku pojechaliśmy z Lublina do Tomaszowa Lubelskiego, dzięki uprzejmości Renault Carrara, samochodem Renault Zoe. Badanym pojazdem był Renault Zoe wyprodukowany w 2019 roku i posiadający baterię o pojemności energetycznej 40 kWh.

W badaniach wykorzystano ładowarkę ecoMOTO znajdującą się w Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym. Ładowarki tego rodzaju są produkowane przez Kolejowe Zakłady łączności Sp. z o.o. Podczas ładowania wykorzystywany jest prąd zmienny o mocy sięgającej 22 kW (opcjonalnie podczas ładowania można wykorzystać jednak nawet 44 kW). Należy przy tym zaznaczyć, że omawiana ładowarka jest wyposażona w 2 złącza - po lewej stronie znajduje się złącze Typ 2 o mocy 22 kW, natomiast po prawej – złącze Schuko 230 V. W stacji znajdują się dwa gniazda, które zostały osobno opomiarowane. Omawiana ładowarka spełnia warunki ujęte w ustawie dotyczącej elektromobilności.

Widok badanego pojazdu podczas procesu ładowania baterii przedstawiono na rysunku 1.49.



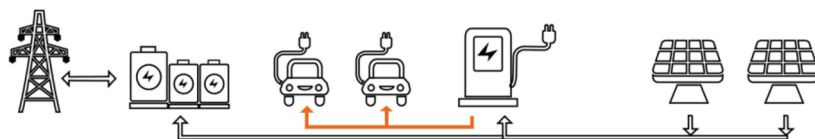
Rys. 1.49. Ładowanie Renault Zoe z systemu fotowoltaicznego

Warto zaznaczyć, że jest to pierwsza na Lubelszczyźnie i jedna z pierwszych w Polsce stacji ładowania pojazdów elektrycznych podłączona do systemu fotowoltaicznego. Dzięki temu pojazdy elektryczne tam ładowane są całkowicie ekologiczne. Infografika przedstawiona na rysunku 1.50 uwypukla ten aspekt.



Rys. 1.50. Ekologiczna ładowarka podłączona do systemu fotowoltaicznego - infografika

Schemat podłączenia ładowarki do systemu fotowoltaicznego przedstawiono na rysunku 1.51. Widać na nim, że ładowarka jest podłączona zarówno do sieci energetycznej jak i do systemu fotowoltaicznego. Mikroinstalacja fotowoltaiczna o mocy 40 kWp zasila ładowarkę, która jest w stanie ładować dwa pojazdy jednocześnie. Gdy pojazdy nie są ładowane, lub gdy moc generowana przez system fotowoltaiczny jest większa niż moc ładowania pojazdów, produkowany prąd zasila budynek Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego lub jest oddawany do sieci energetycznej. W nocy lub w pochmurny dzień, gdy system fotowoltaiczny produkuje mało energii, stacja jest wówczas zasilana prądem z sieci energetycznej.



Rys. 1.51. Schemat podłączenia ładowarki do systemu fotowoltaicznego

Po podłączeniu pojazdu do ładowarki, na tablicy wskaźników pojawiają się informacje o aktualnym poziomie naładowania baterii (SoC), jak to pokazano na rysunku 1.52. Dodatkowo komputer pokładowy pojazdu podaje przybliżony czas trwania ładowania baterii do pełna.



Rys. 1.52. Wskaźnik ładowania Renault Zoe na tablicy wskaźników

Z bateriami naładowanymi do pełna (SoC=100 %) wyruszyliśmy w trasę z Lublina do Tomaszowa Lubelskiego. Według map Google jest to dystans wynoszący w obydwie strony 262 km. Warto zaznaczyć, że na pokładzie pojazdu podróżowały 3 dorosłe osoby a temperatura zewnętrzna wynosiła 0 °C. Dodatkowe obciążenie pojazdu oraz niska temperatura otoczenia negatywnie wpływają na zasięg pojazdu elektrycznego. Dodatkowo na jazdy testowe i promocyjne w Tomaszowie Lubelskim zostało przeznaczone 40 km. Spowodowa-

ło to sytuację, gdy w drodze powrotnej konieczne było doładowanie baterii pojazdu, by bez ryzyka całkowitego ich rozładowania wrócić do Lublina. Skorzystano z bezpłatnego punktu ładowania w Zamościu (rysunek 1.53). Podczas, gdy Zoe uzupełniał energię w bateriach pasażerowie udali się na zwiedzanie pięknej zamojskiej Starówki.



Rys. 1.53. Ładowanie Renault Zoe w Zamościu

Podsumowania przejazdu można dokonać na podstawie planu przejazdu oraz wskazań komputera pokładowego (patrz rysunek 1.54).

Komputer pokładowy	
Od	29-06-2000
Całkowita odległość	262.1 km
Średnia prędkość	54.0 km/h
Średnie zużycie	18.7 kWh/100 km
Łączne zużycie	49.0 kWh
←Zresetuj+	

Rys. 1.54. Podsumowanie trasy przejazdu Renault Zoe

Krótkie podsumowanie trasy wraz z obliczeniem kosztów energii elektrycznej przedstawiono w tabeli 1.1. Ładowanie pojazdu Renault Zoe można jeszcze zrealizować za darmo w wielu bezpłatnych punktach ładowania, jak ten opisany w Zamościu. Włodarze miast zachęcają w ten sposób do odwiedzenia miasta osoby posiadające pojazdy elektryczne. Niewiele też kosztuje ładowanie pojazdu z gniazdką prądu przemiennego jednofazowego 230 V lub przemiennego trójfazowego 400 V we własnym domu.

Tabela 1.1. Podsumowanie trasy przejazdu Renault Zoe

Renault Zoe 2019 z baterią 40 kWh
Liczba pasażerów: 3
Temperatura zewnętrzna: 0 °C
Dystans w obie strony: 262 km
Jazdy testowe w Tomaszowie: 40 km
Postój w Zamościu po ok. 180 km (27%-->93%): 1,5 h
Średnie zużycie energii/100km: 18,7kWh
Łączne zużycie energii: 49 kWh
Średnia cena za 1 kWh (taryfa G11) : 0,55 zł
Koszt przejechania 100 km: 10,30 zł
Łączny koszt przejazdu: 27 zł

Z przeprowadzonych badań wynika, że za pomocą pojazdu elektrycznego Renault Zoe można realizować przewóz osób i towarów nie tylko w warunkach miejskich ale także międzymiastowych. Jazda pojazdem elektrycznym jest wygodna i komfortowa i do tego bardzo ekonomiczna.

1.4.2. Sprzedaż Renault Zoe

Renault Zoe od chwili wprowadzenia do sprzedaży był jednym z najlepiej sprzedających się samochodów elektrycznych. Sprzedaż Renault Zoe w poszczególnych latach przedstawiała się następująco [20]:

- Do końca września 2013 firma Renault sprzedała 6600 z zakładanych 50 000 egzemplarzy
- W okresie październik 2013 do listopad 2014, sprzedaż wyniosła około 10 000 egzemplarzy, osiągając sumaryczny wynik 16 397 samochodów na koniec listopada 2014 i ma tendencję wzrostową.

- W 2014 roku Renault Zoe zostało drugim najlepiej sprzedającym się autem elektrycznym w Europie, z wynikiem 11 227 egzemplarzy (osiągając 20% udziału w rynku tych aut).
- W 2015 roku Renault Zoe zostało najlepiej sprzedającym się autem elektrycznym w Europie, z wynikiem 18 453 samochodów.
- Tytuł najlepiej sprzedającego się auta elektrycznego w Europie został obroniony w 2016 roku. W tym roku sprzedano łącznie 21 735 samochodów, co stanowi wzrost o 18%.
- W 2017 roku, trzeci raz z rzędu, Renault Zoe zostało najlepiej się sprzedającym autem elektrycznym w Europie. Łącznie sprzedano 31 410 tych samochodów, co stanowi wzrost o 45%.
- Rok 2018 zamknął się wzrostem sprzedaży o niespełna 23%. W Europie sprzedano łącznie 38 538 samochodów Renault Zoe, co pozwoliło na zajęcie drugiego miejsca w statystykach sprzedaży, tuż za nową generacją Nissana Leafa.
- W trakcie 2019 roku wprowadzono do sprzedaży drugą generację Renault Zoe, co poskutkowało wzrostem sprzedaży o kolejne 23%, do poziomu 47 408 egzemplarzy. Rezultat ten pozwolił Zoe na zajęcie drugiego miejsca w Europie, za nowym modelem Tesla 3.
- Rok 2020 był rokiem bardzo specyficznym ze względu na pandemię SARS-CoV-2. Jednak pomimo trudnych warunków w sprzedaży pojazdów z silnikami spalinowymi, rynek pojazdów elektrycznych był stosunkowo stabilny. Najlepiej sprzedającym się pojazdem w Europie była Tesla model 3. Renault Zoe odnotował prawie 100 % wzrost sprzedaży. Przedstawione wyniki są przybliżone ze względu na rozbieżność danych w źródłach i brak oficjalnych danych ze strony Renault.

Dane dotyczące sprzedaży Renault Zoe w poszczególnych latach i udziału w rynku europejskim przedstawiono w tabeli 1.2. Wyniki sprzedaży mówią same za siebie. Renault Zoe jest chętnie kupowanym pojazdem miejskim, posiadającym dobre właściwości jezdne oraz przyzwoity zasięg na jednym ładowaniu. Za pomocą pojazdu elektrycznego Renault Zoe można realizować przewóz osób i towarów nie tylko w warunkach miejskich ale także międzymiastowych. Jazda pojazdem elektrycznym jest wygodna i komfortowa i do tego bardzo ekonomiczna.

1. Budowa pojazdu elektrycznego Renault Zoe

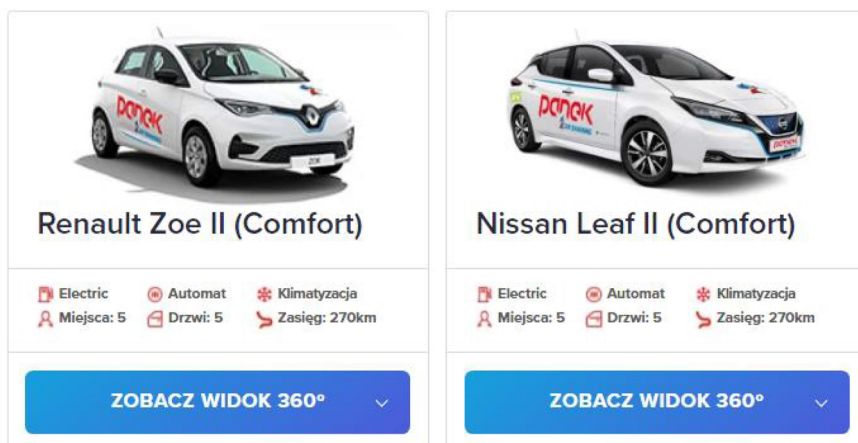
Tabela 1.2. Wyniki sprzedaży Renault Zoe [20]

Rok	Wysokość sprzedaży	Różnica	Udział	Miejsce na liście bestsellerów
2014	11 227		20%	2
2015	18 453			1
2016	21 735	18%	10%	1
2017	31 410	45%	10%	1
2018	38 538	23%	10%	2
2019	47 408	23%	8%	2
2020	ponad 84 000	Prawie 100%		2

2. Budowa pojazdu elektrycznego Nissan Leaf

2.1. Klient

Nissan Leaf był jednym z pierwszych pojazdów elektrycznych wprowadzonych na rynek. Klientem dla Nissana Leaf może być zarówno klient indywidualny, jak i instytucjonalny. Bardzo wiele tychże pojazdów jest wykorzystywanych przez firmy carsheringowe. Zatem nie trzeba od razu kupować Nissana Leaf by cieszyć się jazdą. Można wypożyczyć go na minuty. W wielu miastach w Polsce wypożyczenie Nissana oferuje największa firma carsheringowa w Polsce – Panek CarSharing (patrz rysunek 2.1). Należy zauważyć, że Nissana Leaf, wraz z opisanym w rozdziale pierwszym Renault Zoe, zaliczono do grupy pojazdów komfortowych. Wynika to zapewne z braku hałasu silnika, braku skrzyni biegów i dobrych osiągnięć pojazdu.



Rys. 2.1. Nissan Leaf w Panek CarSharing [29]

Cała idea car sharingu bazuje na prostej zasadzie: operator usługi udostępnia klientom kilkaset oznakowanych samochodów zaparkowanych w tzw. bazach lub w różnych częściach miasta. Auto można sobie zarezerwować i odebrać w bazie lub znaleźć je zaparkowane na ulicy. Do lokalizacji pojazdu potrzebna jest aplikacja na urządzenie mobilne.

Na koszt wynajmu zawsze składają się dwa podstawowe elementy: czas korzystania z samochodu oraz przejechany dystans. Kierowca nie musi natomiast płacić z własnej kieszeni za paliwo. To zapewnia operator usługi. Dodatkowa opłata jest naliczana za postój – dotyczy to tylko użytkowników, którzy zaparkują samochód, aby później do niego wrócić, np. po zrobieniu zakupów.

2.2. Potrzeba

Z założenia usługa car sharing została stworzona z myślą o osobach, które bardzo rzadko korzystają z samochodu, za to są stałymi klientami taksówek czy Ubera. Mieszkają w dużych miastach, nie mają własnego samochodu (bo nie opłaca im się go utrzymywać), ale od czasu do czasu potrzebują wygodnego środka transportu, by np. dojechać na spotkanie, zrobić zakupy czy zabrać znajomych na imprezę.

Operatorzy usługi podkreślają, że wynajem samochodu na minuty jest bardzo opłacalny w sytuacji, gdy alternatywą jest posiadanie własnego auta i pokonywanie nim krótkich dystansów. Rzekomo próg opłacalności wynosi 8 tysięcy kilometrów rocznie dla małego samochodu miejskiego i nawet 15 tysięcy kilometrów rocznie dla auta klasy średniej [30].

2.3. Rozwiązanie

2.3.1. Nissan Leaf I

W 2009 roku firma Nissan zaprezentowała własny samochód elektryczny pod nazwą Nissan Leaf, którego wygląd został przedstawiony na rysunku 2.2. Samochód wszedł do masowej produkcji już rok po debiucie. Na początku zakładano już, że liczba produkowanych sztuk w ciągu roku przekroczy 200 tysięcy, a nawet osiągnie granice

300 tysięcy. Tak się jednak nie stało, ale samochód i tak stał się jednym z najlepiej sprzedających się samochodów elektrycznych na świecie.



Rys. 2.2. Nissan Leaf I [32]

Popularność Nissana Leafa, wynikająca z jego dobrych osiągnięć, spowodowała, że bardzo często stawał się on pojazdem wybieranym na taksówki i do car sharingu. Widok Nissana Leaf w barwach lubelskiej taksówki przedstawiono na rysunku 2.3. Leaf w języku angielskim oznacza liść. To właśnie zielone listki są symbolem ekologii i bardzo często można je zauważyć w wystroju ekologicznych budynków i pojazdów. Pokazana na rysunku 2.3 taksówka również posiada zielony listek na drzwiach.



Rys. 2.3. Nissan Leaf jako lubelska taksówka

Pierwsza generacja była wyposażona w akumulatory litowo-jonowe o łącznej pojemności energii wynoszącej 24 kWh, co w dobrych warunkach drogowych pozwalało pokonać odległość do 220 kilometrów na jednym ładowaniu. Praktycznie średnia odległość wahała się w granicach około 110-120 kilometrów. Prędkość maksymalna przekraczała 140 km/h. Samochód można było naładować podłączając go za pomocą wtyczki Typ 1 do tradycyjnego gniazda elektrycznego jednofazowego o napięciu 230 V lub do stacji szybkiego ładowania prądem stałym za pomocą złącza Chademo.

Auta były wyposażone w zaawansowany system informatyczny, który jest w ciągłym kontakcie z centrum zarządzania Nissana. Dzięki tej technologii pokładowa nawigacja sama ocenia np. czy samochód jest w stanie dotrzeć do najbliższej stacji ładowania w okolicy. Urządzenie również analizuje czy samochód jest w stanie przebyć trasę na jednym ładowaniu lub w danym stanie naładowania akumulatorów. Aplikacja pozwala również programować godziny ładowania, oraz może informować użytkownika o stanie naładowania baterii wysyłając informację na smartfona.

Dodatkowo niektóre auta były wyposażane w różne systemy bezpieczeństwa jak: VSP (Vehicle Sound Pedestrians) – dźwiękowy system ostrzegawczy dla pieszych. System Leaf to Home umożliwia zaś zasilenie domu energią z akumulatorów pojazdu elektrycznego. Są to ewidentnie systemy mechatroniczne, wykorzystujące zarządzanie informacją i energią, realizowane przez zaawansowane systemy informatyczne.

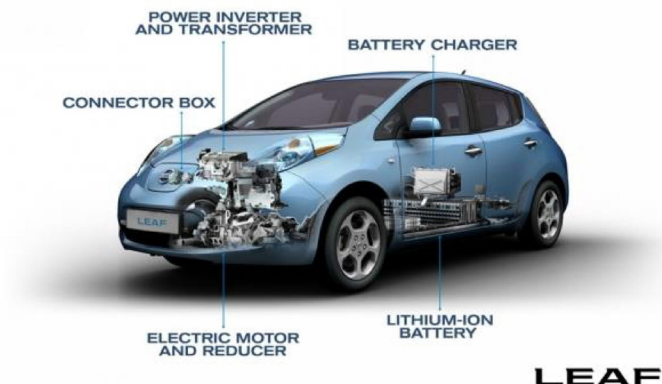
W 2013 roku Leaf przeszedł udoskonalenie. Powstały, w zależności od stopnia wyposażenia, trzy różne wersje Nissana Leafa (S, X, G). Mianowicie (S) – był wersją podstawową, a (G) – najdroższą. Masa pojazdu została zmniejszona, usprawniono system odzyskiwania energii hamowania, co pozytywnie wpłynęło na wydłużenie zasięgu o 14%. Wykorzystano również nowy silnik trakcyjny, który przy tej samej mocy generuje 10% większy moment obrotowy.

W 2016 roku Nissan wszedł na rynek również z pakietem baterii o pojemności energetycznej 30 kWh, co przełożyło się także na wydłużenie zasięgu. Jak reklamuje jeden z lubelskich dilerów Nissana miał on praktyczny zasięg wynoszący 250 km (rysunek 2.4).



Rys. 2.4. Nissan Leaf w Salonie Autoniss w Lublinie

Rozmieszczenie komponentów elektrycznego układu napędowego w Nissanie Leaf przedstawiono na rysunku 2.5. Silnik elektryczny wraz z reduktorem (electric motor and reducer) znajdują się w przedniej części pojazdu, w przedziale w którym zazwyczaj w tradycyjnych pojazdach znajduje się silnik spalinowy ze skrzynią biegów. Na silniku elektrycznym znajduje się przekształtnik mocy (power inwerter and transformer). Z przodu pojazdu znajduje się również gniazdo ładowania baterii (connector box). Pakiet baterii litowo-jonowych (lithium-ion battery) znajduje się pod podłogą pojazdu. Nad pakietem baterii z tyłu pojazdu znajduje się ładowarka pokładowa (battery charger). Na pierwszy widok Nissan Leaf niczym nie różni się od pojazdów zasilanych silnikami spalinowymi. Jednak wystarczy wsiąść do niego i zacząć jechać, aby przekonać się o wielu zaletach tego auta elektrycznego a można również bardzo szybko przekonać się o wyższości napędów elektrycznych nad spalinowymi. Świadczy o tym ankieta przeprowadzona przez Zap-Map wśród kierowców samochodów elektrycznych i hybryd plug-in. Wynika z niej, że zaledwie 1 % z nich chciałoby wrócić do samochodów spalinowych po poznanie aut elektrycznych. Tymczasem aż 91 % ankietowanych woli swojego elektryka lub PHEV-a i nie zamieniłoby go na nic innego. Grupa niezdeterminowanych stanowi 8 % [40].



Rys. 2.5. Nissan Leaf I – rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego [32]

2.3.2. Nissan Leaf II

Nissan we wrześniu 2017 roku zaprezentował drugą generację swojego samochodu elektrycznego Leaf. Jego wygląd został przedstawiony na rysunku 2.6.



Rys. 2.6. Nissan Leaf II [33]

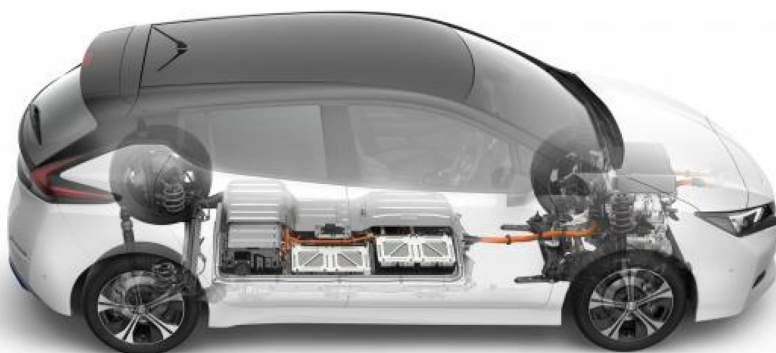
Auto jest gruntownie przeprojektowaną, drugą generacją modelu Nissan Leaf, oferowaną w latach 2010-2017. Nowy Nissan Leaf

zadebiutował we wrześniu 2017 r. i był oferowany w Japonii od października 2017 r., a w Europie i Ameryce Północnej od stycznia 2018 r. Docelowo auto miało być sprzedawane w ponad 60-ciu krajach na świecie. Zakładany cel sprzedażowy był 2-3-krotnie wyższy od Leafa pierwszej generacji.

Nissan Leaf II prezentuje się znacznie lepiej od poprzedniej generacji, pozostając przy tym praktycznym 5-cio miejscowym kompaktem. Początkowo Leaf II był oferowany z pakietem akumulatorów 40 kWh, który wystarczyć miał na około 250 km jazdy. W amerykańskich testach EPA podawano zasięg wynoszący 243 km. Według europejskich testów WLTP zasięg wynosił w cyklu mieszanym (przy raczej delikatnej jeździe) 285 km (koła 16-calowe) oraz 270 km (koła 17-calowe). Do napędu wykorzystano silnik o maksymalnej mocy 110 kW [33].

W Nissanie Leaf II wprowadzono asystenta jazdy ProPILOT oraz wprowadzono tryb jazdy e-Pedal, w którym obsługa pedału przyspieszenia wystarczy, aby w 90% sytuacji występujących na drodze przyspieszać, utrzymywać prędkość lub zwalniać bez użycia hamulca roboczego.

Rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego w Nissanie Leaf II przedstawiono na rysunku 2.7, zaś w tabeli 2.1 przedstawiono jego podstawowe dane techniczne.



Rys. 2.7. Nissan Leaf II – rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego [33]

Tabela 2.1. Podstawowe dane techniczne Nissana Leaf II

- Przyspieszenie: 0-100 km/h w 7,9 s
- Prędkość maksymalna: 144 km/h
- Zasięg na jednym ładowaniu: około 378 km (NEDC), około 243 km (EPA), około 285 km (WLTP, 16" koła), około 270 km (WLTP, 17" koła), około 400 km (JC08)
- Masa pojazdu: około 1535 kg
- Wymiary (długość, szerokość, wysokość): 4,480 m, 1,790 m, 1,535-1,545 m
- Objętość przestrzeni bagażowej: 435 l
- Współczynnik oporu powietrza Cd: 0,28

Nissan w swoich autoryzowanych punktach sprzedaży w Polsce prowadził w 2020 roku ciekawą kampanię promującą model Leaf. Otóż, poszczególne salony w Polsce gościły przecięty na pół rzeczywisty pojazd Nissan Leaf II. Autor książki skorzystał z tej okazji i odwiedził diler Nissana Odyssey w Lublinie na ul. Droga Męczenników Majdanka. Można było zrobić wtedy wiele interesujących zdjęć pokazujących jak dokładnie zbudowany jest ten pojazd elektryczny. Jedno z tych zdjęć przedstawiono na rysunku 2.8. Autor wykonał również film, który stanowi materiał dydaktyczny dla studentów. Taka kampania ma zaciekać potencjalnych klientów budową oraz zaletami pojazdów elektrycznych. Oczywiście zainteresowany klient może niemal od razu skorzystać z jazdy testowej, ale już kompletnym pojazdem Nissan Leaf. Wiedza techniczna o budowie pojazdów elektrycznych pomaga być świadomym kierowcą, który potrafi wykorzystać wszystkie ich zalety. Zatem bardzo zachęcam wszystkich czytelników do skorzystania z jazdy testowych pojazdem elektrycznym oferowanych przez salony sprzedaży wielu marek.



Rys. 2.8. Nissan Leaf II – przekrój rzeczywistego pojazdu

Nissan Leaf II jako pierwszy samochód został poddany testom zderzeniowym Euro NCAP w nowej, bardziej rozbudowanej i wymagającej formule 2018. Japońskie auto poradziło sobie świetnie, zdobywając maksymalną ocenę - czyli 5 gwiazdek. W kategorii bezpieczeństwa dorosłych Nissan Leaf otrzymał wynik 93%, a w przypadku dzieci 86% [33].



Rys. 2.9. Nissan Leaf II – test zderzeniowy [33]

2.3.3. Silniki elektryczne w Nissanie Leaf

Wygląd elektrycznego układu napędowego Nissana Leaf II przedstawiono na rysunku 2.10, zaś jego charakterystykę w tabeli 2.2.



Rys. 2.10. Nissan Leaf II – komponenty napędu elektrycznego [33]

Tabela 2.2. Charakterystyka napędu trakcyjnego Nissana Leaf

- Typ silnika: synchroniczny z magnesami trwałymi EM57
- Moc maksymalna: 110 kW (150 KM) w zakresie od 3283 do 9795 obr./min
- Maks. prędkość obrotowa silnika: 10 500 obr./min
- Maks. moment obrotowy: 320 Nm (dostępny od 0 do 3283 obr./min)
- Hamowanie odzyskowe: tak
- Przeniesienie napędu: stałe przełożenie 8,1938:1, brak sprzęgła
- Napęd: na przednią oś

Dane dotyczące konstrukcji przedstawione na rysunku 2.10 w postaci modeli 3D, zostały zweryfikowane na przekroju rzeczywistego pojazdu przedstawionego na rysunku 2.11. Faktycznie silnik elektryczny szczelnie wypełnia komorę silnika w przedniej części pojazdu. Od silnika elektrycznego do baterii trakcyjnej biegną przewody wysokiego napięcia w kolorze pomarańczowym. Z przekroju można dowiedzieć się, że mają one długość ok. 1 m. przekrój pojazdu zdradza osobom zainteresowanym bardzo wiele szczegółów o których nie rozpisują się media. Można poznać dokładną budowę układu chłodzenia silnika elektrycznego oraz od środka zobaczyć budowę zderzaka i innych komponentów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo czynne i bierne pojazdu.



Rys. 2.11. Nissan Leaf II – umieszczenie silnika elektrycznego

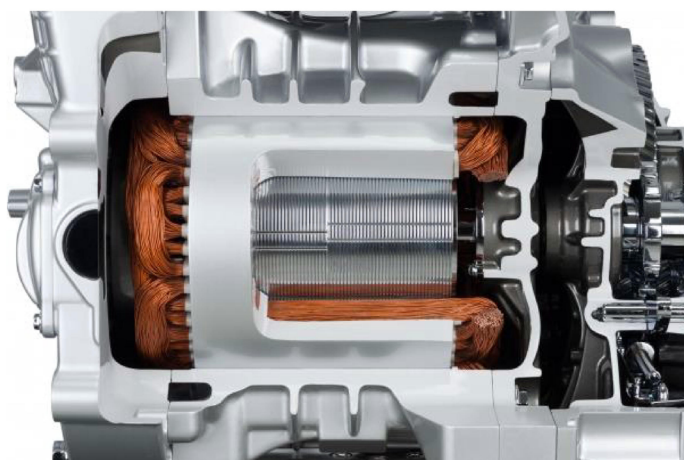
Silnik elektryczny Nissana Leaf II jest zintegrowany z reduktorem i falownikiem, jak to przedstawiono na rysunku 2.12.



Rys. 2.12. Nissan Leaf II – silnik elektryczny z reduktorem i falownikiem [33]

Jest to silnik synchroniczny z magnesami trwałymi mający oznakowanie EM57 (rysunek 2.13). Rozwija moc maksymalną wynoszącą 110 kW (150 KM) w zakresie od 3 283 do 9 795 obr./min. Maksymalna prędkość obrotowa silnika wynosi 10 500 obr./min. Maksy-

malny moment obrotowy wynoszący 320 Nm jest dostępny od 0 do 3 283 obr./min. Silnik posiada funkcję odzyskiwania energii hamowania. Na rysunku 2.13 wyraźnie widać małej średnicy wirnik silnika z magnesami trwałymi. Konstrukcja wirnika wykorzystująca magnesy trwałe pozwala na uzyskanie mniejszych wymiarów wirnika niż w przypadku wersji uzwojonej, stosowanej w silniku elektrycznym Renault Zoe. Ponadto wirnik z magnesami trwałymi nie posiada pierścieni dostarczających zasilanie elektryczne do wirnika. Magnesy trwałe, wytwarzają pole magnetyczne wirnika i nie jest w tym przypadku potrzebne żadne dodatkowe zasilanie. W związku z powyższym silniki z magnesami trwałymi mają mniejsze średnice i są krótsze od tych z uzwojonym wirnikiem.



Rys. 2.13. Nissan Leaf II – silnik elektryczny z reduktorem [33]

Ze względu na duże prędkości obrotowe silnika elektrycznego, potrzebny jest reduktor prędkości obrotowej, który posiada stałe przełożenie 8,1938:1. Układ napędowy nie posiada sprzęgła. Reduktor został przedstawiony na rysunku 2.14. Charakteryzuje się on prostą budową. W przypadku pojazdów elektrycznych skrzynia przekładniowa posiada tylko reduktor o stałym przełożeniu i mechanizm różnicowy. Nie potrzebne jest przełożenie odwracające kierunek obrotów. Bieg wsteczny w elektrycznych układach napędowych jest realizowany poprzez odwrócenie kolejności zasilania poszczególnych faz w silniku trójfazowym. W praktyce sterowanie takie sprowadza się to do wysłania po sieci CAN wartości prędkości z ujemnym znakiem.



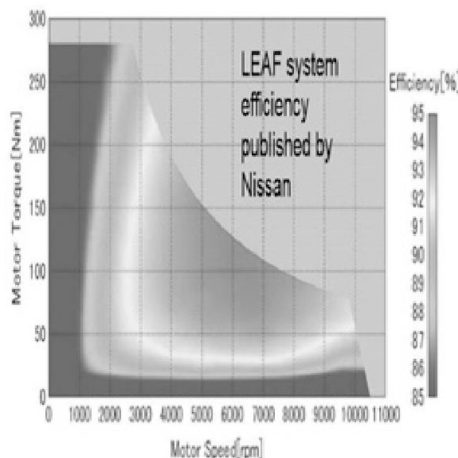
Rys. 2.14. Nissan Leaf II – silnik elektryczny z reduktorem [33]

W przypadku zarówno silnika elektrycznego stosowanego do napędu Nissana Leaf I jak i Nissana Leaf II Elektroniczna Jednostka Sterująca Mocą elektrycznego układu napędowego znajduje się nad silnikiem i jest z nim zintegrowana. Przekrój przez pokrywę tejże jednostki przedstawiono na rysunku 2.15. W skład jednostki wchodzi falownik, który jest przekształtnikiem energii oraz płytki sterujące kontrolera prędkości obrotowej silnika elektrycznego. Falownik przekształca prąd stały, pobierany z baterii litowo-jonowej, na trójfazowy prąd przemienny zasilający silnik elektryczny. Podczas hamowania z odzyskiem energii, silnik staje się generatorem energii i konieczne jest jego prostowanie, aby zasilać baterię. Kontroler silnika elektrycznego zarządza prędkością obrotową i momentem silnika elektrycznego w zależności od warunków jazdy. Zarówno falownik jak i kontroler mają postać płytek elektronicznych wykonanych w technologii SMD.



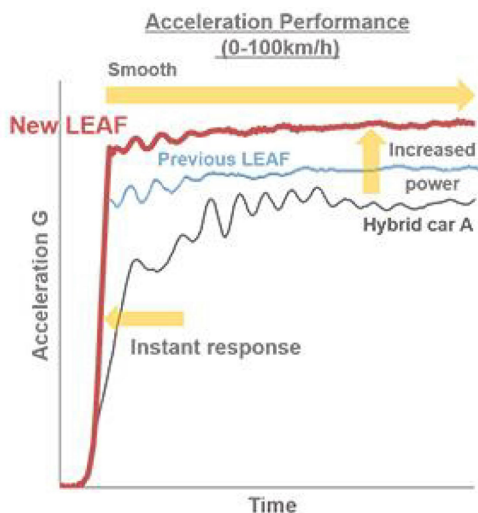
Rys. 2.15. Nissan Leaf II – płytka elektroniczna falownika [33]

Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi, jest w chwili obecnej najbardziej wydajnym silnikiem, charakteryzującym się najwyższą sprawnością. Jego sprawność wynosi od 85 do 95 %, jak wynika z wykresu przedstawionego na rysunku 2.16. W większości warunków obciążenia, potrzebnego do jazdy miejskiej i poza miejskiej, odbywa się ona ze sprawnością silnika wynoszącą ponad 90 %.



Rys. 2.16. Wykres sprawności silnika elektrycznego w Nissanie Leaf [15]

Nowa jednostka napędowa stosowana w Nisanie Leaf II została znacznie ulepszona w stosunku do poprzedniej. Na wykresie przyspieszenia pojazdu, przedstawionym na rysunku 2.17, wyraźnie widać większe przyspieszenie nowego Nissana Leaf (New LEAF) w stosunku do poprzedniej wersji (Previous LEAF). Wynika to z większej mocy jednostki napędowej (Increased power). Przyspieszenie jest płynne (Smooth) i stanowi natychmiastową odpowiedź (Instant response) na wciśnięcie pedału przyspiesznika przez kierowcę. Przykładowy pojazd hybrydowy (Hybrid car A) charakteryzuje się zarówno mniejszym przyspieszeniem jak i dłuższym czasem odpowiedzi na żądanie mocy przez kierowcę.



Rys. 2.17. Przyspieszenie pojazdu z różnymi jednostkami napędowymi [41]

2.3.4. Pakiety baterii elektrycznych w Nissanie Leaf

Na osiągi pojazdów elektrycznych wpływają nie tylko parametry silników elektrycznych ale także źródeł ich zasilania w postaci pakietów baterii trakcyjnych. Moduł baterii trakcyjnej stosowany w Nissanie Leaf przedstawiono na rysunku 2.18.



Rys. 2.18. Nissan Leaf II – moduł baterii trakcyjnej [33]

Napięcie pojedynczej pryzmatycznej celi ogniwa litowo-jonowego wynosi 3,65 V a jej pojemność 56,3 Ah. Jej waga wynosi 914 g. Dzięki temu uzyskano bardzo dobre wskaźniki objętościowe i masowe gromadzonej energii wynoszące odpowiednio 460 Wh/l i 224 Wh/kg. Napięcie nominalne pakietu baterii wynosi 350 V. Widok pakietu baterii trakcyjnej w Nissanie Leaf II przedstawiono na rysunku 2.19.



Rys. 2.19. Nissan Leaf II – pakiet baterii trakcyjnej [33]

Porównanie wybranych parametrów pakietu baterii w Nissanie Leaf I (2010) i Nissanie Leaf II (2018) przedstawiono w tabeli 2.3. Producentem obydwu pakietów jest firma AESC, będąca jedną z największych firm produkujących baterie dla pojazdów elektrycznych. Z informacji przedstawionych na oficjalnej stronie internetowej wynika, że w ciągu 9 lat działalności dostarczyła baterie do 480 000 pojazdów elektrycznych [42]. Nowe ogniwa wykonane w technologii NCM charakteryzują się niższym napięciem nominalnym, ale zdecydowanie większą pojemnością w stosunku do poprzedników wykonanych w technologii LMO. W wyniku tego energia właściwa ogniw w nowym pakiecie wzrosła o ponad 42 %, zaś gęstość energii ogniw o ponad 45 % przy niezmienionej liczbie ogniw wynoszącej 192 sztuki. Masa ogniw wzrosła ze 151 do 176 kg. Liczba ogniw nie uległa zmianie jednak zostały one pogrupowane w mniejszą liczbę modułów, zawierających większą liczbę pojedynczych ogniw. Stare moduły posiadały 4 ogniwa na moduł, nowe zaś 8 ogniw na moduł. Zarówno umowna jak i rzeczywista pojemność energetyczna pakietu baterii wzrosła o ponad 68 %. Przełożyło się to na zwiększenie zasięgu pojazdu na jednym ładowaniu o 80 %. Nissan Leaf I był w stanie przejechać w teście EPA tylko 135 km, zaś jego następca już 243 km.

Tabela 2.3. Nissan Leaf - akumulatory firmy AESC [38]

	Leaf I (2010)	Leaf II (2018)
Ogniwa:	32,5 Ah i 3,75 V (LMO)	56,3 Ah i 3,65 V (NCM 622)
Energia właściwa ogniw:	157 Wh/kg	224 Wh/kg (+42,7%)
Gęstość energii ogniw:	317 Wh/l	460 Wh/l (+45,1%)
Liczba ogniw:	192	192
Masa ogniw:	151 kg	176 kg
Liczba modułów:	48 (4 ogniw na moduł)	24 (8 ogniw na moduł)
Umowna pojemność pakietu:	24 kWh	40 kWh
Rzeczywista pojemność pakietu:	23,40 kWh	39,46 kWh (+68,6%)
Dostępna energia:	poniżej 22 kWh	poniżej 37 kWh (+68%)
Zasięg EPA:	135 km	243 km (+80%)

Najmocniejsza, jak i charakteryzująca się największym zasięgiem, wersja Nissana Leaf ma oznaczenie e+. Jej podstawowa charakterystyka została przedstawiona w tabeli 2.4.

Tabela 2.4. Parametry Nissana Leaf e+

- bateria: 62 kWh, w tym ~60 kWh pojemności użytecznej,
- moc: 160 kW / 217 KM,
- moment obrotowy: 340 Nm,
- zasięg realny: 346-364 km (WLTP = 385 km).

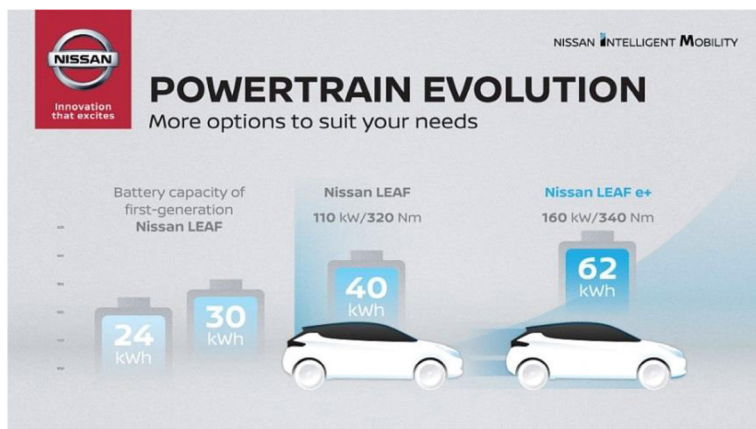
Porównanie parametrów oraz osiągnięć Nissana Leaf II w normalnej wersji oraz wersji e+ przedstawiono w tabeli 2.5. Parametry prezentowane w tabeli 2.4 i 2.5 pochodzą z różnych źródeł i odrobinę się od siebie różnią. Ich interpretacja wymaga pewnego usystematyzowania. Wersja e+ posiada silnik elektryczny o większej mocy. I jest to różnica o 50 kW, dzięki której uzyskano o 2 sekundy lepsze przyspieszenie od 0 do 100 km/h. Dostawcą baterii do wersji e+ jest firma LG Chem a ich pojemność energetyczna jest większą o 24 kWh i zapewnia zasięg 362 km w teście EPA. W tabeli 2.4 podano zaś wartość zasięgu w teście WLTP wynoszący 385 km. Z prezentowanych danych wynika, że zasięg mierzony w teście EPA jest bardziej zbliżony do zasięgu realnego (z tabeli 2.4). Moc ładowarki pokładowej w normalnej wersji Nissana Leaf II wynosi tylko 6,6 kW. Wersja e+ może zostać wyposażona w ładowarkę pokładową o mocy 11 lub

22 kW. Dzięki temu może być dużo szybciej naładowana w warunkach domowych lub z publicznych słupków ładowania prądem pręmiennym. Wersja e+ może być również ładowana dużo większą mocą za pomocą szybkich ładowarek prądu stałego. W przypadku wersji normalnej jest to moc wynosząca 50 kW, zaś w przypadku wersji e+ jest to moc dwukrotnie większa wynosząca 100 kW. Wynika to z faktu, że pakiet baterii produkowanych przez LG Chem posiada System Zarządzania Termicznego (Thermal Management System). Oznacza to, że pakiet baterii może być po prostu chłodzony podczas szybkiego ładowania z dużą mocą. Ładowarki o mocy 100 kW i większych coraz częściej pojawiają się w Europie i w Polsce. Można powiedzieć, że Nissan Leaf II w wersji e+ stał się pojazdem o zasięgu międzymiastowym. Normalna wersja Nissana Leaf II, ze względu na wielkość pakietu baterii i szybkość ładowania, pozostaje jednak dalej pojazdem miejskim.

Tabela 2.5. Porównanie osiągnięć i parametrów Nissana Leaf w normalnej wersji i e+ [34]

Nissan Leaf II generacja		
	Wersja normalna	Wersja e+
Moc silnika elektrycznego (kW)	110	160
Przyspieszenie (0-100 km/h)	~ 8,5	~ 6,5
Pojemność baterii (kWh)	40	64
Producent baterii	AESC	LG Chem
Zasięg EPA (km)	241	362
Moc ładowarki pokładowej (kW)	6,6	11- 22
Moc szybkiego ładowania DC (kW)	50	100
System Zarządzania Termicznego	nie	tak
Cena (€)	< 30 000	~ 35 000

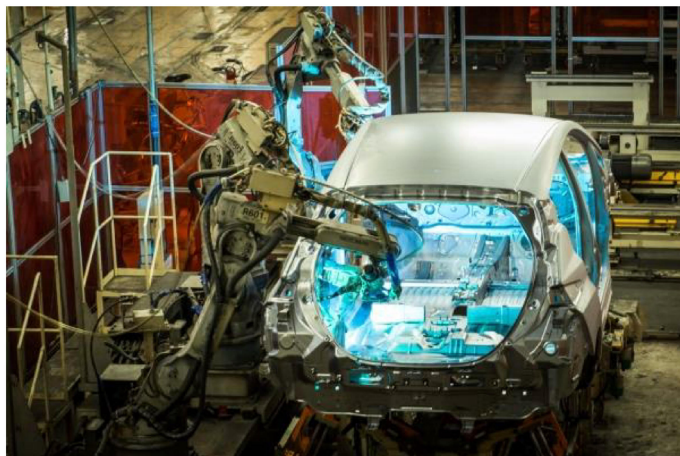
Osiągi oraz zasięg Nissana Leaf z różnymi pakietami baterii trakcyjnych przedstawiono za pomocą infografiki na rysunku 2.20.



Rys. 2.20. Ewolucja baterii trakcyjnych w Nissanie Leaf [35]

2.3.5. Produkcja Nissana Leaf

Nissan Leaf II od roku 2018 jest produkowany w Sunderland w Wielkiej Brytanii. Podobnie jak opisanego w rozdziale pierwszym Renault Zoe nadwozie Nissana Leaf jest produkowane w tradycyjnej technologii obejmujące tłoczenie i zgrzewanie stalowych blach. Zostało to przedstawione na rysunku 2.21. Oprócz nowego Nissana Leaf zakłady w Sunderland produkują także, zajmujące czołowe pozycje w segmencie crossoverów, modele Qashqai i Juke oraz Q30 i QX30 marki Infiniti. W 2016 roku zakłady obchodziły jubileusz 30-lecia, a w 2017 roku łączna produkcja przekroczyła próg 9 milionów pojazdów, utrwalając pozycję Sunderland jako największej fabryki samochodów w motoryzacyjnej historii Wielkiej Brytanii.



Rys. 2.21. Nissan Leaf II – zgrzewanie nadwozia

2.3.6. Ładowanie pojazdu Nissan Leaf

Pierwsza generacja Nissana Leaf posiadała dwa gniazda do ładowania baterii trakcyjnych, których widok przedstawiono na rysunku 2.22. Doświadczona osoba od razu zidentyfikuje gniazdo szybkiego ładowania Chademo (po lewej) i gniazdo Typ 1 (po prawej) do wolnego ładowania prądem jednofazowym 230 V. Typ 1 jest najczęściej używany w Ameryce Północnej.



Rys. 2.22. Nissan Leaf I – gniazda ładowania

Autor case study już od kilku lat testuje i promuje pojazdy elektryczne. Postanowił zatem sprawdzić zasięg Nissana Leaf. Obiektem badań był Nissan Leaf z 2017 roku z baterią o pojemności 30 kWh. Pożyczony został od diler marki Nissan – Autoniss w Lublinie na ulicy Droga Męczenników Majdanka. Badany pojazd został przedstawiony na rysunku 2.23.



Rys. 2.23. Nissan Leaf model 2017

Diler chwali się, że pojazd na jednym ładowaniu potrafi przejechać do 250 km (patrz rysunek 2.24). Postanowiono to sprawdzić. Badania drogowe potwierdziły deklarowany przez producenta zasięg. Pojazd bez problemu objechał mierzącą ponad 200 km trasę Lublin – Zamość – Lublin.



Rys. 2.24. Nissan Leaf model 2017

Dużym problemem jest samo rozliczenie poboru energii elektrycznej (ilość, cena oraz sposób zapłaty) pobieranej przez pojazdy elektryczne. Można do tego wykorzystać ogólnie dostępny watomierz z kalkulatorem energii dostępny w większości marketów budowlanych w cenie ok. 50 PLN (rysunek 2.25 i 2.26). Urządzenie przeznaczone jest do pomiaru napięcia, natężenia oraz obciążenia prądu elektrycznego podłączonego urządzenia. Mierzy koszt zużytej energii (2 indywidualne taryfy). Duży wyświetlacz LCD zapewnia łatwą obsługę oraz czytelny i przejrzysty pomiar.



Rys. 2.25. Watomierz z kalkulatorem energii – widok z przodu



Rys. 2.26. Watomierz z kalkulatorem energii – widok z tyłu

PARAMETRY TECHNICZNE:

- zasilanie: 230V AC
- częstotliwość: 50 Hz
- maksymalny prąd: 16A
- maksymalna moc: 3680W
- dokładność: $\pm 2\%$
- zakres pomiarowy: 1~3680W
- napięcie robocze: 175V AC - 276V AC
- częstotliwość napięcia: 45-65 Hz
- prąd roboczy: $\leq 16A$
- temperatura pracy: 0~50 °C
- wymiary: 75 x 147 x 75 mm (szer./wys./gł.)
- waga: 0,2 kg

Wyświetlacz LCD urządzenia pokazuje:

- aktualny czas,
- napięcie prądu,
- natężenie prądu,
- współczynnik mocy,
- częstotliwość
- maksymalne obciążenie prądu i ostrzeżenie o przeciążeniu
- cenę za kWh

Autor korzystał także z informacji w zaawansowanym menu komputera pokładowego pojazdu Nissan Leaf i Renault Twizy oraz bezpłatnych software do komunikacji z pojazdami.

Po przejechaniu 186,6 km komputer pokładowy pojazdu wskazał rezerwę w stanie naładowania baterii trakcyjnych pojazdu (rysunek 2.27).



Rys. 2.27. Niski stan naładowania baterii na tablicy wskaźników

Trzeba było jak najszybciej znaleźć punkt ładowania dla pojazdu elektrycznego. Najbliżej znajdował się carport fotowoltaiczny przy budynku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego. Carport nie był wykorzystywany do ładowania innego pojazdu więc pojazd został zaparkowany pod carportem celem ładowania baterii (rysunek 2.28).



Rys. 2.28. Podłączenie pojazdu do carportu fotowoltaicznego

W bagażniku pojazdu zlokalizowano przewód do wolnego ładowania pojazdu z gniazdka 230 V (rysunek 2.29). Z drugiej strony przewód ma wtyczkę Typu 1, która jest używana przez ładowarkę pokładową Nissana Leaf (rysunek 2.30 i 2.31).



Rys. 2.29. Przewód do wolnego ładowania



Rys. 2.30. Podłączenie pojazdu do carportu fotowoltaicznego



Rys. 2.31. Podłączenie wtyczki Typ 1 do pojazdu

Podłączenie przewodu ładowania do carportu przedstawiono na rysunku 2.32. Diody na przewodzie na początku wskazały READY, a po rozpoczęciu ładowania POWER (rysunek 2.33).



Rys. 2.32. Podłączenie przewodu do carportu



Rys. 2.33. Przewód ładujący Nissana

Ładowarka o mocy 3 kW potrzebuje 15 godzin i 30 minut do pełnego naładowania baterii (rysunek 2.34). Jest to tak zwane ładowanie wolne z wykorzystaniem ładowarki pokładowej pojazdu. Możliwa jest też opcja ładowania z mocą 6 kW, ale za pomocą ładowarki naściennej tzw. wall boxa. Podwojenie mocy ładowania pozwala na około dwukrotne skrócenie czasu ładowania. Ładowanie z mocą 3kW jest możliwe do pełnego naładowania baterii przez całą noc lub podczas weekendu. Moc 6 kW pozwala na pełne naładowanie baterii podczas normalnego 8-mio godzinnego dnia pracy. Dla tych, którzy potrzebują krótszych czasów ładowania, pozostają szybkie ładowarki zlokalizowane na stacjach tankowania, przy autostradach lub w centrach handlowych.



Rys. 2.34. Czas pełnego ładowania pojazdu

Po naładowaniu do pełna pojazd automatycznie rozłącza dopływ energii i sygnalizuje 100% naładowania baterii. Komputer pokładowy pokazuje, że możliwe jest przejechanie 228 km (rysunek 2.35). Oczywiście ta wartość będzie uzależniona od dynamiki jazdy i od odzysku energii hamowania.



Rys. 2.35. Zasięg pojazdu na pełnym ładowaniu

Pierwsza ogólnopolska sieć szybkiego ładowania samochodów elektrycznych ruszyła 06.12.2016 roku. W Warszawskiej galerii Mokotów dokonano naładowania pojazdu elektrycznego ze stacji szybkiego ładowania firmy Greenway, a dokonali tego współzałożyciel firmy Peter Badik oraz wiceminister energetyki Michał Kurtyka. To zdarzenie zapoczątkowało realizację projektu z wsparciem finansowym ze środków unijnych, mającego na celu tworzenie stacji szybkiego i bardzo szybkiego ładowania przy głównych arteriach drogowych i dużych centrach handlowych w Polsce. Przedsięwzięcie to jest pierwszym projektem rozwoju elektromobilności w Polsce i przewiduje, że w przeciągu dwóch lat przy głównych autostradach na odcinkach mniej więcej co 85-100km od siebie, będzie znajdować się jedna stacja szybkiego ładowania firmy Greenway.

Tak samo jak to zrobiono w przypadku wolnego ładowania baterii, postanowiono dokładnie przebadać i opisać proces szybkiego ładowania pojazdu Nissan Leaf prądem stałym. Obiektem badań był Nissan Leaf z 2016 roku z baterią 30 kWh (rysunek 2.36) i złączem ładowania Chademo (rysunek 2.37).



Rys. 2.36. Nissan Leaf 2016



Rys. 2.37. Złącze Chademo w Nissanie

Została użyta szybka ładowarka o mocy 50 kW z wtyczką Chademo, należąca do sieci Greenway (rysunek 2.38).



Rys. 2.38. Ładowarka sieci Greenway na parkingu podziemnym Artium Felicity w Lublinie

Ładowarka, znajduje się na parkingu galerii Artium Felicity w Lublinie i umożliwia ładowanie samochodów standardem: CHAdeMO (Charge-De-Move), CCS (Combined-Charging-System) oraz AC Typ-2 (rysunek 2.39).



Rys. 2.39. Panel ładowarki Greenway (wybór trybu ładowania)

Jednocześnie mogą być ładowane trzy pojazdy. Port CHAdeMO oraz CCS pozwalają na ładowanie prądem stałym (DC) o mocy do 50kW, zaś AC Typ-2 prądem przemiennym (AC) o mocy do 43kW.

Punkt ładowania dostępny jest przez 24 godziny, 7 dni w tygodniu oraz do marca 2018 roku był całkowicie bezpłatny. Aby móc skorzystać z sieci ładowarek firmy Greenway należy zarejestrować się na stronie internetowej producenta po czym drogą pocztową otrzymuje się kartę RFID, dzięki której będzie możliwa autoryzacja oraz uruchomienie stacji ładowania (rysunek 2.40).



Rys. 2.40. Widok panelu sterującego ładowarki Greenway

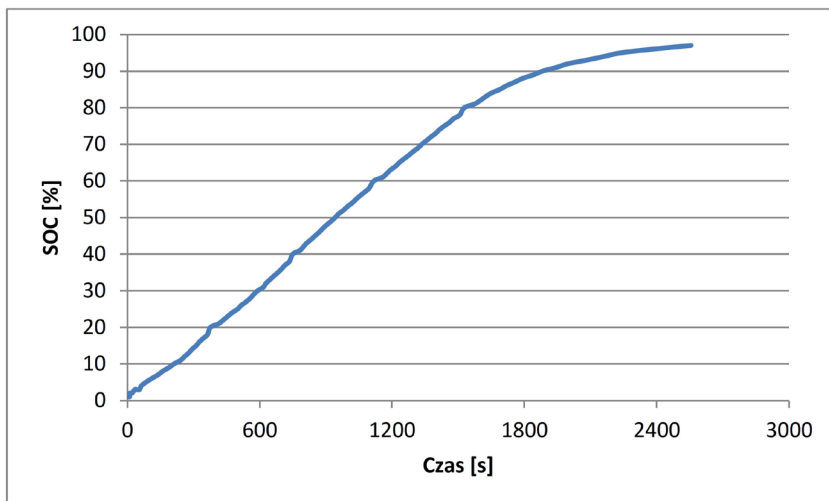
Po wybraniu typu wtyki oraz jej podłączeniu do gniazda pojazdu przykładamy kartę RFID Greenway do panelu ładowarki. Bez autoryzacji ładowarka nie rozpocznie cyklu ładowania. Po odczytaniu karty na panelu wyświetlają się wskazówki, których należy przestrzegać. Na panelu pojawił się rodzaj wybranej wtyki (w naszym przypadku jest to DC CHAdeMO), w środkowej części wyświetlacza można zobaczyć ikonę przypominającą ogniwo baterii cylindrycznej, na której można obserwować stopień naładowania baterii podany w %, co przedstawiono na rysunku 2.41. Poniżej wyświetlone są trzy informacje. Kolejno od lewej: informacja o przybliżonym czasie ładowania (do 100% pojemności baterii), informacja ta nie jest stała w trakcie cyklu ładowania, jest na bieżąco aktualizowana. W środku znajduje się informacja o ilości pobranej energii podczas ładowania podanej w (kWh), a na końcu jest informacja o mocy ładowania baterii podana

w (kW). Na samym dole wyświetlacza znajdują się trzy tryby funkcji do wyboru, kolejno od lewej: menu, zatrzymanie cyklu ładowania oraz wybór języka.



Rys. 2.41. Panel ładowarki Greenway (początek ładowania).

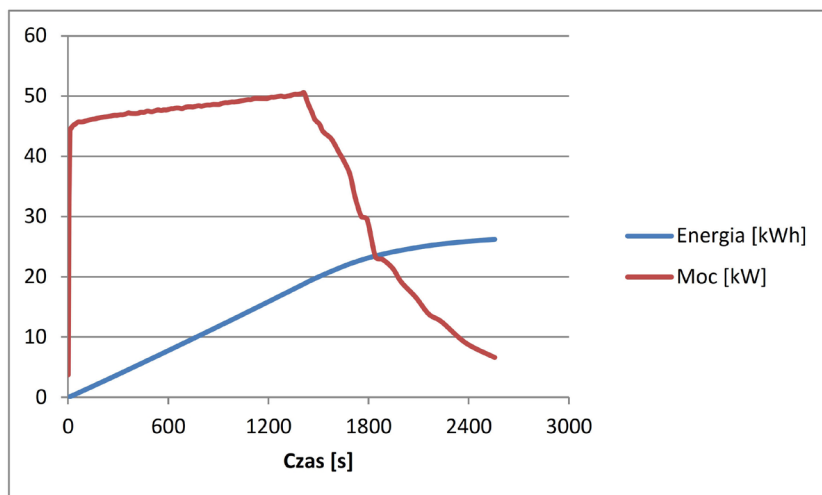
Przebieg cyklu ładowania przedstawiono na wykresach (rysunek 2.42 i rysunek 2.43).



Rys. 2.42. Przebieg cyklu ładowania - funkcja energii

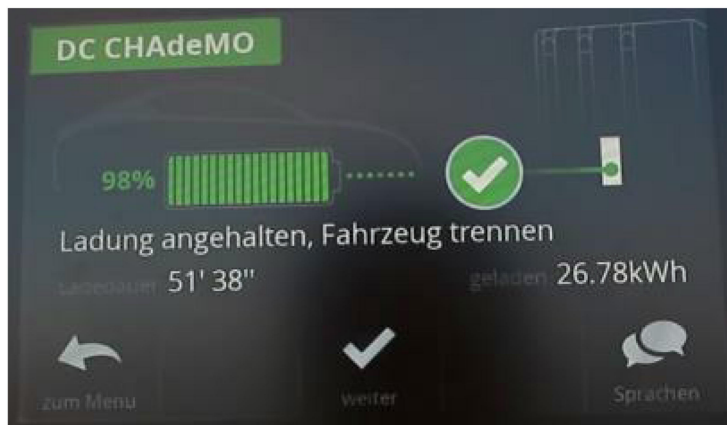
Wykres na rysunku 2.42 przedstawia przebieg ładowania od poziomu bliskiego 0 do poziomu około 90% naładowania baterii. W przybliżeniu jest to liniowy wzrost stopnia naładowania baterii (SOC) w czasie. Czas w jakim wartość energii baterii osiągnęła 90 % wyniósł około 30 minut (na wykresie 1800 s.). W tym momencie przebieg pobieranej mocy zmienia się i prędkość ładowania gwałtownie zwalnia. Na tym etapie ładowania mamy do czynienia z tzw. trybem dopełniania baterii. Mieści się to w przedziale czasowym około od 1800 – 3000 sekund. W analizowanym przypadku w czasie ok. 3000 s. ładowarka pokazuje stan naładowania baterii wynoszący 98% oraz pobraną energię w ilości 26,78 kWh.

Na wykresie na rysunku 2.43 można idealnie zaobserwować jak ładowarka kontroluje moc ładowania w trakcie całego cyklu oraz zwiększający się stopień naładowania baterii. W początkowej fazie stacja generuje prawie maksymalną moc wynoszącą ponad 40 kW i co za tym idzie duży prąd ładowania. Następnie liniowo zwiększa moc do 50 kW. Tak wysokim prądem ładuje przez około 20 min (1300 s.). W tym momencie widoczny jest gwałtowny spadek mocy oraz prądu ładowania. W trakcie dopełniania baterii, ładowarka liniowo obniża moc dążąc do wartości równiej 0 W. W momencie, gdy ładowarka pokazuje stopień naładowania baterii na poziomie 98 % moc ładowania wynosi około 7 kW i cały czas maleje.



Rys. 2.43. Przebieg cyklu ładowania – funkcje energii oraz mocy

Aby zakończyć tryb ładowania ponownie należy wczytać kartę RFID Greenway, odłączyć wtyczkę CHAdeMO i odwiesić ją do stacji ładowania (rysunek 2.44). Samochód jest w pełni naładowany i zdolny do dalszej jazdy przez kolejne 250 km.



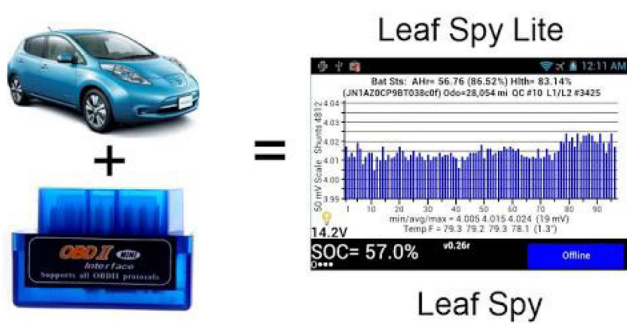
Rys. 2.44. Panel ładowarki Greenway (koniec ładowania)

2.3.7. Aplikacja Leaf Spy

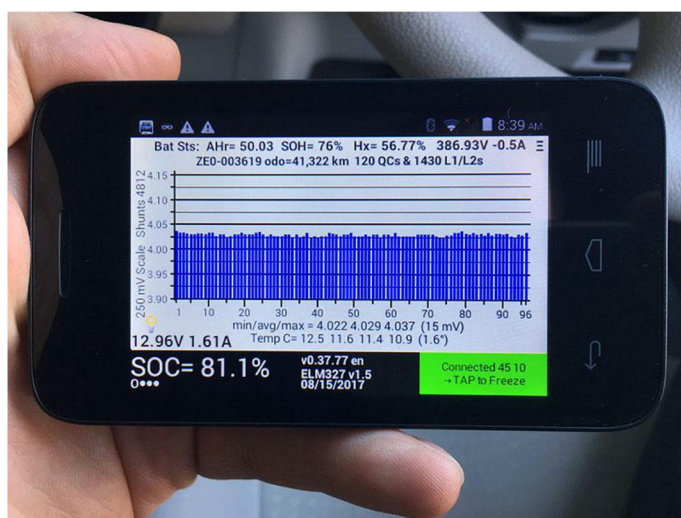
Pojazd elektryczny w XXI wieku jest urządzeniem Internetu Rzeczy (z ang. Internet of Things). Jest to koncepcja, wedle której jednoznacznie identyfikowalne przedmioty mogą bezpośrednio albo pośrednio gromadzić, przetwarzać lub wymieniać dane za pośrednictwem instalacji elektrycznej inteligentnej KNX lub sieci komputerowej [45].

Przemysł motoryzacyjny przestał być postrzegany jako konwencjonalny, a to za sprawą Internetu Rzeczy, który wspiera producentów motoryzacyjnych w cyfrowej transformacji. I to stwierdzenie potwierdza raport przeprowadzony przez firmę Gartner. Według niego przemysł samochodowy oparty na rozwiązaniach Internet of Things (IoT) rozwija się w zastraszającym tempie [44]. Branża motoryzacyjna oraz jej klienci oczekują, że samochody staną się mobilnymi smartfonami, które przy zastosowaniu Internetu Rzeczy będą zdolne łączyć się zarówno z innymi systemami, aplikacjami i urządzeniami jak i ze sobą nawzajem. To jak ogromny wpływ na przemysł samochodowy ma IoT dowodzi chociażby fakt, że w 2020 roku ponad 250 milionów pojazdów posiadało już funkcje zaawansowanej łączności [44].

Aby Nissan Leaf stał się urządzeniem Internetu Rzeczy należy zakupić moduł komunikacyjny ELM 327 oraz zainstalować na urządzeniu mobilnym aplikację Leaf Spy, jak to przedstawiono na rysunku 2.45. Interfejs ELM 327 komunikuje się za pomocą gniazda OBD w pojeździe z systemem diagnostyki pokładowej pojazdu elektrycznego. Pozyskane parametry pracy pojazdu i elektrycznego układu napędowego przesyła do aplikacji na urządzeniu mobilnym za pomocą transmisji bezprzewodowej Bluetooth. Za pomocą aplikacji parametry te mogą być wyświetlane oraz przetwarzane, jak to przedstawiono na rysunku 2.46.



Rys. 2.45. Idea działania aplikacji Leaf Spy

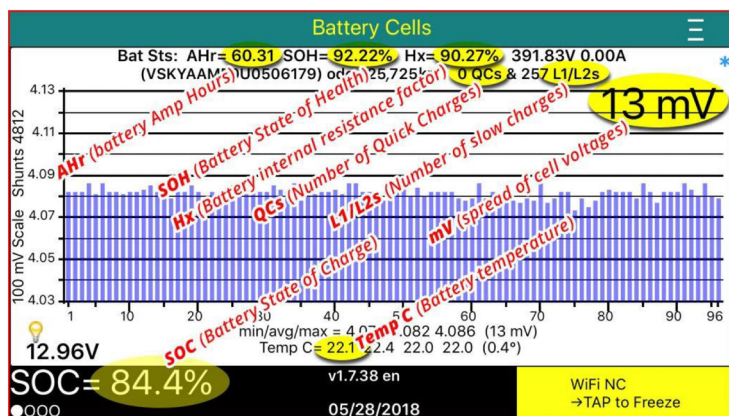


Rys. 2.46. Okno aplikacji Leaf Spy Pro na urządzeniu mobilnym [36]

Dzięki aplikacji Leaf Spy właściciel pojazdu może śledzić w czasie rzeczywistym parametry pracy własnego pojazdu. Ponadto ma dostęp do wielu parametrów określających aktualny stan baterii trakcyjnych. Mnogość tych parametrów została przedstawiona i opisana na rysunku 2.47 i do najważniejszych należą:

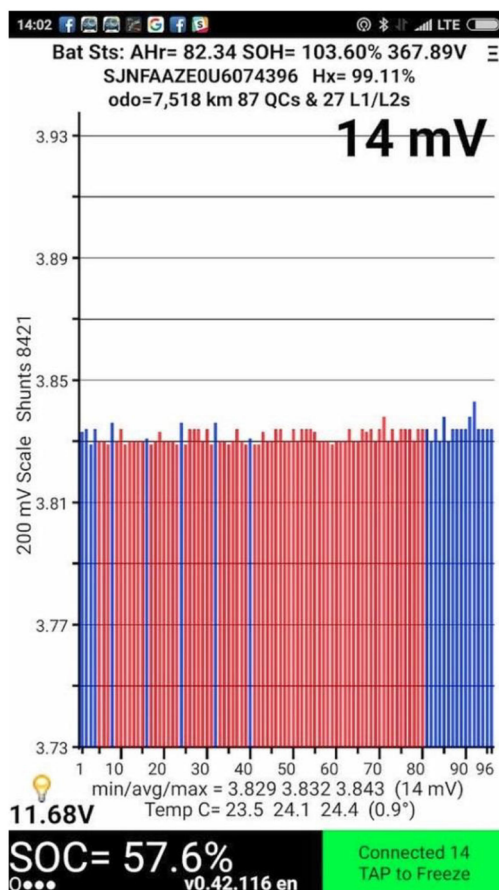
- SOC (State of Charge) – stan naładowania baterii,
- AHr (battery Amp hours) – pojemność baterii,
- SOH (Battery State of Health) – stan zdrowia baterii,
- Hx (Battery internal resistance factor) – wskaźnik wewnętrznej rezystancji baterii,
- QCs (number of quick charges) – liczba szybkich ładowań,
- L1/L2s (number of slow charges) – liczba wolnych ładowań,
- mV (spread of cell voltages) – rozrzut napięć ogniw,
- Temp C (battery temperature) – temperaturę baterii.

Pojawia się pytanie: jak określić faktyczny stan pakietu baterii litowo-jonowych? Trzeba w tym celu przeprowadzić test podczas którego mierzymy wartość napięcia każdego bloku baterii. Blok zachowujący się inaczej od innych, może wskazywać na zdegradowany element, który wpływa negatywnie na osiągi całego systemu. Duży rozrzut napięć poszczególnych cel w module, lub modułów w pakiecie, oznacza konieczność przeprowadzenia balansowania napięcia w baterii. Jeśli po tym zabiegu nie dochodzi do wyrównania napięć (rozrzut jest minimalny) wówczas oznacza to trwałą utratę pojemności przez daną celę lub cały moduł.



Rys. 2.47. Monitoring stanu baterii w aplikacji Leaf Spy Pro [36]

Jak praktycznie posługiwać się aplikacją Leaf Spy zostanie przedstawione na przykładzie. Aplikację Leaf Spy wykorzystano do podłączenia się do Nissana Leaf, który jeździ w Vozilli, czyli usłudze car sharingu we Wrocławiu. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że przebiegi i liczne szybkie ładowania wcale nie muszą spowodować szybkiej degradacji baterii trakcyjnej w pojeździe. Co można wyczytać z parametrów pojazdu odczytanych za pomocą aplikacji Leaf Spy i przedstawionych na rysunku 2.48? Wewnętrzna rezystancja baterii (Hx) jest bliska SOH i wynosi niemal 100 procent (dokładnie 99,11 %). To oznacza, że bateria samochodu jest w bardzo dobrej kondycji.



Rys. 2.48. Monitoring stanu baterii w aplikacji Leaf Spy Pro [37]

Oprócz tego ze zrzutu ekranu można wyczytać, że całkowita pojemność baterii wynosi 82,34 Amperogodzin („Ahr”, poprawnie powinno być zapisane „Ah”) oraz że samochód był ładowany 87 razy z użyciem gniazda Chademo i 27 razy z użyciem wolniejszego ładowania (gniazdko/EVSE/słupki). Liczba na dole (SOC) pokazuje, że bateria naładowana jest w 57,6 %.

2.4. Rezultaty

Nissan Leaf jest autem dopasowanym do potrzeb car sharingu. Zapewnia bardzo duży komfort jazdy i jest także bardzo 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 firm doradczą PwC.

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 car-sharingowe może zastąpić od 7 do 11 prywatnych samochodów, co wynika z faktu, że samochód prywatny jest średnio użytkowany przez godzinę dziennie, zaś pojazd w systemie car sharingu nawet do 10 godzin. W wielu mia-

stach 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 Nissana Leaf i firmy car sharingowej Panek można zauważyć, że innowacyjne produkty i usługi mogą iść w parze.

3. Budowa pojazdów elektrycznych dostawczych

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.

Pojawia się jedynie pytanie: Czy opłaca się zakupić auto elektryczne na firmę? Gdy ktoś ma zamiar kupić pojazd, szczególnie kiedy mówimy o osobach prywatnych, skupia się głównie na kosztach zakupu. Gdybyśmy w ten sposób myśleli o pojazdach elektrycznych, szczególnie o elektrycznych pojazdach użytkowych, to zawsze dochodzilibyśmy do wniosku, że to nam się nie opłaca. Błąd polega na tym, że mało osób zastanawia się nad tym, co przez cały czas posiadania i użytkowania tego samochodu będzie stanowiło nasze wydatki, a analiza późniejszych kosztów zazwyczaj jest bardzo uproszczona. Dopiero podejście TCO (z ang. Total Cost of Ownership) pozwala faktycznie sprawdzić, ile zapłacimy i za co. Płacimy za ubezpieczenie, za koszty serwisu, czy to pierwsze przeglądy w ASO, czy przeglądy techniczne w stacji kontroli pojazdów, płacimy za ewentualne naprawy, ale uwzględniamy także to, jak zmienia się wartość pieniądza oraz ile jesteśmy w stanie odzyskać, sprzedając ten pojazd. Dopiero uwzględniając wszystkie te składowe koszty, jesteśmy w stanie dokonać kalkulacji o rzeczywistej opłacalności. Bardzo korzystne może być także przeprowadzenie pilotażu w postaci testowania danego auta w warunkach rzeczywistych, jakie mają miejsce w danej firmie. Żeby oszacować koszty energii potrzebne dla pojazdu dostawczego, trzeba wiedzieć, jaki dystans dziennie przejeżdżają pracownicy

w rzeczywistej firmie. Mamy zatem do czynienia z połączeniem narzędzi matematycznych z tym, co trzeba zmierzyć lub zbadać, żeby do tego narzędzia dostarczyć dane ilościowe. Oczywiście takim narzędziem może być posiadany przez prawie wszystkich arkusz kalkulacyjny Microsoft Excell.

Właściciele firm powinni właściwie mówić nie o okresie zwrotu, ale o momencie, w którym koszty posiadania pojazdu elektrycznego zrównają się z kosztami posiadania samochodu z silnikiem spalinowym. Za energię elektryczną można płacić dużo mniej niż za paliwo, dlatego krzywe całkowitych kosztów posiadania, się do siebie zbliżają.

Przede wszystkim duże znaczenie ma niska cena prądu w porównaniu do cen benzyny czy oleju napędowego. Koszt przejechania 100 km samochodem elektrycznym to wartość nieosiągalna dla auta spalinowego. Cena 1 kWh to zazwyczaj koszt od 0,3 do 1,0 zł w zależności od wybranej taryfy. Druga korzyść to na pewno dużo niższe koszty serwisowania. W pojeździe elektrycznym nie ma konieczności wymiany oleju silnikowego. Silnik elektryczny jest prostszy, więc elementów, które mogą ulec uszkodzeniu jest również mniej. Krótszy czas trwania akcji serwisowych znacząco wpływa na wydłużenie czasu pracy samochodu w firmie. Dzięki temu ilość przestojów jest dużo mniejsza, a realizacja zleceń większa.

Dodatkowo niektóre marki, takie jak Volkswagen Samochody Użytkowe, zapewniają swoim klientom, bardzo duży pakiet korzyści oferowanych przy zakupie auta elektrycznego. Zaliczają się do nich 4 lata gwarancji na samochód, 4 lata przeglądów w niższej cenie oraz 8 lat gwarancji na baterię. Warto też dodać, że z samochodami elektrycznymi wiąże się szereg korzyści oferowanych przez państwo. W Polsce jest aktywnych kilka programów wsparcia, których celem jest dofinansowanie zakupu pojazdów elektrycznych. O takie dedykowane dofinansowania mogą się ubiegać osoby fizyczne, przedsiębiorcy a nawet wybrane grupy zawodowe jak taksówkarze. Oczywiście konkursy nie mają charakteru ciągłego, dlatego osoby zainteresowane powinny śledzić informacje o dacie otwarcia i zamknięcia naboru wniosków. Wartość takiego dofinansowania znacząco wpłynie na obniżenie ceny samochodu elektrycznego. Poza tymi obiektywnymi korzyściami, istnieje też szereg innych zalet dla klienta. Jazda samochodem dostawczym w wersji elektrycznej to

naprawdę niesamowite wrażenie. Trzeba bowiem pamiętać, że samochód dostawczy to miejsce pracy człowieka. Bardzo mocnym atutem niektórych aut elektrycznych względem konkurencji jest to, że posiadają układ elektromechanicznego wspomagania układu kierowniczego, dzięki czemu samochodem elektrycznym kieruje się tak samo lekko jak samochodem osobowym. Dochodzą też dodatkowe korzyści w postaci darmowego parkowania w mieście czy możliwość poruszania się po buspasach. Pierwsza ze wspomnianych korzyści przełoży się na zmniejszenie miesięcznych kosztów za parkowanie a druga pozwoli znacząco skrócić czas dostawy towaru lub przesyłki. Szczególnie jest to widoczne w czasie porannego i popołudniowego szczytu komunikacyjnego.

W rozdziale tym autor zachęca wszystkich czytelników do zaangażowania się w wybór optymalnego pojazdu dostawczego o napędzie elektrycznym dla Poczty Polskiej.

3.2. Potrzeba

3.2.1. Wymagania Poczty Polskiej na dostawcze auto elektryczne

Poczta Polska w najbliższych kilku latach zamierza wymienić swoją flotę na pojazdy elektryczne. Decydującymi czynnikami do takiego działania są niższe 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, międzymagazynewe, oraz pojazdy przeznaczone specjalnie dla listonoszy. Niektóre z koncernów produkujących pojazdy elektryczne posiadają takie ich rodzaje w aktualnej ofercie. Inne mogą zostać specjalnie rozwinięte lub przystosowane w przypadku dużej liczby zamówionych pojazdów. Poczta Polska od samego początku chciała samochód pojemny i ekonomiczny. Potrzebowała też ciche środki transportu do dostaw nocnych. Pojazd dla niej powinien mieć system szybkiego ładowania i zasięg co najmniej 100 km. Kryterium prędkości maksymalnej nie było decydujące w żadnym z zapytań rynkowych.

3.3. Rozwiązanie

Dnia 14.02.2019 roku w Lublinie Poczta Polska rozpoczęła testy pojazdów elektrycznych na terenie miasta Lublin [46]. Testy trwały do połowy maja 2019 roku i były kontynuacją testów przeprowadzonych w 2018 roku, 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. W testach wzięło udział osiem aut marek: Renault Master Z.E., (wyjechał na polskie drogi w styczniu 2019 r.), Volkswagen e-Crafter (dostępny od czwartego kwartału 2018 r.), Maxus-Hitachi (dostępny od września 2018) oraz 5 egzemplarzy Mercedesa e-Vito (dostępny od stycznia 2019 r.) [46]. Testowane przez Pocztcę Polską pojazdy to mało jeszcze wtedy dostępne w naszym kraju nieliczne egzemplarze. Kierowcy Poczty Polskiej sprawdzali 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 takiego pojazdu sporządzał krótki opis i ogólną jego charakterystykę.



Rys. 3.1. Flota pojazdów elektrycznych w Poczcie Polskiej [46]

3.3.1. Renault Master Z.E.

Pierwszym z testowanych przez Pocztcę Polską pojazdów był elektryczny Renault Master, którego wygląd i charakterystyki przedstawiono na rysunkach od 3.2 do 3.7.



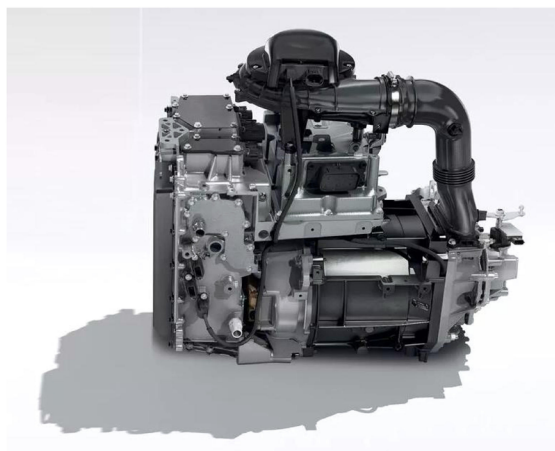
Rys. 3.2. Elektryczny Renault Master dla Poczty Polskiej [47]



Rys. 3.3. Elektryczny Renault Master dla Poczty Polskiej [47]



Rys. 3.4. Elektryczny Renault Master dla Poczty Polskiej [47]



Rys. 3.5. Silnik elektryczny Renault Master Z.E. [48]

Silnik napędzający elektrycznego Renault Mastera o mocy 57 kW jest odpowiednikiem silnika R75/90 Renault Zoe i został przedstawiony na rysunku 3.5. Produkowany jest we Francji w fabryce Renault w Cléon, wizytówce grupy pod względem produkcji trwałych silników i skrzyń biegów. Liczne technologie, w które został wyposażony, zapewniają codzienne korzyści płynące z elektromobilności: zero hałasu, zero emisji, ale także 100% skuteczności i 100% przyjemności z jazdy. Wszystko to dzięki napędowi elektrycznemu, który nie potrzebuje skrzyni zmiany biegów. Podstawowe dane silnika elektrycznego w Renault Master przedstawiono na rysunku 3.6., na rysunku 3.7. przedstawiono zaś wygląd pakietu baterii trakcyjnych.

	Moc (kW/KM)	Moment obrotowy (Nm)	Prędkość maksymalna (km/h)
Silnik elektryczny	57/76	225	100

Rys. 3.6. Dane silnika elektrycznego Renault Master Z.E. [48]



Rys. 3.7. Pakiet baterii trakcyjnych elektrycznego Renault Master Z.E. [48]

3.3.2. VW e-Crafter

Drugim z pojazdów testowanych przez Poczte Polską jest elektryczny VW e-Crafter, którego wygląd i charakterystyki przedstawiono na rysunkach od 3.8 do 3.13. Pojazd jest produkowany w fabryce VW w Polsce.



Rys. 3.8. Elektryczny VW e-Crafter dla Poczty Polskiej [49]

3. Budowa pojazdów elektrycznych dostawczych

Rodzaj paliwa	Elektro
Liczba i układ cylindrów	-
Pojemność skokowa	-
Moc przy prędkości obrotowej	- kW / - orb. 1/min
Maks. moment obrotowy przy prędkości obr.	-
Moc silnika	100 kW
Emisja tlenków azotu (NOx) (paliwo I)	- mg/km
Emisja tlenków azotu (NOx) (paliwo II)	- mg/kg
Emisja cząstek stałych (PM) (paliwo I)	-
Emisja cząstek stałych (PM) (paliwo II)	-
Emisja węglowodorów (NMHC)I	-
Emisja węglowodorów (NMHC)II	-
Poziom hałasu podczas jazdy	71,00 dB(A)
Poziom hałasu podczas postoju	-

Rys. 3.9. Elektryczny VW e-Crafter dla Poczty Polskiej [49]

WYPOSAŻENIE STANDARDOWE

Nadwozie

Drzwi prawe i lewe w kabinie kierowcy z elektrycznymi szybami

Drzwi przesuwne po prawej stronie (5R2)

Lusterka zewnętrzne elektrycznie regulowane i ogrzewane

Ośłona chłodnicy (grill) nielakierowany, z jedną chromowaną listwą ozdobną (6KA)

Przedni zderzak szary nielakierowany, z lakierowanym w kolorze nadwozia panelem ozdobnym (2JF)

Stopień tylny zintegrowany ze zderzakiem (QT4)

Szyba przednia termoizolacyjna, ogrzewana z przyciemnianym pasem przy górnej krawędzi

Uchwyt holowniczy z przodu

Zawiasy w tylnych drzwiach standardowe (5V3)

Światła boczne pozycyjne (8F1)

Rys. 3.10. Elektryczny VW e-Crafter dla Poczty Polskiej [49]

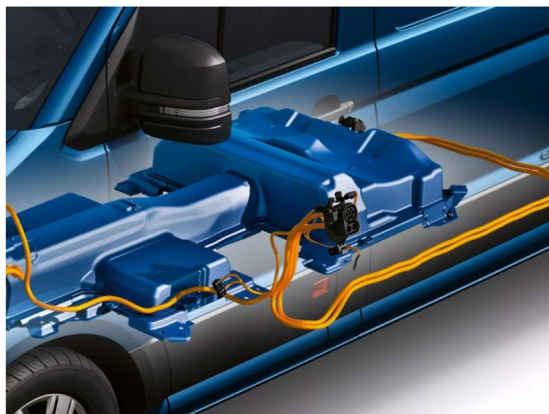


Rys. 3.11. Przestrzeń ładunkowa elektrycznego VW e-Craftera dla Poczty Polskiej [49]

W przypadku usług kurierskich, ekspresowych czy doręczania paczek liczy się każdy centymetr powierzchni ładunkowej. Bateria w tym pojeździe jest montowana pod podłogą, co pozwala zaoszczędzić miejsce. Przestrzeń ładunkowa VW e-craftera wynosi do 10,7 m³, a wysokość przestrzeni ładunkowej jest równa 1 861 mm. Pojazd został zaprojektowany specjalnie z myślą o usługach kurierskich, ekspresowych i tych związanych z doręczaniem paczek. Posiada ładowność do około 1 tony.



Rys. 3.12. Silnik elektryczny VW e-Craftera dla Poczty Polskiej [49]



Rys. 3.13. Baterie elektrycznego VW e-Craftera dla Poczty Polskiej [49]

3.3.3. Hitachi Maxus

20.09.2018 roku odbyło się śniadanie z Hitachi Capital Polska oraz Planet Car Lease, na którym zaprezentowany został pierwszy elektryczny samochód dostawczy w Polsce – Maxus EV 80 (rysunek 3.14). Maxus EV80 w najnowszej wersji to elektryczny pojazd dostawczy wyposażony w silnik o mocy 60 kW (82 KM) i baterie o pojemności energetycznej 56 kWh. Pojazd charakteryzuje się płynną jazdą z napędem elektrycznym oraz przekładnią CVT, długą żywotnością baterii oraz krótkim czasem ładowania, wynoszącym poniżej 2 godzin.



Rys. 3.14. Elektryczny Hitachi dla Poczty Polskiej [50]

3.3.4. Mercedes e-Vito

Mercedes e-Vito, zdaniem producenta, jest tak samo bezpieczny, funkcjonalny i wydajny jak jego odpowiednik napędzany silnikiem wysokoprężnym. Silnik elektryczny dysponuje mocą 85 kW (116 KM) i momentem obrotowym 295 Nm, który jest przenoszony na przednie koła pojazdu. Dodatkowo e-Vito posiada cztery poziomy odzyskiwania energii w trakcie hamowania – od „trybu żeglowania”, który można porównać do jazdy na biegu neutralnym, aż do trybu maksymalnej rekuperacji, gdzie wysoki poziom odzyskiwania energii umożliwia jazdę praktycznie bez konieczności wykorzystywania hamulców roboczych. Elektryczny Mercedes e-Vito w barwach poczty Polskiej oraz podczas procesu ładowania baterii został przedstawiony na rysunku 3.15.



Rys. 3.15. Elektryczny Mercedes e-Vito dla Poczty Polskiej [51]

Standardowe akumulatory Mercedesa e-Vito o pojemności 41 kWh, zapewniają zasięg na jednym naładowaniu wynoszący 150 km (w teście WLTP). Czas naładowania baterii (od 0 do 100%) prądem zmiennym o mocy 7,2 kW wynosi 6 godzin. Dzięki umieszczeniu akumulatorów pod podłogą, nie ograniczono przestrzeni ładunkowej. W zależności od wariantu, dysponuje ładownością od 990 do 1015 kg i dopuszczalną masą całkowitą 3 200 kg. Parametry elektrycznego Mercedesa e-Vito dla Poczty Polskiej przedstawiono na rysunku 3.16.

116 KM Moc silnika	295 Nm Moment obrotowy	150 km Zasięg WLTP
41 kWh Pojemność baterii (całkowita)	6,0 - 6,6 m ³ Przestrzeń ładunkowa	990 - 1015 kg Ładowność
do 120 km/h Prędkość maksymalna	6 godzin* Czas ładowania	3200 kg Dopuszczalna masa całkowita

Rys. 3.16. Parametry elektrycznego Mercedesa e-Vito dla Poczty Polskiej [51]

3.4. Rezultaty

W testach przeprowadzonych przez Poczte Polską w 2019 roku wzięło udział osiem aut:

- Renault Master Z.E.,
- Volkswagen e-Crafter,
- Maxus-Hitachi
- oraz 5 egzemplarzy Mercedesa e-Vito.

Jak do tej pory nie ogłoszono żadnych wyników przedmiotowego testowania. Autor może tylko stwierdzić, że w 2020 roku można było dalej zobaczyć testowane pojazdy elektryczne na ulicach Lublina. Poczta Polska nie zakupiła także do tej pory żadnej większej ilości pojazdów elektrycznych. Dlatego postanowiono w tej części książki dokonać analizy TCO w celu wybrania najlepszego pojazdu dla Poczty Polskiej. Podejście takie umożliwia uzyskanie wiarygodnych danych dla poszczególnych pojazdów, które następnie mogą być ze sobą porównywane. Dokonanie TCO wymaga podejścia naukowego do przeprowadzanych analiz i dużego obiektywizmu osób prowadzących je. Akcja testowania aut elektrycznych dla Poczty Polskiej nie została monitorowana przez żadną jednostkę naukową ani przez żadne biuro doradcze mające doświadczenie w tym obszarze. Prawdopodobnie w czasie testowania nie pozyskano żadnych ważniej-

szych danych ilościowych i jakościowych, które by mogły być przedmiotem publikacji.

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 także 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 wynosi 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 samo 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 wiel-

kości producentem baterii litowo-jonowych na świecie. W samym 2016 roku LG Chem wyprodukował 2 285 MWh co odpowiada $2\,285\,000\text{ kWh}/30\text{ kWh} = 76\,000$ 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 Lublinie 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 [9].

Z przedstawionych w artykule [9] 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, takiego jak np.: Nissan Leaf. Ale również masa własna pojazdu jak i rzeczywista masa przewożonego towaru 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 ilość dni roboczych w roku, która wynosi ok. 250, łatwo można obliczyć roczny przebieg pojazdu. Zatem 25 000 km, to tyle ile średnio pokonują pojazdy kurierskie w ciągu roku.

3.4.4. Optymalizacja wyboru pojazdu dostawczego dla Poczty Polskiej

W tabeli 3.1 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. Należy jednak mieć świadomość, że ceny energii elektrycznej mogą wzrosnąć i może to mieć negatywny wynik na opłacalność zakupu pojazdów elektrycznych w porównaniu z pojazdami napędzanymi silnikami spalinowymi. 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 3.1. 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	ok. 1000	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, najslabszy 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 Poczty 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 Renault wynosi tylko 120 km. Ale zgodnie z przedstawionymi wcześniej badaniami jest to wystar-

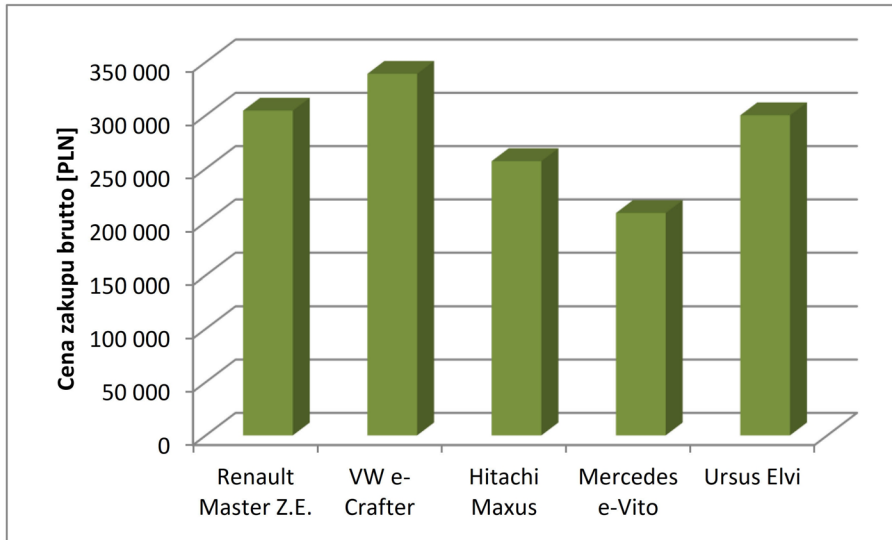
czająca wartość do poruszania się po mieście pojazdem kurierskim. Rekordzistami są Hitachi Maxus i Ursus Elvi z zasięgiem 200 km na jednym ładowaniu. Najkrócej ładuje się VW wyposażony standardowo w złącze CCS. Najdłużej zaś, Renault posiadający jedynie złącze Type 2.

Jednak w przypadku pojazdów elektrycznych ogromne znacznie ma cena zakupu auta. W tabeli 3.2 podano ceny brutto zakupu aut elektrycznych.

Tabela 3.2. Porównanie kosztów wybranych pojazdów dostawczych

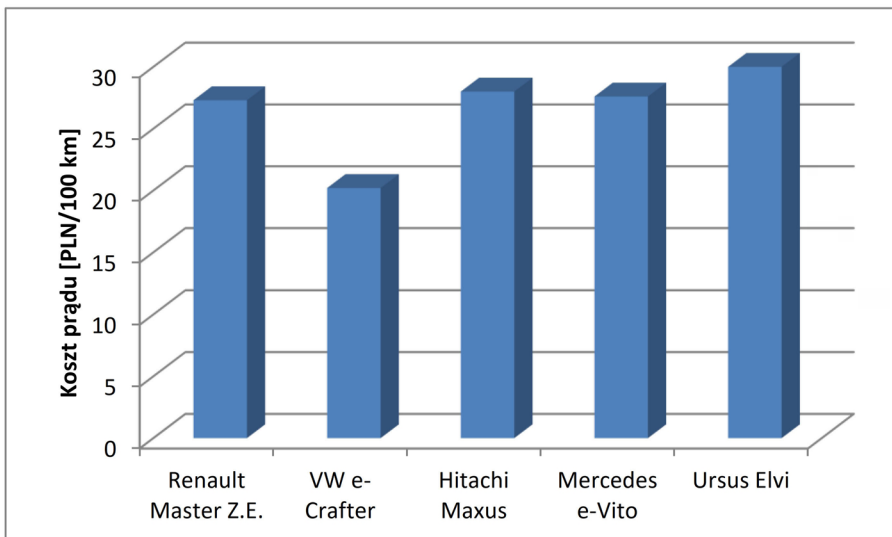
Pojazd	Koszt zakupu [PLN]	Średnie zużycie prądu [kWh/100km]	Koszt prądu [PLN/100km]	Koszt prądu całk. [PLN]	TCO [PLN]	Koszt prądu/ Koszt zakupu [%]
Renault Master Z.E.	304 400	27,3	24,57	49 400	353 800	16,23
VW e-Crafter	338 948	20,2	18,18	36 360	375 308	10,73
Hitachi Maxus	257 000	28	25,2	50 400	307 400	19,61
Mercedes 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 3.17).



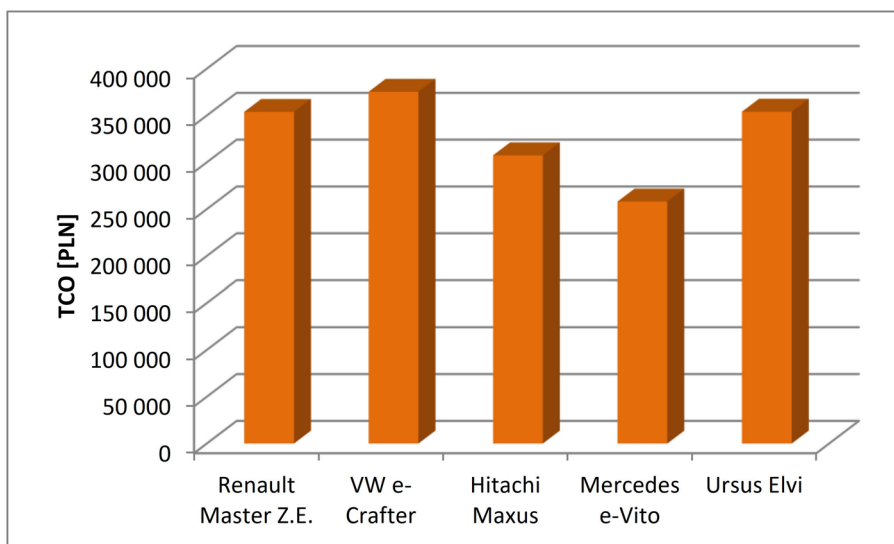
Rys. 3.17. Porównanie cen brutto zakupu pojazdów

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 3.18).



Rys. 3.18. Porównanie kosztów przejazdu 100 km

Następnie podsumowano koszty całkowite prądu potrzebne do ładowania pojazdu na dystansie 200 000 km i dokonano obliczenia TCO. Najniższym TCO charakteryzuje się Mercedes. Różnica w kosztach TCO jest bardzo duża w przypadku poszczególnych modeli co przedstawiono na rysunku 3.19. Następnie policzono stosunek procentowy całkowitych kosztów prądu do ceny zakupu. Okazuje się, że wynosi on od 10 do ponad 20 %.



Rys. 3.19. Porównanie TCO

Ze względu na Całkowite Koszty Użytkowania TCO najbardziej optymalnym wyborem dla Poczty Polskiej jest Mercedes e-Vito.

4. Budowa pojazdu elektrycznego typu SUV Audi e-tron

4.1. Klient

SUV, czyli Sport Utility Vehicle, jest coraz częściej wybieranym typem pojazdu w Polsce [53]. Rekordowa popularność SUVów w Polsce może dawać do myślenia. Samochody tej klasy widoczne są dosłownie wszędzie. Pojawiają się nawet we flotach, powoli wypierając hatchbacki czy kombi. Ich obecność na drodze już nikogo nie dziwi, a samochody tej klasy na stałe wpisały się w polski krajobraz. Czy można powiedzieć, że to już stały trend a nie chwilowa moda na SUVy [52]?

Samochody z nadwoziem typu SUV po raz pierwszy pojawiły się w Europie w latach 70. XX wieku, głównie za sprawą modelu Range Rover. Z początku były to samochody, które celowały w wąską grupę docelową tj. miłośników jazdy zarówno po asfalcie, jak i poza drogami utwardzonymi. Klienci cenili sobie ich właściwości terenowe oraz zastosowane rozwiązania techniczne, takie jak stały napęd na 4 koła, konstrukcję opartą na ramie, reduktor czy blokady dyferencjałów. W chwili obecnej napęd na 4 koła w SUVach jest raczej opcją dodatkową, a w niektórych modelach nie jest dostępny wcale, nawet za dopłatą. Reduktory oraz blokady wypadły z oferty producentów już na stałe, poza nielicznymi wyjątkami.

Potem przyszedł czas na lata 90. XX wieku i rewolucyjny model Toyota RAV4. Japończycy wpadli na pomysł połączenia funkcjonalności pudełkowatego nadwozia SUV ze zwinnością, jaką dawał zwykły kompakt segmentu C, jakim była wtedy Toyota Corolla. W tamtych czasach SUV bez napędu 4×4 zostałby wyśmiany, więc oczywiście taki napęd pojawił się również w I generacji Toyoty RAV4. Nowy model szybko zyskał na popularności. Oferował możliwości niedostępne dla niżej za-

wieszonych sedanów czy hatchbacków ale, co było dużym zaskoczeniem dla Toyoty, był często wybierany ze względu na wysoką pozycję za kierownicą oraz lepszą widoczność. W 1996 roku wprowadzono więc nową wersję RAV4 z napędem wyłącznie na przednią oś, co na ówczesne czasy było bardzo odważnym krokiem ze strony koncernu Toyota – a słupki sprzedażowe ponownie wystrzeliły ku górze.

W ciągu następnych 20 lat kolejni producenci widząc sukces Toyoty włączali do swojej oferty całkowicie nowe lub „uterenowione wersje” istniejących modeli. Szerokim echem odbiły się premiery pierwszych generacji BMW X5, Porsche Cayenne czy Audi Q7. Także bardziej dostępne auta takie jak Nissan Qashqai czy Kia Sportage zrewolucjonizowały rynek motoryzacyjny i na stałe zmieniły oczekiwania klientów względem producentów aut. Dziś praktycznie nie ma producenta, który nie miałby w swojej ofercie choć jednego SUV-a. Do tego grona dołączył nawet ultra-konserwatywny Rolls-Royce z modelem Cullinan, a swoją obecność w tym segmencie zapowiedziało także Ferrari czy Aston Martin.

Świetne wyniki sprzedażowe, pomimo wyraźnie wyższej ceny oznaczają, że klienci widzą w tym nadwoziu dodatkowe zalety i są gotowi za nie zapłacić. Autor zachęca czytelnika do wspólnej analizy, skąd wzięła się taka popularność SUV-ów w Polsce.

Samochody typu SUV są zawieszone odrobinę wyżej względem zwykłego hatchbacka, dzięki czemu kierowca siedzi wyżej. Dzięki temu jego pole widzenia jest znacznie szersze, a widoczność poprawiają duże powierzchnie przeszklone oraz lusterka proporcjonalne do wielkości auta, a więc również większe.

Siedząc wyżej, kierujący na również lepszą widoczność do przodu. Może na bieżąco analizować sytuację drogową i reagować z wyprzedzeniem np. rozpocząć hamowanie zanim zacznie to robić auto bezpośrednio przed nami.

Zajmowanie miejsca w samochodzie typu SUV jest bardziej naturalne, dzięki wyżej umieszczonym fotelom. Również montaż foteli-ków dla dzieci jest zdecydowanie wygodniejszy, gdyż nie trzeba się tak głęboko i daleko schylać, aby trafić w uchwyty ISOFIX. Wyższy krawężnik nie budzi obaw wśród właścicieli SUV-a, gdyż nie tak łatwo uszkodzić dolną krawędź drzwi.

Samochód z nadwoziem typu SUV jest większy od hatchbacka, na płycie podłogowej którego często bazuje. Większe nadwozie oraz dłuższy i szerszy przedział silnika oznacza również więcej możliwo-

ści utworzenia kontrolowanych stref zgniotu. W razie wypadku to one przyjmują i rozpraszają energię uderzenia, izolując konstrukcję kabiny.

Samochody z segmentu SUV oferują także szereg udogodnień z zakresu bezpieczeństwa czynnego. Nawet w najmniejszych modelach możemy dopłacić do asystenta pasa ruchu, asystenta martwego pola czy aktywnego tempomatu. Te systemy mogą pomóc kierowcy uniknąć lub chociaż ograniczyć, rozmiar ewentualnego wypadku. Warto wspomnieć o napędzie na 4 koła, który poprawia prowadzenie pojazdu, szczególnie w trudnych warunkach.

Duże gabaryty, wysoka pozycja, solidna konstrukcja oraz mnóstwo elektroniki na podkładzie – to z pewnością wpływa na psychikę kierowcy i jego pasażerów. Nie bez powodu odbieramy SUVy jako bardziej bezpieczne, które podświadomie dają nam przewagę w starciu z innymi, mniejszymi uczestnikami ruchu.

Większy prześwit, większy skok zawieszenia, duże koła z oponami o wyższym profilu to główne narzędzia, którym SUVy walczą w miejskiej dżungli. Miejsca parkingowe z wysokim krawężnikiem staną się bardziej dostępne i nie uszkodzą zderzaka czy progów. Można zapomnieć też o dających się we znaki po każdej dziurach w drodze.

W porównaniu z hatchbackiem czy kombi SUVy oferują więcej przestrzeni nad głową i na nogi pasażerów. Przestrzeń bagażowa ma bardziej regularny kształt, a pod podłogą często można liczyć na pomysłowe schowki na rzadziej używane wyposażenie: narzędzia, saperkę czy latarkę.

SUVy są wręcz stworzone do komfortowego pokonywania kolejnych kilometrów. Zawieszenie pracuje miękko i cicho, izolując kabinę od niepożądanych dźwięków. Opony o wysokim profilu skutecznie tłumią mniejsze nierówności.

Większy równa się lepszy? W przypadku SUVów nawet w podstawowej wersji, budzą podziw swoim masywnym wyglądem i sprawiają wrażenie aut znacznie droższych, niż są w rzeczywistości. Duże nadwozie, większe felgi, potężny przedni grill oraz wysoko umieszczone reflektory, mogą budzić respekt na drodze.

Aktualnie co trzeci samochód wyjeżdżający z polskich salonów to SUV. Niektóre osoby nie mogą sobie pozwolić na zakup nowego samochodu, dlatego używany SUV jest obiektem pożądania wielu osób – szczególnie nabywców prywatnych. Młode samochody, z pol-

skiego salonu, z udokumentowaną historią serwisową i szkodową, są prawie natychmiast wchłaniane przez rynek wtórny.

Samochód typu SUV łączy w sobie zwinność hatchbacka, pojemność kombi oraz odrobinę właściwości auta terenowego. Nie ma róży bez kolców, dlatego prezentujemy też największe wady SUVów.

Większe nadwozie oraz lepsze wyposażenie pociągają za sobą wzrost masy własnej. A im wyższa masa pojazdu, tym więcej energii potrzebne jest do jej rozpędzenia. Dlatego silniki SUVów mają do wykonania większą i cięższą pracę, a utrzymanie dynamiki znanej z mniejszych aut będzie obkupione wyższymi kosztami paliwa.

Wysokie nadwozie i potężny, pionowy przedni grill to także większy opór powietrza. Utrzymanie prędkości autostradowych na pewno będzie wymagać większej dawki paliwa. Producenci publikują wartości współczynników oporów powietrza (C_x) oraz wymiar powierzchni czołowej – warto zwrócić na to uwagę przy porównaniu różnych modeli. Różnice w spalaniu mogą sięgać nawet kilku litrów!

Dodatkowe litry paliwa pochłonie napęd 4×4, który zwiększa masę własną pojazdu o kolejne kilkadziesiąt kg. Pojawiają się też dodatkowe siły oporu (tarcia, bezwładności), które musi przezwyciężyć silnik aby przekazać moment obrotowy na koła.

Wyższa masa własna oznacza też przyspieszone zużycie m.in. hamulców – należy pogodzić się z tym, że będzie trzeba wymieniać je częściej niż w zwykłym aucie. Same elementy układu hamulcowego muszą być też większe i bardziej wytrzymałe, co dodatkowo podnosi koszty eksploatacji.

Szybciej zużywają się też elementy zawieszenia. Jako winnego można wskazać sposób eksploatacji. Użytkownicy SUVów mniej przejmują się krawężnikami czy niedoskonałościami drogi, co negatywnie odbija się na trwałości zawieszenia.

Opcjonalny napęd 4×4 to dodatkowe elementy w układzie przeniesienia napędu, które wymagają regularnego serwisowania aby zapewnić niezawodność oraz zakładaną przez producenta żywotność. Do podstawowych zabiegów zalicza się rozszerzenie zakresu przeglądów o weryfikację układu 4×4 oraz wymiany oleju w dyferencjałach, skrzyni rozdzielczej czy sprzęgle sterującym. W samochodach używanych lub niewłaściwie eksploatowanych mogą pojawiać się

usterki związane z np. dołączaniem napędu tylnej osi, a koszty naprawy mogą być liczone nawet w tysiącach złotych.

Opony do pojazdów klasy SUV zazwyczaj są większe nie tylko jeśli chodzi o średnicę, ale także szerokość czy indeksy nośności. Taka opona może kosztować nawet kilkadziesiąt procent więcej od opon do aut kompaktowych. Sprawa komplikuje się przy napędzie 4×4 – wymagane jest używanie opon o identycznych parametrach na wszystkich kołach. Opony powinny też mieć podobny stopień zużycia, także warto regularnie kontrolować ich stan i ewentualnie wykonać rotację nawet w środku sezonu.

Moda na SUVy i olbrzymi popyt pozwalają producentom na ustalenie wyższych cen – a ci chętnie z tej furtki korzystają. Względem modeli opartych o tę samą płytę podłogową SUV wymaga zazwyczaj kilkunastu procent dopłaty. Zużycie większej ilości materiałów, stali czy aluminium nie uzasadnia takiej różnicy w cenie.

Przez swoją masę, gabaryty i zestrojenie zawieszenia, auta prowadzą się mniej pewnie, gorzej reagują na nagłe zmiany kierunku a także mają dłuższą drogę hamowania. Warto o tym pamiętać, że większość modeli nie nadaje się do sportowej jazdy (mimo, że marketingowcy mówią co innego). Należy utrzymać też większy odstęp na drogach szybkiego ruchu aby dać sobie czas na reakcję i miejsce na dłuższe hamowanie.

Zawieszenie SUVa musi dawać odpowiedni komfort, a jednocześnie dźwigać przyciężkie nadwozie. Duża masa nieresorowana (duże felgi i opony, powiększone tarcze i klocki hamulcowe) odbija się negatywnie na właściwościach jezdnych. Przy przejeżdżaniu przez nierówności całe koło wykonuje szybkie ruchy góra-dół i przekazuje drgania na nadwozie oraz skutkuje brakiem pewności w prowadzeniu.

Przyjemność z podróżowania SUVem kończy się, gdy wjeżdżamy do miasta. Duże wymiary pojazdu we wszystkich kierunkach utrudniają manewrowanie i parkowanie. A to niestety miasto, jego ciasne uliczki i zatłoczone parkingi są najczęstszym środowiskiem występowania SUVów. Słaba widoczność tego, co znajduje się tuż przed maską często bywa przyczyną drobnych stłuczek i zarysowań powłoki lakierniczej. W większych modelach martwe pole z przodu może wynosić nawet 3 metry. Dlatego w niektórych modelach postanowiono temu przeciwdziałać. Na przykład wyposażenie dodatkowe w Fordzie Edge obejmuje kamerę przednią.

4.2. Potrzeba

Moda na SUVy wymusiła niejako na producentach pojazdów rozwój tego typu aut z napędem elektrycznym. Zatem mamy tutaj ewidentnie do czynienia z innowacją zasysaną przez rynek. Wielbicieli SUVów nie musieli długo czekać na ekologiczne wersje ich ulubionych aut. Volvo, Tesla, Jaguar, Porsche a także Audi prawie w tym samym czasie wprowadziły na rynek pojazdy typu SUV z napędem elektrycznym.

Jaguar I-PACE w 2019 roku był najczęściej wybieranym w Polsce SUVem z napędem elektrycznym. W skali sprzedaży wszystkich aut elektrycznych w Polsce, uplasował się zaś na czwartej pozycji. Jaguar zdołał o kilka sztuk wyprzedzić innego elektrycznego SUVa – Audi e-tron. W Polsce utrzymuje się dynamiczna tendencja wzrostowa sprzedaży samochodów elektrycznych. W 2019 roku wzrost w segmencie pełnych elektryków (BEV) wyniósł 135 %. Zgodnie z danymi Instytutu Badań Rynku Motoryzacyjnego Samar, najpopularniejszym w Polsce SUVem z napędem elektrycznym 2019 roku został Jaguar I-Pace, który jednocześnie znalazł się w pierwszej czwórce najchętniej wybieranych „elektryków” w kraju, z liczbą 75 zarejestrowanych sztuk. Pozostałe miejsca zajęło Audi E-tron (71 sztuk), Mercedes EQC (18 sztuk) i Tesla Model X (14 sztuk) [54].

4.3. Rozwiązanie

4.3.1. Audi e-Tron – charakterystyka ogólna

Audi e-Tron jest jednym z najchętniej kupowanych SUVów z napędem elektrycznym w Polsce, Europie, jak i na całym świecie. W tej części książki zostanie przeanalizowana budowa tego popularnego SUVa.

Audi e-tron, podobnie jak pierwsze Audi quattro, ma wyznaczyć zupełnie nowy kierunek dla samochodów tej marki, tym razem elektrycznych. Audi e-tron to bowiem pierwsze, masowo produkowane, auto elektryczne z czterema pierścieniami na masce. To także zapowiedź innych elektrycznych samochodów Audi, a w tym niedawno pokazanego Q4 e-tron.

Audi e-tron 55 quattro jest elektrycznym SUVem i gabarytami plasuje się między Audi Q5, a Q7 (analizowany obecnie w odmia-

nie hybrydowej e-tron). Ma zestaw akumulatorów o pojemności 95 kWh, które zostały umieszczone pod podłogą i dwa silniki elektryczne o łącznej mocy 265 kW (360 KM) i generujące 561 Nm momentu obrotowego. Chwilowo moc może wzrosnąć do 300 kW (408 KM), a moment do 664 Nm. W ten sposób możliwe jest osiągnięcie prędkości 100 km/h w czasie 5,7 s od startu zatrzymanego. Zasięg Audi e-tron wynosi 400 km zmierzony w cyklu WLTP. Dzięki superszybkiej ładowarce prądu stałego o mocy 150 kW możliwe jest uzupełnienie około 75% pojemności użytecznej akumulatorów w około 30 minut.

Elementem, który mocno może wyróżnić Audi e-tron na tle innych modeli tej marki są wirtualne zewnętrzne lusterka. Zamiast tradycyjnych można bowiem zamówić dodatkową kamerę, która przekazuje obraz do umieszczonych we wnętrzu drzwi ekranów OLED.

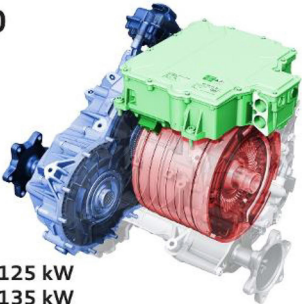
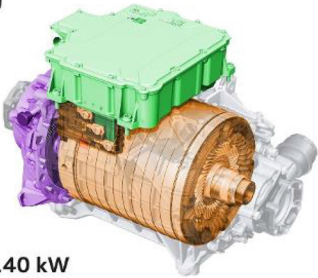
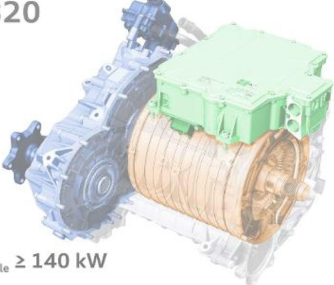
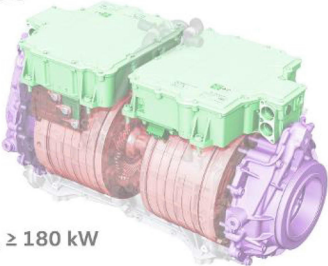
4.3.2. Napęd SUVa Audi e-tron

Audi e-tron w zależności od preferencji kupującego może zostać wyposażony w jedną z kilku konfiguracji układu napędowego. Standardowo posiada dwa silniki elektryczne o łącznej mocy 265 kW (360 KM) i 561 Nm momentu obrotowego. W tej konfiguracji moc chwilowa może wzrosnąć do 300 kW (408 KM), a moment do 664 Nm. Wygląd elektrycznego układu napędowego w Audi e-tron przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Rozmieszczenie komponentów elektrycznego układu napędowego w Audi e-tron [55]

Wszystkie silniki elektryczne występujące w układach napędowych Audi e-tron przedstawiono na rysunku 4.2.

APA250  $P_{Axle} = 125 \text{ kW}$ $P_{Axle; Boost} = 135 \text{ kW}$ $M_{Axle} = 2200 / M_{EM} = 247 \text{ Nm}$ $M_{Axle; Boost} = 2750 / M_{EM} = 309 \text{ Nm}$	AKA320  $P_{Axle} = 140 \text{ kW}$ $P_{Axle; Boost} = 165 \text{ kW}$ $M_{Axle} = 2800 / M_{EM} = 314 \text{ Nm}$ $M_{Axle; Boost} = 3120 / M_{EM} = 355 \text{ Nm}$
APA320  $P_{Axle} \geq 140 \text{ kW}$ $M_{Axle} \geq 2800 \text{ Nm}$	ATA250  $P_{Axle} \geq 180 \text{ kW}$ $M_{Axle} \geq 4400 \text{ Nm}$

Rys. 4.2. Silniki elektryczne stosowane w napędach Audi e-tron [17]

W napędzie Audi e-tron występują następujące rodzaje silników elektrycznych:

- ASM – asynchronous machine (induction machine) – silnik asynchroniczny prądu przemiennego (indukcyjny),
- PSM – permanent-magnet synchronous machine – silnik synchroniczny prądu przemiennego z magnesami trwałymi,
- FSM – flux-switching synchronous machine – silnik synchroniczny z przełączanym strumieniem.

Można podsumować, że są to wszystkie obecnie liczące się silniki elektryczne prądu przemiennego mogące być wykorzystane do napędu pojazdów, poza silnikiem bezszczotkowym prądu stałego BLDC (ang. Brushless Direct Current). Należy podkreślić, że każdy z tych silników ma swoje ewidentne zalety, które mają ogromny wpływ na

osiągi pojazdu. Dlatego konstruktorzy pojazdów elektrycznych powinni mieć dużą wiedzę, a najlepiej doświadczenie praktyczne, związane z tym co daje zastosowanie konkretnego silnika elektrycznego. Jak wspomniano na początku rozdziału, od pojazdów typu SUV ich właściciele oczekują zarówno dużych walorów sportowych jak i użytkowych. Aby zapewnić możliwość wyboru tychże walorów kierujący powinien mieć do dyspozycji przycisk z konkretnym opisem z jakich ustawień układu napędowego w danej chwili może korzystać.

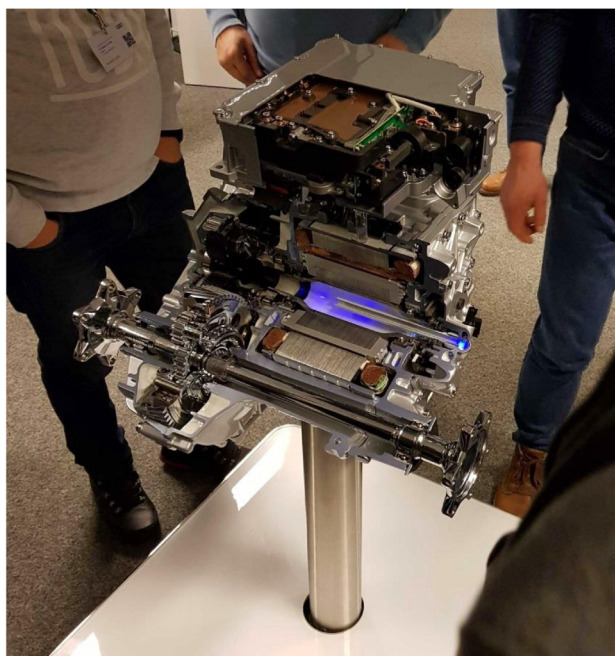
W przypadku elektrycznych SUVów, tak jak w przypadku innych pojazdów elektrycznych, bardzo ważny jest także zasięg pojazdu. Zatem jak pogodzić wszystkie te kryteria, które wydają się na pierwszy rzut oka nie do spełnienia lub nawet się wykluczać. Otóż na przykładzie pojazdu typu SUV znajduje się wystarczająco dużo miejsca by umieścić tam kilka rodzajów silników elektrycznych, które będą wykorzystywane pojedynczo lub razem. Największą sprawnością charakteryzują się silniki synchroniczne PSM. Jednak nie dysponują one maksymalnym momentem obrotowym począwszy od zerowej prędkości obrotowej. Trudno za ich pośrednictwem uzyskać bardzo duże przyspieszenie przy starcie. Jednak za to są bardzo oszczędne podczas użytkowania z większymi prędkościami obrotowymi i prędkościami jazdy. Najlepsze przyspieszenie ze startu zatrzymanego zapewniają silniki asynchroniczne (indukcyjne) – ASM. Zatem muszą stanowić one podstawę napędu pojazdów sportowych. W bardzo zaawansowanym mechanicznie, elektrycznie i informatycznie (czyli mechatronicznie) układzie napędowym Audi e-tron, występują wszystkie te rodzaje silników. Konstruktorzy utworzyli szeroki wachlarz własności trakcyjnych tego wszechstronnego SUVa, które kierujący może wybierać, a nawet dokonywać kalibracji, za pomocą różnych funkcji dostępnych na wyświetlaczach.

Wielu producentów pojazdów korzysta z najnowszych technologii dotyczących silników elektrycznych. Jednak niektórzy chętnie korzystają z tradycyjnych rozwiązań, które na przestrzeni lat zostały dokładnie poznane i udoskonalone. Mowa w tym miejscu oczywiście o silnikach indukcyjnych. Główne zalety płynące z wykorzystania maszyn asynchronicznych to:

- brak stosowania pierwiastków ziem rzadkich, więc brak ryzyka związanego z dostawą surowców do wirnika,

- ASM nie ma strat oporu podczas pracy na biegu jałowym,
- maszyna asynchroniczna ma niższy koszt jednostkowy produkcji niż PSM i FSM.

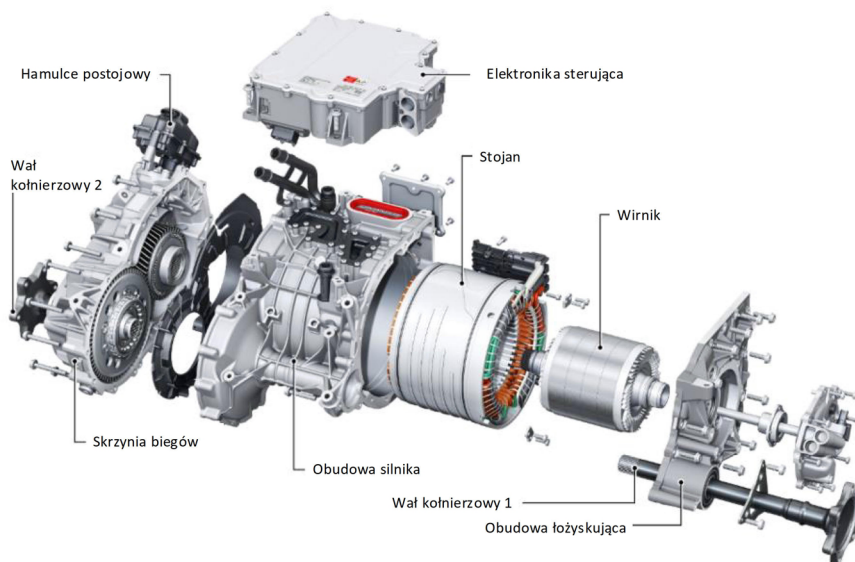
Wygląd elektrycznej jednostki napędowej APA250 o mocy nominalnej 125 kW i momencie 247 Nm przedstawiono na rysunku 4.3. Można stwierdzić, że jej wymiary są naprawdę kompaktowe w porównaniu z jednostką napędową opartą o silnik spalinowy. Prezentowanie pięknie wykonanych przekrojów rzeczywistych, komponentów elektrycznego układu napędowego Audi e-tron, jest ważnym elementem ich promocji. Przekroje takie prezentowane na różnego rodzaju targach i wystawach zawsze gromadzą duże ilości osób zainteresowanych. Firma w ten sposób pokazuje swoje możliwości konstrukcyjne i produkcyjne i w ten sposób edukuje przyszłych klientów.



Rys. 4.3. Widok rzeczywisty napędu APA250 – przekroje miejscowe

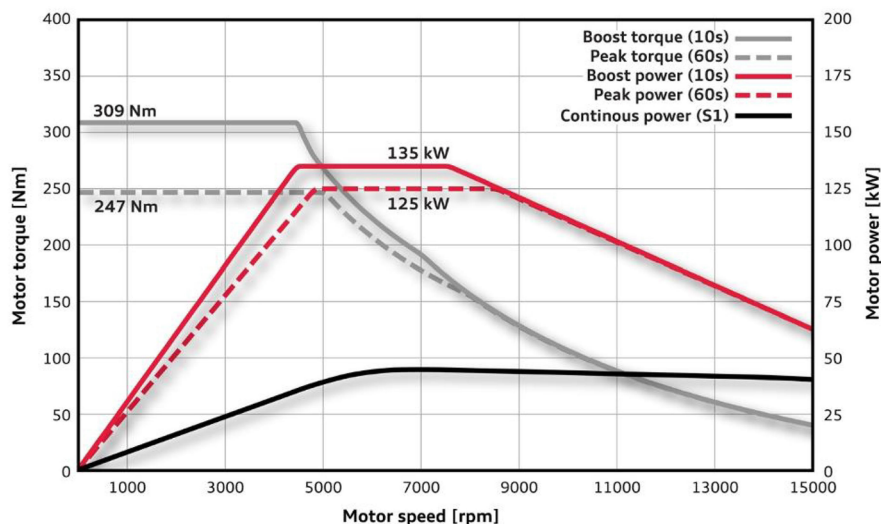
Kolejną metodą promocji napędów elektrycznych jest przedstawianie możliwości, zwłaszcza konstrukcyjnych, za pomocą modeli 3D całego pojazdu lub wybranych jego komponentów. Na rysunku 4.4 przedstawiono rozstrzelony model 3D napędu APA250. Dzięki zastosowaniu widoku rozstrzelonego można zobaczyć oddzielny wygląd

każdego z komponentów składowych oraz sposób ich montażu. Podobnie jak przy zastosowaniu różnych typów silników w swych napędach, Audi stosuje również różne metody ich promocji. Na targach nie brakuje zarówno rzeczywistych przekrojów różnych komponentów a w świecie wirtualnym przejrzystych modeli 3D oraz zaawansowanych symulacji.



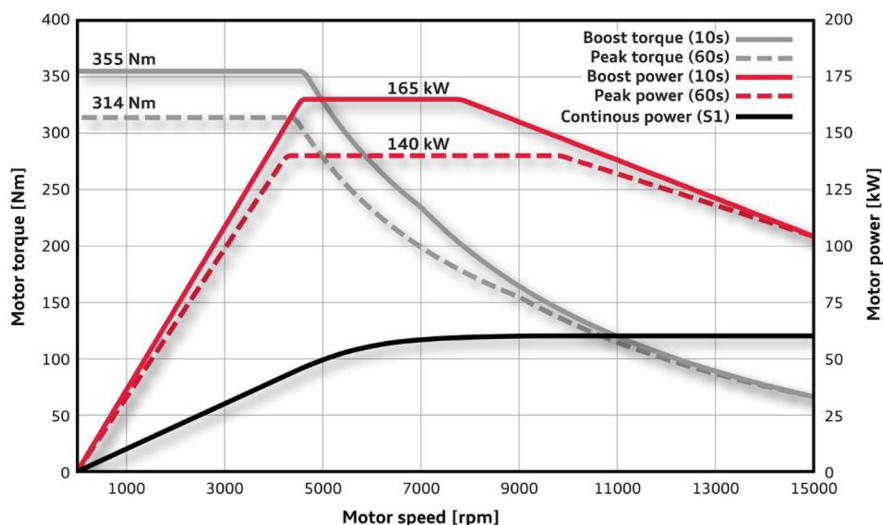
Rys. 4.4. Widok rozstrzelony napędu APA250 [17]

Przyjrzyjmy się teraz krzywym charakterystycznych elektrycznego napędu APA250. Z przebiegu krzywej mocy i momentu obrotowego od razu można wywnioskować, że nominalna prędkość obrotowa silnika wynosi 5000 obr./min. Silnik może pracować bardzo długo z mocą ciągłą wynoszącą ok. 40 kW. Moc szczytowa (peak) wynoszącą 125 kW, której odpowiada szczytowy moment obrotowy wynoszący 247 Nm, może być wykorzystywana przez 60 s. Prawdopodobnie od tej wartości zbliżonej do 250 Nm, jednostka wzięła swoją nazwę. Wartość mocy doładowanej (boost) wynosi 135 kW, a momentu doładowanego aż 309 Nm i kierujący może z nich korzystać jedynie przez czas wynoszący 10 s. Warto zaznaczyć, że jest to czas wystarczająco długi by pojazdem przyspieszyć do prędkości znacznie większych niż 100 km/h.



Rys. 4.5. Krzywe charakterystyczne silnika APA250 [17]

Podobną analizę można przeprowadzić dla krzywych charakterystycznych jednostki napędowej AKA320 przedstawionych na rysunku 4.6. Każdy z czytelników powinien dokonać takiej analizy z zastosowaniem poprawnych inżynierskich określeń.



Rys. 4.6. Krzywe charakterystyczne silnika AKA320 [17]

Tak jak na studium przypadków przystało, zachęcam teraz do dokładnego przestudiowania napędu elektrycznego zastosowanego w Audi e-tron Sportback S/e-tron S, który został przedstawiony na rysunku 4.7. Jest to najbardziej zaawansowany, w pełni elektryczny, układ napędowy oparty o 3 silniki elektryczne. W Audi e-tron Sportback S/e-tron S na przedniej osi znajdzie się jeden duży silnik elektryczny. Jest to ten sam model, który obecnie napędza tył w Audi e-tron 55. Oferuje on prowadzącemu 124 kW mocy w standardzie i 150 kW w chwilowym trybie doładowania (boost).



Rys. 4.7. Rozmieszczenie komponentów elektrycznego układu napędowego w Audi e-tron Sportback S / e-tron S [17]

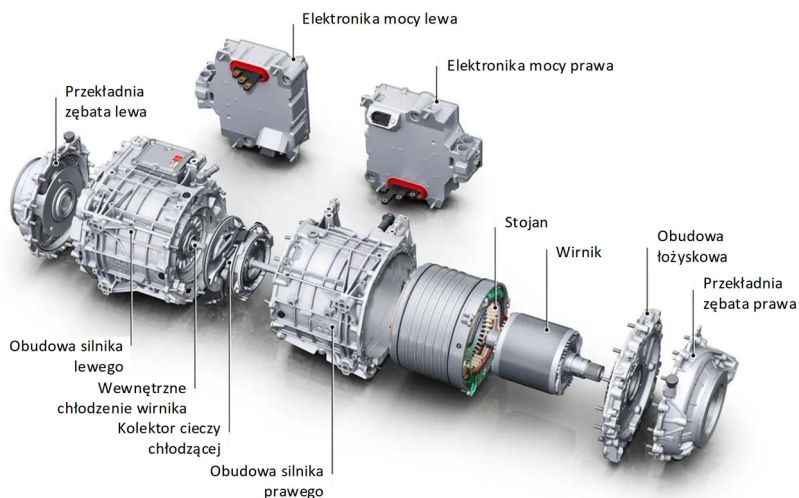
Z kolei na tylnej osi pojawiają się dwa mniejsze silniki o łącznej mocy 196 kW, oferujące maksymalnie 264 kW mocy w trybie boost. Sumaryczna moc Audi e-tron Sportback S ma wynosić 320 kW, zaś łączny moment obrotowy – 808 Nm. W trybie boost ma to być maksymalnie 370 kW i 973 Nm. Dzięki takim parametrom przyspieszenie samochodu od 0 do 100 km/h trwa tylko 4,5 sekundy.

Na rysunku 4.8 przedstawiono budowę tylnego układu napędowego wykorzystującego dwa silniki elektryczne. Jeden z nich został przedstawiony w całości (po lewej stronie), drugi zaś w widoku rozstrzelonym (po prawej stronie).



Rys. 4.8. Budowa tylnego układu napędowego w Audi e-tron Sportback S / e-tron S [17]

Opis komponentów przedmiotowego napędu dwusilnikowego przedstawiono na widoku rozstrzelonym, prezentowanym na rysunku 4.9.



Rys. 4.9. Budowa tylnego układu napędowego w Audi e-tron Sportback S / e-tron S [17]

Cały zespół napędowy wykorzystuje mechanizm wektorowania momentu obrotowego, czyli precyzyjnego sterowania napędem w taki sposób, by trafił na to koło, które akurat go potrzebuje i do tego w takiej ilości, jaka aktualnie jest najbardziej odpowiednia. Natomiast przy jeździe normalnej, ekonomicznej, w Audi e-tron Sportback S napędzane są tylko tylne koła.

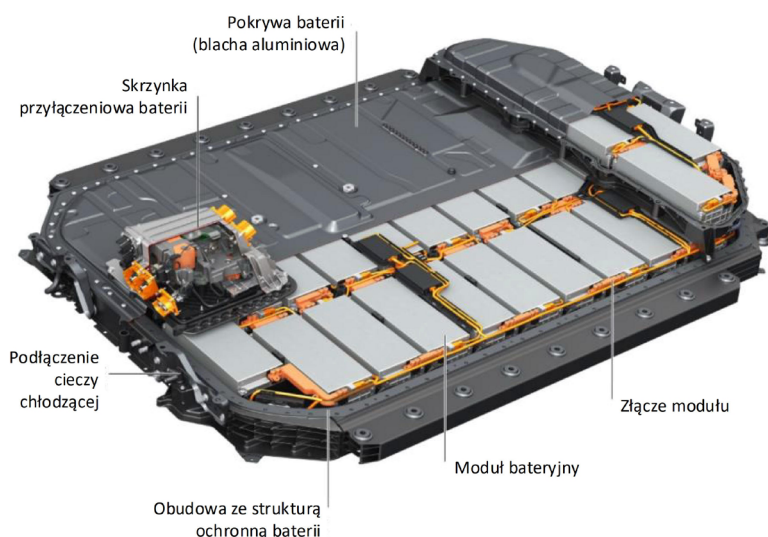
4.3.3. Baterie i ich ładowanie w Audi e-Tron

Dla zepewnienia dużej dynamiki pojazdu, podczas ruszania oraz pokonywania wzniesień, a także dużego zasięgu podczas normalnej jazdy, służy pakiet baterii litowo-jonowych przedstawiony na rysunku 4.10. To w nim jest gromadzona energia elektryczna potrzebna do zasilania silników elektrycznych. Tak jak wspomniano wcześniej mogą one pracować w różnych konfiguracjach. Aby zapewniać ogromne przyspieszenia pojazdowi, dużą prędkość maksymalną i zdolność pokonywania wzniesień, bateria powinna posiadać możliwość oddawania dużych mocy. Powinna także charakteryzować się dużą pojemnością energetyczną, by zapewnić duży zasięg pojazdu na jednym ładowaniu. Ponadto powinna mieć zdolność do ładowania dużymi mocami w celu skrócenia do minimum czasu ładowania.



Rys. 4.10. Ekspozycja pakietu bateryjnego w Audi e-tron –
przekroje w rzeczywistym obiekcie

Szczegóły budowy pakietu bateryjnego w Audi e-tron przedstawiono na rysunku 4.11. Jest to model 3D z miejscowymi przekrojami. Ukazuje modułową budowę pakietu oraz skrzynkę przyłąceniową baterii. Producent podkreśla zastosowanie obudowy ze strukturą ochronną baterii. Można zauważyć ponadto podłączenie cieczy chłodzącej.



Rys. 4.11. Budowa pakietu bateryjnego w Audi e-tron – przekroje w modelu 3D [17]

Ze specyfikacji przedstawionej w tabeli 4.1 wynika, że pakiet składa się z 36 modułów. Na każdy moduł składa się 12 ogniw pryzmatycznych o pojemności 60 Ah. 3 ogniwa w module są połączone szeregowo (3s), zaś 4 są połączone równolegle (4p). Całkowita topologia pakietu to 108s4p. Warto przy tej okazji wspomnieć, że ogniwa są łączone szeregowo (serial) w celu zwiększenia napięcia modułu lub pakietu, zaś równolegle (parallel) by zwiększyć pobierany prąd a przez to moc. Pojemność energetyczna pakietu wynosi 95 kWh. Można z niego pobierać moc do 360 kW. Napięcie nominalne wynosi 396 V. Pobierany prąd może wynosić nawet do 1 100 A. Pakiet może pracować w zakresie temperatur od -28 do 60 °C. Waga pakietu wynosi prawie 700 kg a jego objętość 439 litrów. Wymiary gabarytowe wynoszą 2283 x 1628 x 340 mm. Sprawia to, że tak duży pakiet może zostać schowany jedynie w płycie podłogowej Audi e-tron. Pakiet baterijny jest chłodzony cieczą.

Tabela 4.1. Dane techniczne pakietu baterijnego w Audi e-tron [17]

Ogniwo	Pryzmatyczne 60 Ah
Moduł ogniw	36x12e (3s4p)
Topologia	108s4p
Pojemność energetyczna	95 kWh
Moc	360 kW
Prąd	do 1100 A
Napięcie	396 V
Temperatura pracy	-28 do 60 °C
Waga	699,4 kg
Objętość	439 l
Wymiary (dł. x szer. x wys.)	2283 x 1628 x 340 mm
Układ chłodzenia	Ciecz chłodząca
Klasa ochrony	IP6k9k

Wygląd jednego z 36 modułów bateryjnych Audi e-tron przedstawiono na rysunku 4.12. Jak wspomniano wcześniej składa się on z 12 ogniw pryzmatycznych. Na zdjęciu możemy je dokładnie zobaczyć.



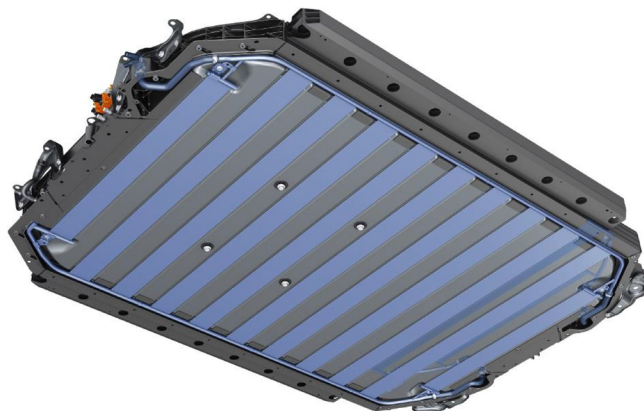
Rys. 4.12. Moduł baterijny Audi e-tron – przekroje w rzeczywistym obiekcie

Wszystkie moduły bateryjne, oraz inne komponenty pakietu, zostały umieszczone w specjalnie zaprojektowanej bezpiecznej konstrukcji. Jak można to zobaczyć na rysunku 4.13 obudowa pakietu posiada solidną ramę zewnętrzną wraz z wewnętrznymi wzmocnieniami, które stanowią przedziały dla poszczególnych modułów. Dzięki takiej konstrukcji obudowa pakietu jest bardzo lekka i jednocześnie bardzo wytrzymała. Należy wspomnieć, że producent pojazdu lub producent kompletnego pakietu baterijnego powinien mieć homologację na obudowę pakietu baterijnego.



Rys. 4.13. Konstrukcja wzmocnień pakietu baterijnego w Audi e-tron [17]

Aby zapewnić pobór dużych mocy z pakietu, przez silniki trakcyjne, oraz duże moce podczas ładowania, pakiet baterii jest chłodzony, jak to pokazano na rysunku 4.14. Cieczowy układ chłodzenia zawiera rurowe kolektory na obwodzie oraz pryzmatyczne kolektory umieszczone w podstawie obudowy. Stykają się one bezpośrednio z modułami baterijnymi, od których odbierają ciepło.



Rys. 4.14. Budowa układu chłodzenia pakietu baterijnego w Audi e-tron [17]

Aby akumulator Audi e-tron działał w optymalnym zakresie temperatur wynoszącym od 25 do 35 °C, nawet przy dużym obciążeniu lub w niskich temperaturach, jest on wyposażony w wysokowydajne sterowanie temperaturą. Odbywa się to za pomocą tłoczonych sekcji, przez które przepływa ciecz chłodząca. Chłodzenie umożliwia ładowanie baterii z dużymi mocami i zapewnia dużą wydajność w zasilaniu silników trakcyjnych podczas jazdy w niskich i wysokich temperaturach otoczenia. Jednocześnie układ chłodzenia zapobiega nadmiernemu obciążaniu poszczególnych ogniw.

W przypadku kolizji, układ chłodzenia zapewnia maksymalne bezpieczeństwo, przed wnikaniem płynu chłodzącego do wnętrza akumulatora zawierającego ogniwa litowo-jonowe, gdyż jest połączony z zewnętrzną częścią jego obudowy. Do wypełniania szczelin pomiędzy, zastosowano pastę o wysokiej przewodności cieplnej, która zapewnia optymalne połączenie termiczne ogniw akumulatora z przyzmatycznymi kolektorami chłodzącymi. Przeniesienie wszystkich połączeń i elementów transportujących ciecz chłodzącą do zewnętrznej przestrzeni obudowy, to tylko jeden z wielu elementów bezpieczeństwa akumulatora wysokonapięciowego w Audi e-tron.

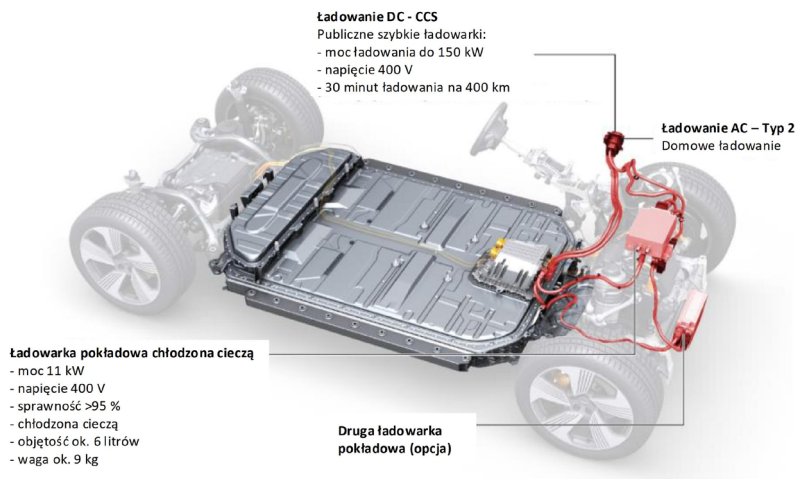
Obudowa modułów ogniw, w poszczególnych przedziałach konstrukcji szkieletowej, w połączeniu z solidną konstrukcją paneli bocznych wykonanych z profili tłoczonych, zapewnia bardzo wysoką wytrzymałość mechaniczną akumulatora wysokonapięciowego.

Płyta poślizgowa i pokrywa ochronna wykonane są z odlewanego ciśnieniowo aluminium i zapewniają dodatkowe funkcje bezpieczeństwa akumulatora podczas zderzenia. Moduły bateryjne połączone za pomocą elastycznych złączy z ekstremalnie niskimi rezystancjami styków.

Pakiet akumulatorów Audi e-tron jest montowany w fabryce Audi w Brukseli. Wypróbowana i sprawdzona koncepcja części produkowanych przez Audi zapewnia modułowy i skalowalny system, umożliwiający wykorzystanie tych samych lub nieco zmodyfikowanych komponentów w kolejnych projektach. Szybka i łatwa wymiana obudowy ochronnej, jest możliwa dzięki zabezpieczonemu przed dotykem bezpośredniemu połączeniu wtykowemu. Zapewniono też łatwy dostęp do nadrzędnej jednostki sterującej BMC (w postaci jednostki sterującej 12 V) znajdującej się poza akumulatorem. Są to ewidentnie cechy ułatwiające konserwację pakietu bateryjnego.

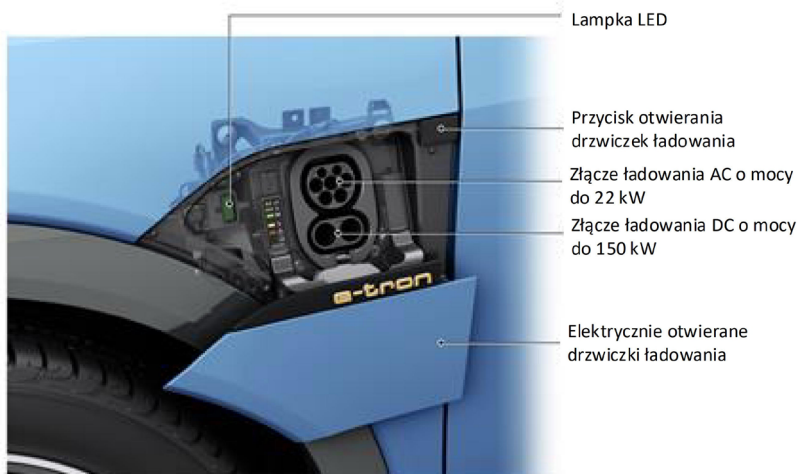
Audi deklaruje, że e-tron 55 quattro może przejechać między kolejnymi ładowaniami 400 km. Amerykańskie EPA oceniło zasięg Audi e-trona na 330 km. Dla porównania inny SUV Jaguar I-Pace przejechał 377 km w tym samym teście. Ocena EPA jest jednak dość daleka od tego, co wynika z pomiarów w teście WLTP. Audi deklaruje, że oddaje użytkownikowi około 88% z całkowitej (95 kWh) pojemności akumulatorów. Ma to zapewnić ich dłuższą żywotność, a także szybsze ładowanie. Niewątpliwie eliminacja głębokiego rozładowania czy ładowanie do np. 90-95% rzeczywistej pojemności akumulatorów, wpływa korzystnie na ich trwałość w dłuższej perspektywie [18].

W samochodzie zapewniono możliwość ładowania prądem prądem przemiennym (AC) z mocą do 11 kW i prądem stałym (DC) z mocą do 150 kW, jak to pokazano na rysunku 4.15.



Rys. 4.15. Rozmieszczeni komponentów ładowania baterii w Audi e-tron [17]

Gniazda ładowania znajdują się w lewym przednim błotniku, tuż obok drzwi kierowcy (rysunek 4.16). Jest to bardzo wygodne miejsce dla kierowcy, ale trochę narażone na zanieczyszczenia pochodzące z przedniego koła. Z tego względu gniazda ładowania są chronione za pomocą elektrycznie otwieranych i zamykanych drzwiczek. Jak widać, do zasilania ładowarek pokładowych prądem przemiennym służy gniazdo Typ 2, zaś do szybkiego ładowania baterii prądem stałym złącze CCS.



Rys. 4.16. Gniazdo ładowania baterii w Audi e-tron [17]

Złącze ładowania CCS umożliwia dostarczenie bezpośrednio do baterii, prądu stałego o mocy do 150 kW. W 2020 roku był to standard realizowany między innymi w Superchargerach Tesli. Taka moc zapewnia naładowanie pakietu Audi e-tron od 0 do 80 % w około pół godziny a od 0 do 100 % w godzinę. Z czasem Audi na pewno zwiększy moc ładowania pakietów w SUVie e-tron. Związane jest to z szybkim rozwojem i wprowadzaniem na rynek ultra szybkich ładowarek. Mają one zdolność dostarczania prądu elektrycznego o mocy do 350 kW.

Takimi ładowarkami dysponuje firma IONITY (rysunek 4.17). Od powstania w 2017 roku firma uruchomiła już 270 szybkich stacji ładowania, rozmieszczonych co 120-150 km, przy głównych trasach europejskich i dostępnych dla wszystkich modeli aut elektrycznych (ze złączem CCS). Spółka zamierza osiągnąć swój pierwszy kamień milowy w budowie i obsłudze 400 stacji w ciągu najbliższych kilku miesięcy [56].

Czas ładowania akumulatora litowo-jonowego o pojemności 90 kWh do 80 % z mocą 350 kW wynosi zaledwie 17 minut. Taki potencjał urządzenia może w pełni wykorzystać niewiele pojazdów elektrycznych, w tym np. Porsche Taycan.



Rys. 4.17. Ultra szybkie ładowarki firmy IONITY [56]

4.3.4. Inne innowacje w Audi e-Tron

W Audi e-tron inżynierowie zastosowali bardzo wiele systemów mechatronicznych, które mają za zadanie zwiększać komfort oraz bezpieczeństwo jazdy. Kolejnym celem jest zwiększanie zasięgu po-

jazdu na jednym ładowaniu, co można zaliczyć do walorów ekologicznych.

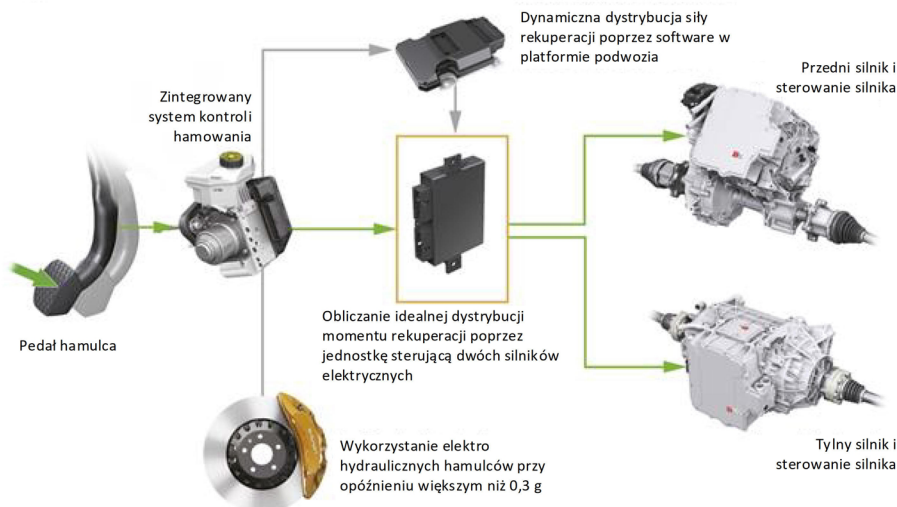
Jednym z takich układów jest system odzyskiwania energii podczas hamowania. Audi e-tron oferuje 3 poziomy rekuperacji oraz klasyczne żeglowanie jedynie z oporami toczenia. Przełączanie pomiędzy poszczególnymi trybami odbywa się za pomocą łopatek na wieńcu kierownicy. Idea rekuperacji energii hamowania w Audi e-tron została przedstawiona na rysunku 4.18.



Rys. 4.18. Idea rekuperacji energii hamowania w Audi e-tron [17]

W najwyższym trybie odzysku energii hamowania, tempo wytracania prędkości jest całkiem duże. Według oficjalnych danych Audi, może wygenerować ono opóźnienie nawet rzędu 0,3 g. Jazda z „użyciem jednego pedału” nie jest jednak w 100% możliwa, gdyż Audi e-tron nie zatrzyma się całkowicie bez wciśnięcia hamulca roboczego. Jest to typowe dla większości samochodów elektrycznych. Odzyskiwaniem większości energii generowanej podczas wytracania prędkości, zajmuje się silnik z tyłu, dzięki czemu nie obserwuje się nurkowania pojazdu podczas zdejmowania nogi z pedału przyspiesznika. System rekuperacji energii hamowania w Audi e-tron został przedstawiony na rysunku 4.19. Można zobaczyć, że jest to zaawansowany system mechatroniczny, składający się z wielu komponentów mechanicznych, elektrycznych i informatycznych. Obliczaniem idealnej dystrybucji momentu rekuperacji, zajmuje się jednostka ste-

rującą dwóch silników elektrycznych. Dodatkowo jest ona wspierana poprzez dynamiczną dystrybucję siły hamowania, którą zajmuje się software w platformie nadwozia.



Rys. 4.19. System rekuperacji energii hamowania w Audi e-tron [17]

Opcjonalnie do Audi e-tron można dokupić wirtualne lusterka zewnętrzne przedstawione na rysunku 4.20. Zamiast klasycznego rozwiązania, po obydwu stronach auta zobaczyć można ramiona z zestawem kamer. Jest tam umieszczony drugi obiektyw do obsługi systemu kamer 360 stopni. W środku pojazdu, na bokach drzwi, umieszczono dwa 7-calowe ekrany OLED o rozdzielczości 1280×800 pikseli. Zastosowanie wirtualnych lusterek to naturalny krok w procesie zmniejszania oporów powietrza. Tylko one zmniejszają współczynnik oporów powietrza C_x z 0,28 na 0,27, co stawia Audi e-trona na szczycie tego typu samochodów właśnie pod względem aerodynamiki.



Rys. 4.20. Wirtualne lusterka zewnętrzne w Audi e-tron [55]

4.4. Rezultaty

Audi e-tron w sposób ciągły i w pełni płynny, reguluje idealny rozkład momentów napędowych między dwiema osiami. Odbywa się to w dodatku w ułamku sekundy. Dzięki temu elektryczny SUV może osiągnąć optymalną trakcję w każdych warunkach pogodowych i na każdym rodzaju nawierzchni.

W większości przypadków Audi e-tron wykorzystuje głównie tylny silnik elektryczny aby osiągnąć najwyższą sprawność. Moment obrotowy jest rozłożony z ukierunkowaniem na tylną oś. Jeśli kierowca potrzebuje więcej mocy, niż może dostarczyć tylny silnik elektryczny, elektryczny napęd na wszystkie koła redystrybuuje wymagany moment obrotowy również na przednią oś. Następuje to również w sposób predykcyjny, zanim dojdzie do poślizgu na oblodzonej nawierzchni lub podczas szybkiego pokonywania zakrętów a także w przypadku podsterowności lub nadsterowności samochodu. Tylko około 30 milisekund mija od chwili, gdy system rozpozna sytuację na drodze, a moment obrotowy silnika elektrycznego zacznie działać. Dzieje się tak, ponieważ elektryczny system napędu na wszystkie koła rozprowadza energię elektryczną, a nie uruchamia mechaniczne sprzęgła.

Kluczem do efektywnego sterowania napędem elektrycznym na wszystkie koła, jest inteligentne połączenie wielu systemów sterowania. Centralna jednostka sterująca zawieszeniem, integruje zarówno sterownik obsługi napędu quattro, jak i selektywne sterowanie momentem obrotowym kół. W przypadku wykrycia podsterowności podczas jazdy sportowej, delikatnie hamuje wewnętrzne koła, które są pod mniejszym obciążeniem, kierując w ten sposób moment obrotowy na koła zewnętrzne. Samochód wjeżdża w zakręt i precyzyjnie podąża za kątem skrętu kierownicy. Ponadto innowacyjny system antypoślizgowy zapewnia wysoką przyczepność i stabilność. Poślizg kół jest kontrolowany bezpośrednio przez elektronikę mocy silników elektrycznych. Odbywa się to 50 razy szybciej niż wcześniej, a moment napędowy wszystkich kół jest dokładniej dostosowany do sytuacji na drodze. Dla kierowcy jest to szczególnie zauważalne, w połączeniu z czterostopniowymi trybami działania, elektronicznego układu stabilizacji toru jazdy (ESC).

Pozwala to kierowcy wybrać pożądaną poziom wsparcia stabilizacji pojazdu i poprawić osiągi na drodze, w określonych sytuacjach. Dlatego ESC obejmuje tryby sportowe i terenowe, a nawet można go całkowicie wyłączyć. Ponadto charakterystykę Audi e-tron można dostosować do różnych typów terenu za pomocą standardowego systemu dynamicznego prowadzenia. Niezależnie od tego, czy jest to spokojna jazda, dynamiczne pokonywanie zakrętów czy wycieczki poza utartymi szlakami, kierowca może wybierać między siedmioma profilami w zależności od sytuacji na drodze, warunków drogowych lub osobistych wymagań. Oprócz charakterystyki układu napędowego i wspomagania układu kierowniczego, Audi drive select wpływa również na standardowe zawieszenie pneumatyczne adaptacyjne z kontrolowanymi amortyzatorami. W rezultacie istnieje ogromna różnica między komfortem płynnego toczenia a sportowym, stabilnym prowadzeniem. Zawieszenie pneumatyczne dostosowuje się indywidualnie do warunków drogowych, w zależności od prędkości i preferencji kierowcy, zmieniając wysokość jazdy aż o 76 milimetrów od podstawowego prześwitu wynoszącego 172 milimetrów. Na autostradzie nadwozie jest obniżane aż o 26 milimetrów, co poprawia stabilność i aerodynamikę, ułatwiając tym samym osiągnięcie dużego zasięgu. W trybie „offroad” prześwit zwiększa się o 35 milimetrów. Jeśli kierowca włączy również funkcję „Lift” w Audi drive select, nad-

wozie zostanie podniesione o dodatkowe 15 milimetrów. Jest to ewidentną zaletą przy jeździe w ciężkim terenie. Kluczowym czynnikiem dla sportowego charakteru i wyjątkowej dynamiki poprzecznej, jest niskie i centralne położenie, w którym zamontowane są główne elementy napędowe. System akumulatorów wysokonapięciowych jest optymalnie dopasowany do wymiarów Audi e-tron i znajduje się między osiami w postaci płaskiego, szerokiego bloku pod kabiną pasażerską. To sprawia, że środek ciężkości Audi e-tron jest podobny do sedana. Rozkład obciążenia osi jest doskonale wyważony i wynosi prawie 50:50. Przednie i tylne zawieszenie to konstrukcja składająca się z pięciu wahaczy. Standardowy progresywny układ kierowniczy dostosowuje bezpośrednie przełożenie w zależności od kąta skrętu i zapewnia wspomaganie zależne od prędkości jazdy.

Autor miał przyjemność testować pojazd Audi e-tron. Szczególnie warty podkreślenia jest komfort tego elektrycznego SUVa. Autor ma tu na myśli nie tylko jakość resorowania, ale ogólną izolację od czynników zewnętrznych – szczególnie pod względem akustycznym. Warto też zauważyć, że da się tym autem jeździć bez konieczności monotonnej lektury instrukcji obsługi. To ważny aspekt, szczególnie dla potencjalnych klientów Audi e-tron. Widać też, że inżynierowie chcieli zaprojektować naprawdę dopracowany samochód, a nie ograniczyli się po prostu do wstawienia dużych akumulatorów i silników elektrycznych do istniejącego już modelu. Cennik Audi e-tron 55 quattro w Polsce rozpoczyna się od kwoty 342 800 zł, a niemal maksymalnie wyposażony samochód kosztuje 440 tys. zł. To w sumie zbliżona cena do Audi SQ5 TDI o podobnej mocy i jednocześnie nieco niższa od Jaguara I-Pace.

Pojawia się pytanie: Drogi elektryczny SUV - czy to jest przepis na sukces? Dla Audi, w dobie pandemii COVID, jak najbardziej. Niemiecka marka może świętować, zwłaszcza po zweryfikowaniu wyników sprzedaży w Europie. Audi e-tron wybrało blisko dwukrotnie więcej klientów w 2020 roku niż w roku poprzednim. Sprzedaż tego auta wzrosła o 86,8% w pierwszym półroczu 2020 roku. Na całym świecie sprzedano 17 641 samochodów [57]. Nie jest to imponujący wynik, ale warto na niego zwrócić uwagę. Są takie kraje, gdzie Audi e-tron to najpopularniejszy model marki. Sytuacja taka ma na przykład miejsce w Norwegii. Co ciekawe w tym kraju to właśnie elektryczne Audi jest

nie tylko najpopularniejszym pojazdem elektrycznym, ale też i najczęściej wybieranym samochodem osobowym. Tesla wciąż ustępuje miejsca modelowi z Ingolstadt - niezmiennie od blisko roku.

Audi e-tron stanowi także kluczowy udział w sprzedaży w Islandii, w Izraelu (14%) i w Szwecji (12%). Warto też zwrócić uwagę na sprzedaż Audi e-tron w USA. To właśnie tam niemiecki Audi e-tron miał stać się konkurencją dla Tesli. Tymczasem Amerykanie niechętnie wybierają niemiecki model, choć marka ta cieszy się tam dobrą opinią.

Niemcy wprowadzają na rynek nowe warianty Audi e-trona - Sportback i sportową wersję S. Niedługo można będzie kupić także Audi e-tron GT, który jest konstrukcyjnym kuzynem Porsche Taycan. Niedługo ma się pojawić również w sprzedaży rodzinne Audi Q4, które wykorzysta platformę MEB. To właśnie ten model może być kluczowym produktem marki w czasach elektromobilności.

5. Budowa pojazdu elektrycznego Tesla

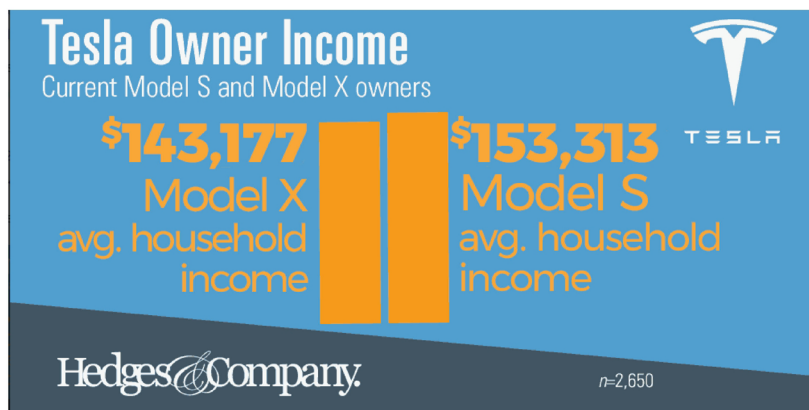
5.1. Klient

Na wstępie do tego rozdziału należy postawić pytanie: Kiedy pojazdy elektryczne będą dostępne dla dużej grupy klientów? Największy producent pojazdów elektrycznych na świecie, amerykańska firma Tesla, postanowiła zrobić badania mające na celu dokonanie charakterystyki klientów kupujących wybrane modele pojazdów elektrycznych. Może wyniki tych badań zbliżą nas do odpowiedzi na postawione na wstępie pytanie.

5.1.1. Charakterystyka klientów Tesli X i S

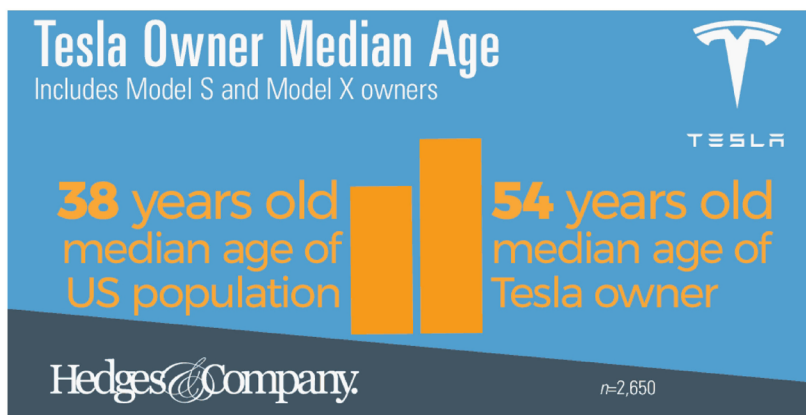
Przedstawianie wyników badań zostanie rozpoczęte od modeli, które wcześniej trafiły na rynek, czyli od Tesli model S i model X. Następnie zostaną przedstawione wyniki badań dla najtańszego modelu, czyli Tesli 3.

Średni dochód gospodarstwa domowego właściciela Tesli, model X, wynosi 143,177 USD rocznie. Średni dochód gospodarstwa domowego właściciela Tesli Model S, jest nieco wyższy i wynosi 153 313 USD rocznie. Dane dotyczące średniego rocznego dochodu właścicieli pojazdów Tesla model X i model S przedstawiono na rysunku 5.1.



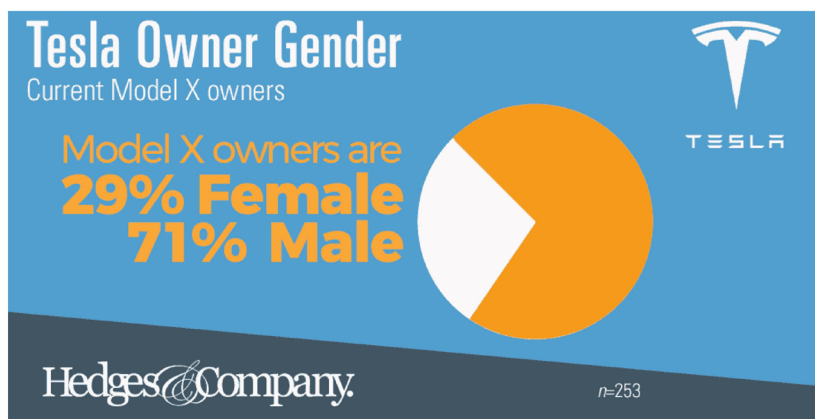
Rys. 5.1. Średni dochód właścicieli Tesli model X i model S [61]

Właściciele Tesli to starsza grupa demograficzna. Dane pokazują, że średni wiek właściciela Tesli Model S i Model X wynosi nieco mniej niż 54 lata, w porównaniu do 38 lat dla populacji USA. Średni wiek właściciela Modelu X wynosi dokładnie 52 lata, a średni wiek właściciela Modelu S to 54 lata, co przedstawiono na rysunku 5.2.



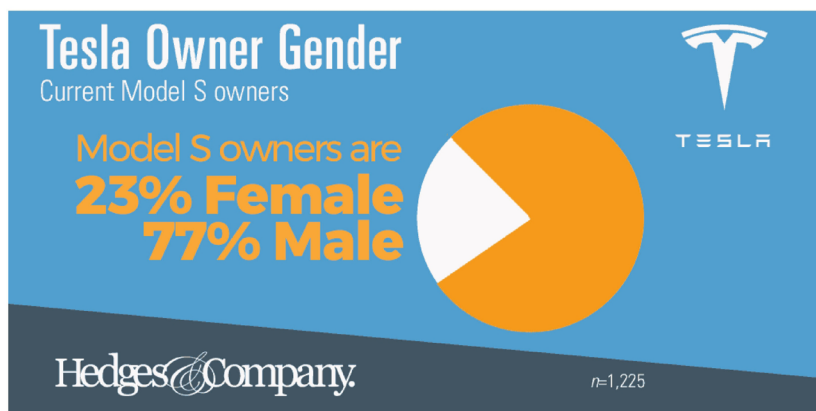
Rys. 5.2. Mediana wieku właścicieli Tesli model X i model S [61]

Właściciele Modelu X stanowią w większym odsetku mężczyźni. Kobiety posiadają 29% pojazdów Modelu X, a mężczyźni 71%, co przedstawiono na rysunku 5.3.



Rys. 5.3. Płeć właścicieli Tesli model X [61]

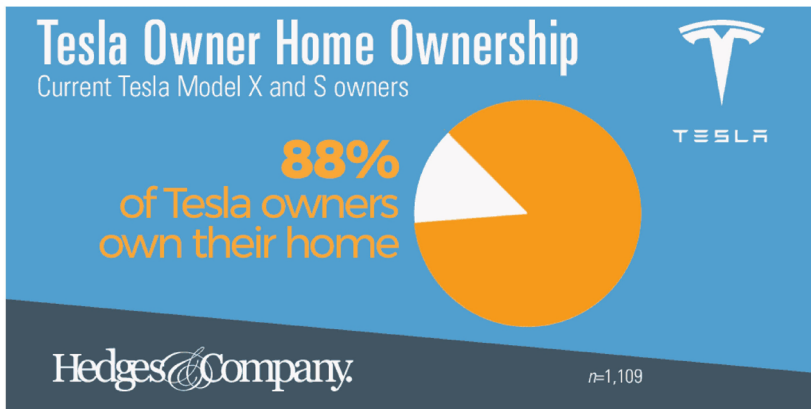
Tesla Model S, będący czterodrzwiowym sedanem, posiada zwykle więcej mężczyzn niż Model X. Mężczyźni posiadają 77% pojazdów Model S, a kobiety 23%. Liczby są oparte na próbie 253 właścicieli Tesli Model X i 1225 właścicieli Tesli Model S. Wyniki tychże badań przedstawiono na rysunku 5.4.



Rys. 5.4. Płeć właścicieli Tesli model S [61]

88% obecnych właścicieli Tesli posiada własny dom. To pozostawia tylko 12% właścicieli Tesli jako najemców domów (rysunek 5.5). Dla porównania, odsetek Amerykanów posiadających własny dom wahał się w ostatnich latach od około 64% do 67%. To daje wła-

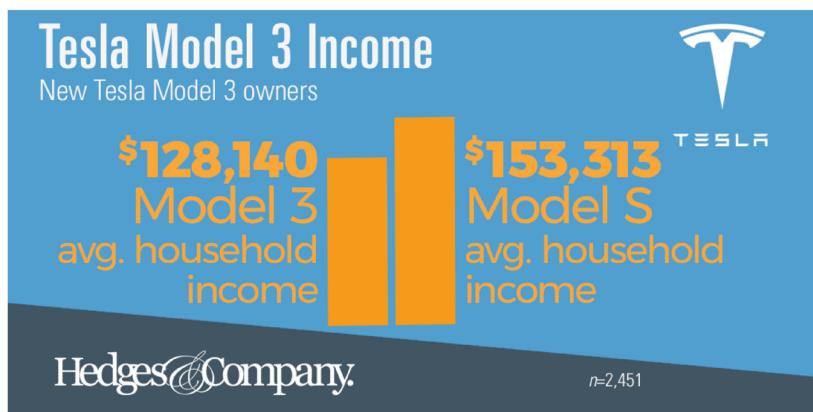
ścicielom Tesli pełne, od 21 do 24 punktów więcej, za posiadanie domu niż ogół populacji. Średnia wartość domu właściciela Tesli to 348 167 USD. Ponieważ wielu właścicieli Tesli znajduje się na obszarach, w których wartości nieruchomości są wysokie (na przykład w Kalifornii), liczba ta jest naturalnie wyższa. Mimo to jest oczywiste, że właściciel Tesli jest zamożny.



Rys. 5.5. Posiadanie domu właścicieli Tesli model X [61]

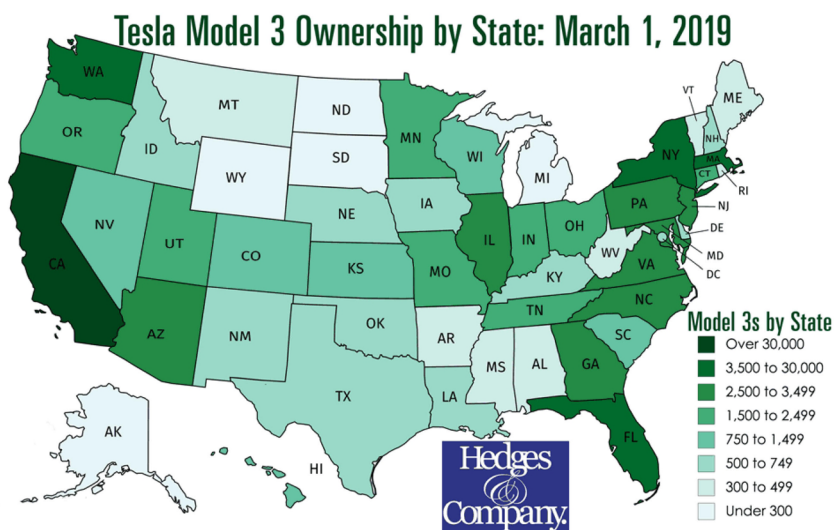
5.1.2. Charakterystyka klientów Tesli 3

Gospodarstwo domowe właściciela Tesli Model 3 zarabia 128 140 USD rocznie. Właściciel Tesli Model S ma średni dochód na gospodarstwo domowe w wysokości 153 313 USD, co przedstawiono na rysunku 5.6.



Rys. 5.6. Średni przychód właścicieli Tesli model 3 i model S [61]

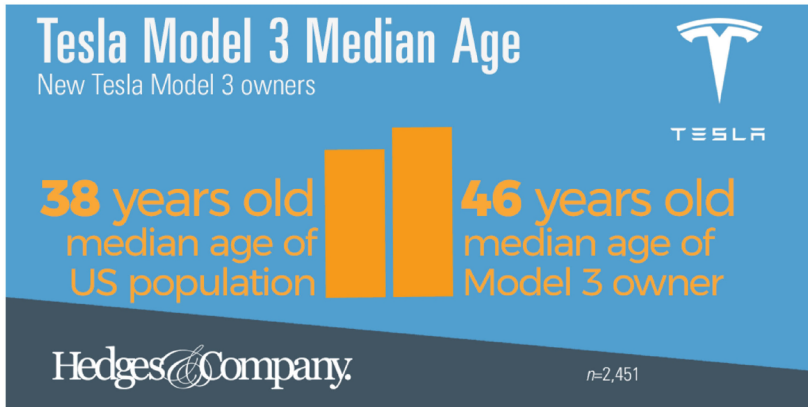
Większość właścicieli Tesli mieszka w Kalifornii, co przedstawiono na rysunku 5.7. W tym stanie dochód jest wyższy niż średnia krajowa dla całych Stanów Zjednoczonych.



Rys. 5.7. Właściciele Tesli Model 3 z podziałem na stany [61]

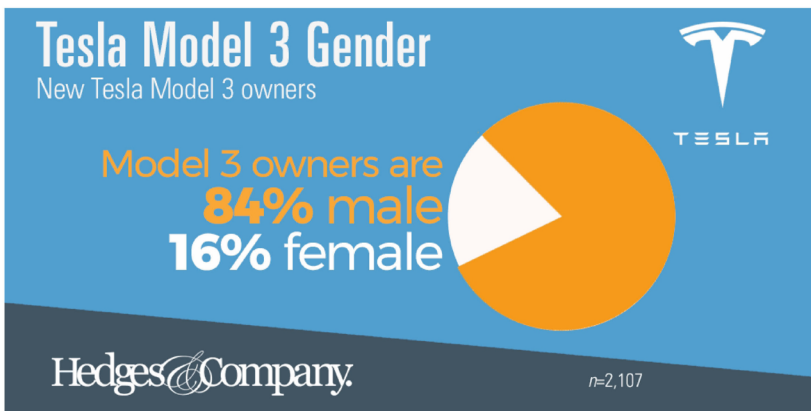
Właściciele Tesli Model S są zwykle w starszej grupie demograficznej. Ważną wiadomością jest to, że Model 3 sprzedaje się wyraźnie w młodszej grupie demograficznej, co przedstawiono na rysunku 5.8.

Dane pokazują, że średni wiek właściciela Tesli Model 3 to 46 lat. Dla porównania 38 lat wynosi średni wiek dla całej populacji USA. Także osoby zainteresowane kupnem Modelu 3 są młodsze niż inni właściciele Tesli.



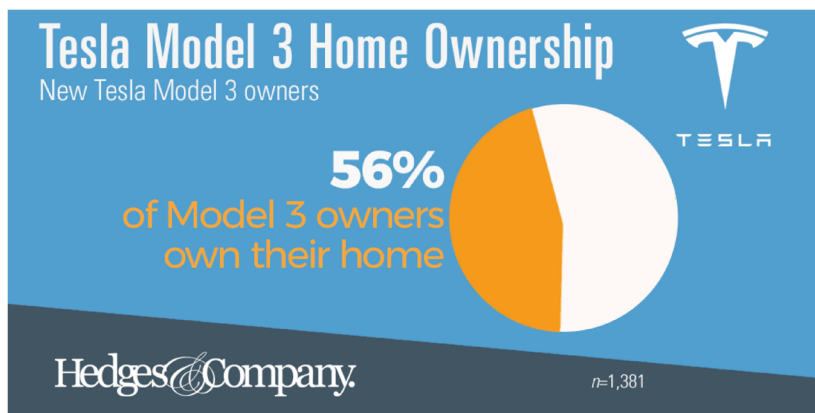
Rys. 5.8. Średni wiek właścicieli Tesli model 3 i model S [61]

Właściciele Tesli Model 3 to w większości mężczyźni. Kobiety posiadają tylko 16% tychże pojazdów, a mężczyźni 84%, co przedstawiono na rysunku 5.9. To sprawia, że Model 3 jest najbardziej „męskim” z modeli Tesli. Mężczyźni posiadają 77% pojazdów Tesli model S, a kobiety 23%. Mężczyźni „spadają” do 71% w przypadku Tesli model X, w porównaniu do 29% kobiet.



Rys. 5.9. Płeć właścicieli Tesli model 3 [61]

Tylko 56% obecnych właścicieli Tesli Model 3 posiada własny dom. To znacznie mniej niż właściciele Modeli S lub X. Odsetek Amerykanów posiadających własny dom wahał się w ostatnich latach od około 64% do 67%. Właściciele Tesli model 3 są mniej skłonni do posiadania swojego domu niż ogół społeczeństwa, co przedstawiono na rysunku 5.10.



Rys. 5.10. Posiadanie domu przez właścicieli Tesli model 3 [61]

Z przedstawionych danych wynika, że pojazdy elektryczne marki Tesla są coraz bardziej dostępne dla młodszych i mniej zamożnych klientów. Wprowadzenie do sprzedaży przez firmę Tesla niskobudżetowego Modelu 3 przyczyniło się do dużego upowszechnienia pojazdów elektrycznych zarówno w USA, jak i na całym świecie.

5.2. Potrzeba

Tesla została założona w 2003 roku przez grupę inżynierów, którzy chcieli udowodnić, że ludzie nie muszą iść na kompromis, aby używać samochodów elektrycznych. Na przestrzeni lat udowodnili oni, że pojazdy te mogą być lepsze, szybsze i przyjemniejsze w prowadzeniu niż napędzane silnikiem spalinowym [60]. Dzisiaj Tesla nie tylko produkuje w pełni elektryczne samochody, ale tworzy także nieskończone skalowalne produkty do generowania i magazynowania czystej energii. Działalność Tesli opiera się na założeniu, że im szybciej świat odchodzi od paliw kopalnych i zmierza do bezemisyjnej przyszłości, tym lepiej.

Wraz z wprowadzeniem na rynek w 2008 roku modelu Roadster zaprezentowano najnowsze rozwiązania firmy Tesla w dziedzinie technologii baterii i elektrycznego układu napędowego. Od tego czasu Tesla zaprojektowała od podstaw pierwszy na świecie w pełni elektryczny sedan, którym jest Model S. Stał się on najlepszym samochodem w swojej klasie, w każdej kategorii. Łącząc bezpieczeństwo, wydajność i sprawność, Model S całkowicie zmienił światowe oczekiwania dotyczące samochodu XXI wieku, dzięki największemu zasięgowi wśród samochodów elektrycznych, bezprzewodowym aktualizacjom oprogramowania, które nieustannie go udoskonalała. Stało się to także dzięki rekordowemu przyspieszeniu od 0 do 60 mil na godzinę w ciągu 2,28 sekundy, według pomiarów przeprowadzonych przez Motor Trend. W roku 2015 Tesla rozszerzyła swoją linię produktów o Model X, najbezpieczniejszy, najszybszy i najbardziej wszechstronny SUV w historii, który uzyskał od National Highway Traffic Safety Administration 5-cio gwiazdkowe oceny bezpieczeństwa we wszystkich kategoriach. Realizując „Secret Master Plan” Elona Muska, Tesla przedstawiła w 2016 roku Model 3. Jest to niedrogi, masowy samochód elektryczny, który wszedł do fazy produkcji w 2017 roku. Niedługo później Tesla zaprezentowała najbezpieczniejszy i najwygodniejszy pojazd ciężarowy w historii – Tesla Semi – który powstał w celu zapewnienia użytkownikom oszczędności w wysokości co najmniej 200 000 USD na każdy milion mil, licząc wyłącznie koszty paliwa. W 2019 roku Tesla zaprezentowała Model Y, średniej wielkości SUV z miejscem dla nawet siedmiu osób, oraz Cybertruck – samochód o wszechstronności większej od tradycyjnych pikapów i osiąгах lepszych od samochodów sportowych [60].

Samochody Tesla są produkowane w fabryce firmy we Fremont w Kalifornii i Gigafactory w Szanghaju. Aby osiągnąć swój cel, jakim jest posiadanie najbezpieczniejszych fabryk na świecie, Tesla aktywnie podchodzi do zagadnień bezpieczeństwa, wymagając od pracowników produkcyjnych uczestnictwa w wielodniowym programie szkoleniowym zanim wejdą do hali produkcyjnej. Na dalszych etapach Tesla zapewnia codzienne szkolenia w miejscu pracy i codziennie monitoruje wydajność, dzięki czemu można szybko wprowadzać ulepszenia. W rezultacie poziom bezpieczeństwa w firmie Tesla nieustannie się poprawia, a produkcja rośnie.

Aby stworzyć cały ekosystem zrównoważonej energii, Tesla produkuje również unikalny zestaw rozwiązań energetycznych, Powerwall, Powerpack i Solar Roof, umożliwiając właścicielom domów, przedsiębiorstwom i dostawcom mediów, zarządzanie wytwarzaniem, magazynowaniem i zużyciem energii odnawialnej. Wsparcie produktów motoryzacyjnych i energetycznych firmy Tesla zapewnia Gigafactory 1. Fabryka ta zaprojektowana została z myślą o znacznym obniżeniu kosztów ogniw baterii. Dzięki samodzielnej produkcji ogniw Tesla dostosowuje liczbę produkowanych baterii do przyjętych celów produkcyjnych, a zarazem tworzy tysiące miejsc pracy.

A to dopiero początek. Tesla tworzy obecnie najbardziej przystępny cenowo samochód swojej marki, aby móc nieustannie zapewniać ogólnodostępne i korzystne cenowo produkty coraz większej liczbie osób. W ten sposób przyspiesza nadejście ery czystego transportu i produkcji czystej energii. Samochody elektryczne, baterie oraz systemy wytwarzania i magazynowania energii odnawialnej są już obecne w naszym otoczeniu jako odrębne dziedziny gospodarki, ale ich połączenie przynosi jeszcze lepsze efekty [60].

5.3. Rozwiązanie

5.3.1. Budowa nadwozi

Omawiając komponenty pojazdu elektrycznego wpływające na jego zasięg, na przykładzie samochodu Tesla model S, konieczne jest w pierwszej kolejności krótkie scharakteryzowanie jego nadwozia. Samochód Tesla Model S wyznacza w samochodowej branży nowe standardy dla pojazdów elektrycznych w zakresie sprawności i bezpieczeństwa. Zastosowany w tym modelu elektryczny układ napędowy, zapewnia bardzo dobre osiągi niemal we wszystkich warunkach pogodowych. Wśród zastosowanych rozwiązań można wymienić napęd na wszystkie koła oraz adaptacyjne zawieszenie pneumatyczne.

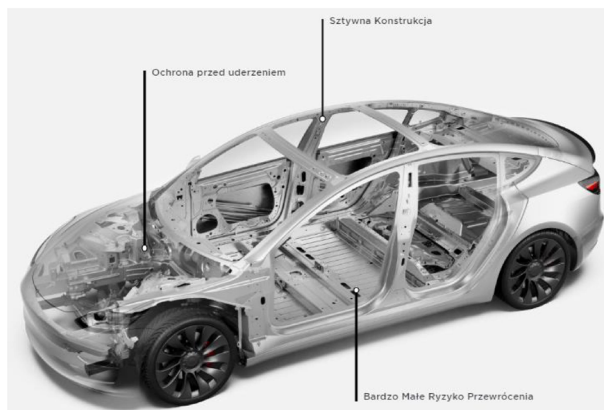


Rys. 5.11. Nadwozie pojazdu Tesla model S

Aż 98% nadwozia Tesli Model S jest zbudowane z aluminium. Do jego wytworzenia wykorzystano około 60 oddzielnych cewek aluminiowych, przy czym każda z nich przeznaczona jest na inny element. Podczas produkcji cewki te są rozwijane, spłaszczane i cięte w maszynie wykrawającej. Dodatkowe cięcie odbywa się również za pomocą wycinarki laserowej. Całkowita masa aluminium zastosowanego w Modelu S wynosi około 190 kg. W trakcie produkcji robot przenosi aluminiowe półfabrykaty do linii pras tandemowych, gdzie z przygotowanych arkuszy wybija się poszczególne części nadwozia samochodów. Do formowania paneli nadwozia prasy wykorzystują siłę do 11 000 ton: górna sekcja stosuje 1400 ton siły skierowanej w dół, a dolna sekcja - 130 ton. Pustą blachę aluminiową naciąga się na dolną matrycę wyciągową, a otwory wycinane są z pomocą robotów przenoszących panele między procesami. Po zakończeniu tego etapu pracownicy sprawdzają każdy panel, aby ocenić prawidłowość procesu tłoczenia. Części są następnie układane w ramki i przechowywane. Według szacunków co 6 sekund maszyny w fabrykach Tesli tłoczą kolejną część nadwozia. Łącznie urządzenia te są w stanie wytworzyć 5 000 części dziennie [11].

Najważniejszym czynnikiem kształtującym konstrukcję Tesli Model 3 jest bezpieczeństwo. W metalowej strukturze zastosowano po-

łączenie stali i aluminium, które zapewnia najwyższą wytrzymałość wszystkich sekcji (patrz rysunek 5.12). W testach zgniecenia dachu Tesli Model 3, nawet w wersji ze szklanym dachem, był w stanie wytrzymać nacisk czterokrotnie przekraczający jego masę.



Rys. 5.12. Nadwozie pojazdu Tesla model S

Jednostka napędowa jest montowana w zespole tylnej osi. W tym celu konieczne jest podniesienie samochodu. Warto przy tym dodać, że jednostka napędowa dostarcza moc bezpośrednio do kół, bez wykorzystania wału napędowego [11].

Bateria trakcyjna stosowana w omawianym modelu samochodu waży prawie 540 kg. Po dostarczeniu na miejsce instalacji jest ona umieszczana w samochodzie za pomocą specjalnego podnośnika. Należy przy tym zaznaczyć, że umieszczenie zestawu akumulatorów pod podłogą kabiny zwiększa wytrzymałość i sztywność samochodu oraz obniża środek ciężkości pojazdu do wartości 46 cm. Nad zestawem baterii zainstalowano tytanową płytę, która chroni wspomniany zestaw w przypadku zderzenia z innym obiektem przy jeździe z dużą prędkością. Ponadto płyta ta chroni go również przed zanieczyszczeniami drogowymi [11].

Rozwiązania zastosowane w elektrycznym Modelu S, stanowią wyraźne ulepszenie w stosunku do konwencjonalnych układów napędu na wszystkie koła, występujących w pojazdach z silnikami spalinowymi. Dzięki dwóm silnikom elektrycznym (jednym z przodu i jednym z tyłu), w Modelu S można w sposób cyfrowy i niezależny kontrolować moment obrotowy na przednich i tylnych kołach.

Tradycyjne samochody z napędem na wszystkie koła wykorzystują złożone mechaniczne połączenia, aby rozdzielić moc z jednego silnika na wszystkie cztery koła. Taki stan rzeczy przyczynia się do zmniejszenia wydajności układu napędowego na rzecz przyczepności przy każdej pogodzie. Napęd na wszystkie koła jest standardem w Modelu S 70D. Może też być dostępny jako opcja w Modelu S 85. Model S Performance jest standardowo wyposażony w podwójny silnik z napędem na wszystkie koła, łącząc wysokowydajny silnik tylny z wysokosprawnym silnikiem przednim, aby osiągnąć przyspieszenie od zera do 60 mil na godzinę w 3,1 sekundy.

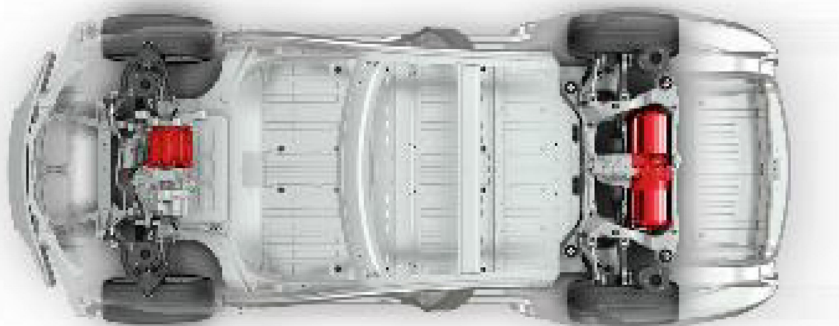
Różne konfiguracje silników w układach napędowych pojazdów marki Tesla przedstawiono na rysunkach od 5.13 do 5.15.



Rys. 5.13. Napęd na tylne koła



Rys. 5.14. Podwójny silnik z napędem na wszystkie koła



Rys. 5.15. Wydajny napęd na wszystkie koła

5.3.2. Silniki elektryczne

Pojazd elektryczny, zwany również EV (ang. Electric Vehicle), wykorzystuje jeden lub więcej silników elektrycznych do napędu. Pojazd elektryczny może być zasilany przez system kolektora za pomocą energii elektrycznej ze źródeł zewnętrznych lub może być samowystarczalny, z akumulatorem, panelami słonecznymi lub generatorem elektrycznym do przekształcania paliwa w energię elektryczną. EV obejmują między innymi pojazdy drogowe i szynowe, jednostki powierzchniowe i podwodne, samoloty elektryczne i elektryczne statki kosmiczne [7].

Po raz pierwszy pojazdy elektryczne pojawiły się pod koniec XIX wieku, kiedy elektryczność była jedną z preferowanych metod napędu pojazdów, zapewniając poziom komfortu i łatwości obsługi, którego nie mogły osiągnąć ówczesne samochody benzynowe. Nowoczesne silniki spalinowe są dominującą metodą napędu pojazdów silnikowych od prawie 100 lat, ale energia elektryczna pozostaje powszechna w innych typach pojazdów, takich jak pociągi i mniejsze pojazdy wszystkich typów [7].

W XXI wieku samochody elektryczne ponownie się odrodziły w związku z rozwojem technologicznym i coraz większą koncentracją na energii odnawialnej. Rozwinął się duży popyt na pojazdy elektryczne, a niewielka część inżynierów działających w duchu „zrób to sam” (DIY) zaczęła dzielić się szczegółami technicznymi dotyczącymi konwersji pojazdów elektrycznych. Warto dodać, że w wielu pań-

stwach (w tym w Stanach Zjednoczonych i państwach Unii Europejskiej) wprowadzono wsparcie rządowe mające na celu zachęcić ludzi do zakupu samochodów elektrycznych.

Moc silnika elektrycznego pojazdu mierzona jest w kilowatach (kW). Wartość 100 kW jest mniej więcej równa 136 KM, ale silniki elektryczne mogą zapewnić maksymalny moment obrotowy w szerokim zakresie obrotów. Oznacza to, że osiągi pojazdu z silnikiem elektrycznym o mocy 100 kW przewyższają osiągi pojazdu z silnikiem o spalaniu wewnętrznym o mocy 100 kW. Ten ostatni rodzaj silnika może bowiem zapewnić maksymalny moment obrotowy tylko w ograniczonym zakresie prędkości obrotowej silnika [7].

Trzeba przy tym zaznaczyć, że w silnikach elektrycznych energia jest tracona podczas przetwarzania energii elektrycznej na energię mechaniczną. Około 90% energii z akumulatora jest przetwarzane na energię mechaniczną, a straty występują zarówno w samym silniku, jak i w układzie napędowym.

Zwykle prąd stały (DC) jest doprowadzany do falownika DC/AC, gdzie jest przetwarzany na prąd przemienny (AC) i tenże prąd jest podłączony do 3-fazowego silnika prądu przemiennego.

W pociągach elektrycznych, wózkach widłowych i niektórych samochodach elektrycznych często stosuje się silniki prądu stałego. W niektórych przypadkach stosuje się silniki uniwersalne, pozwalające na zastosowanie prądu przemiennego lub prądu stałego. W najnowszych pojazdach produkcyjnych wdrożono różne typy silników: silniki indukcyjne w pojazdach Tesla Motor i maszyny z magnesami trwałymi w Nissan Leaf i Chevrolet Bolt.

Zaawansowany elektryczny układ napędowy Tesli zapewnia bardzo duże przyspieszenie. W przeciwieństwie do benzynowego silnika spalinowego z setkami ruchomych części, silniki elektryczne Tesli mają tylko jeden ruchomy element, którym jest wirnik. W rezultacie przyspieszenie Modelu S jest natychmiastowe, ciche i płynne. Po wciśnięciu pedału przyspiesznika w 3,1 sekundy Model S jedzie już 60 mil na godzinę, bez wahania i bez kropli benzyny. Model S to rewolucja w branży motoryzacyjnej. Każdy silnik Modelu S jest lżejszy, mniejszy i bardziej wydajny niż jego odpowiednik z silnikiem spalinowym i napędem na tylne koła, zapewniając zarówno dłuższy zasięg, jak i większe przyspieszenie.

5.3.3. Pakiety baterii trakcyjnych

Samochód elektryczny to zazwyczaj wtyczkowy pojazd, napędzany (ang. Plug-In Electric Vehicle) przez jeden lub więcej silników elektrycznych, wykorzystujący energię zwykle przechowywaną w bateriach trakcyjnych.

W literaturze przedmiotu wyszczególnia się następujące rodzaje akumulatorów:

- akumulatory kwasowe – ołowiowe,
- akumulatory zasadowe niklowo-kadmowe (Ni-Cd),
- akumulatory zasadowe niklowo-metalowo- -wodorkowe (NiMH),
- akumulatory litowo-jonowe,
- akumulatory litowo-żelazowo-fosforowe (LFP),
- akumulatory litowo-polimerowe,
- akumulatory litowo-tytanowe,
- akumulatory potasowo-jonowe,
- superkondensatory [15, 20]

Większość pojazdów elektrycznych wykorzystuje akumulatory litowo-jonowe (litowo-jonowe lub LIB). Baterie litowo takie mają wyższą gęstość energii, dłuższą żywotność i wyższą gęstość mocy niż większość innych praktycznych typów baterii. Czynniki komplikujące, to bezpieczeństwo, trwałość, awaria termiczna i koszt. Baterie litowo-jonowe powinny być używane w bezpiecznych zakresach temperatur i napięć, w celu bezpiecznego i wydajnego działania.

Zwiększenie żywotności baterii zmniejsza efektywne koszty. Jedną z technik jest obsługiwanie podzbioru ogniw baterii jednocześnie i przełączanie tych podzbiorów.



Rys. 5.16. Moduł baterii w pojeździe Tesla

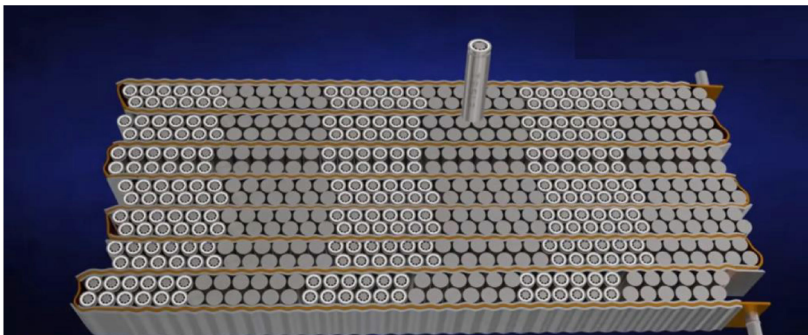
W przeszłości akumulatory niklowo-wodorkowe były używane w samochodach elektrycznych, takich jak General Motors. Te typy baterii są obecnie uważane już za przestarzałe, ze względu na ich tendencję do samorozładowywania w wysokich temperaturach. Patent na baterie posiadał Chevron, co stanowiło problem dla ich powszechnego i szybkiego rozwoju. Te przeszkody, w połączeniu z ich wysokimi kosztami, doprowadziły do powstania akumulatorów litowo-jonowych (Li-Ion), które są wiodącym typem baterii dla pojazdów elektrycznych.

Baterie Tesli to po prostu zbiór małych cel litowo-jonowych. W pierwszej kolejności tworzą one moduły (rysunek 2.5), a następnie cały pakiet baterii (rysunek 2.6).



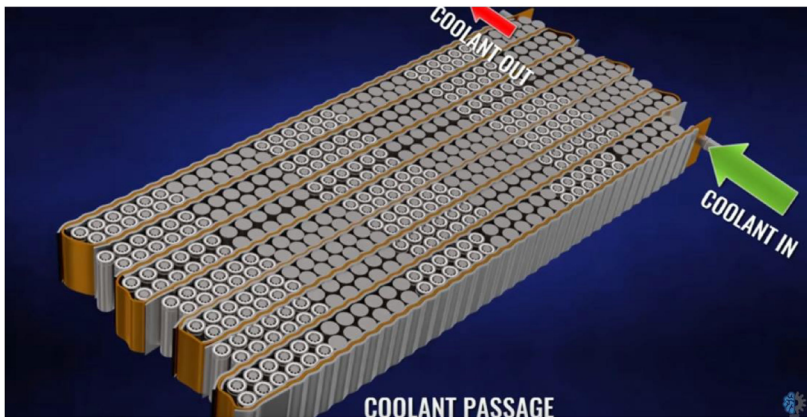
Rys. 5.17. Pakiet baterii w pojeździe Tesla

Baterie są połączone ze sobą szeregowo i równolegle, tak by magazynować energię potrzebną do zasilania samochodu elektrycznego.



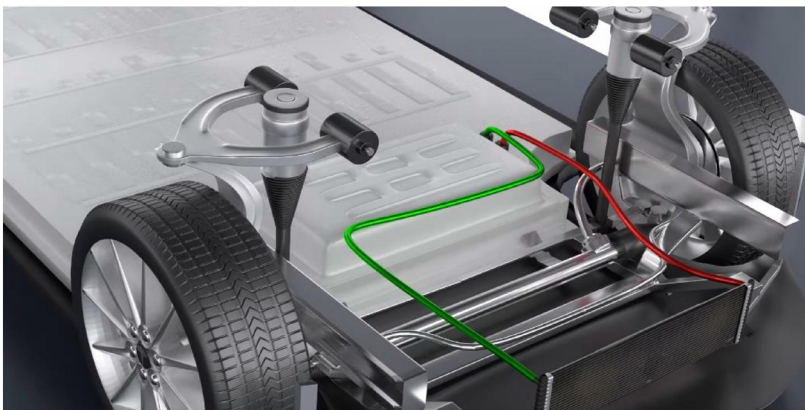
Rys. 5.18. Pojedyncze cele baterii cylindrycznych

Chłodzenie glikolowe całego pakietu bateryjnego jest przeprowadzone przez wewnętrzne metalowe kanały oraz przestrzeń między bateriami. Można przyznać, iż jest to kluczowy wynalazek Tesli. Poprzez użycie wielu małych baterii zamiast kilku dużych, zagwarantowane jest efektywne chłodzenie. W ten sposób zminimalizowane jest powstawanie miejsc o szczególnie wysokiej temperaturze.



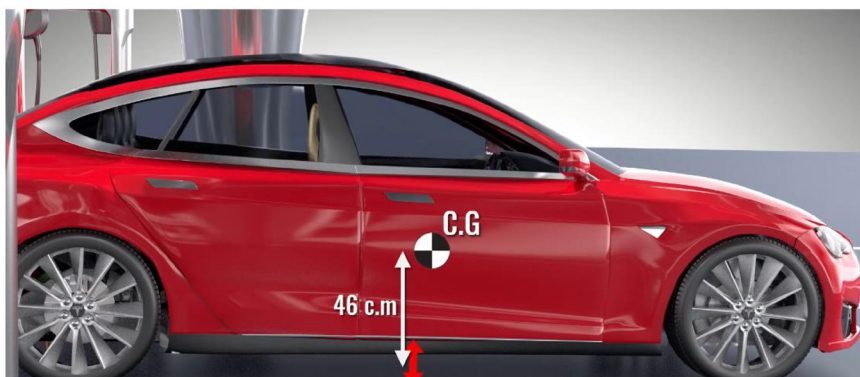
Rys. 5.19. Chłodzenie glikolowe w Tesli model S

Dodatkowo rozwiązanie to zapewnia równomierne rozprowadzenie energii na cały pakiet baterii. Przekłada się to na dłuższy okresu życia akumulatora. Rozgrzany glikol jest schładzany przez chłodnicę umieszczoną z tyłu pojazdu, jak to pokazano na rysunku 2.9.



Rys. 5.20. Chłodzenie rozgrzanego glikolu

Baterie umieszczone w modułach, obniżają środek ciężkości pojazdu, co przedstawiono na rysunku 5.21. Niższy środek ciężkości znacznie zwiększa stabilność pojazdu.



Rys. 5.21. Obniżenie środka ciężkości pojazdu

Dodatkowo bateria rozłożona na całej szerokości pojazdu wzmacnia go w trakcie uderzeń z boków.

Zasięg pojazdu elektrycznego na jednym ładowaniu jest uważany za kluczowy parametr pojazdów elektrycznych. Zwiększenie zasięgu pojazdów elektrycznych jest ważne dla akceptacji i rozwoju elektromobilności. Pojemność akumulatora jest głównym parametrem wpływającym na zasięg pojazdów elektrycznych. Aby akumulatory nie były najdroższą częścią pojazdu elektrycznego, należy skupić się na innych parametrach, takich jak ciężar, aerodynamiczny współczynnik oporu powietrza oraz odpowiednią wielkość silnika. Na zasięg wpływ mają nie tylko parametry konstrukcyjne, takie jak pojemność akumulatora, ważny jest także wpływ kierowcy. Zasięg jest głównym parametrem pojazdu elektrycznego, szczególnie „w oczach” klienta. Jednocześnie parametr ten od dawna uważany jest za główną barierę w akceptacji mobilności elektrycznej. Styl jazdy ma kluczowe znaczenie dla zasięgu a agresywna jazda znacznie zmniejsza zasięg pojazdu [1].

5.3.4. Tesla jako pojazd autonomiczny

Firma Tesla prowadzi akcje promocyjne, by zapoznawać klientów z budową swoich pojazdów. Autor pracy odwiedził jeden z salonów sprzedaży pojazdów Tesli w Norwegii, który przedstawiono na rysunku 2.2.



Rys. 5.22. Autoryzowany salon sprzedaży samochodów marki Tesla

W salonie tym oczywiście bez problemu można wsiąść za kółko najnowszej Tesli Model X, którą przedstawiono na rysunku 2.3.



Rys. 5.23. Tesla Model X

Ogromną atrakcją dla klientów salonu jest możliwość zobaczenia Tesli od środka. W salonie znajduje się przekrój podwozia pojazdu Tesla, który przedstawiono na rysunku 5.24. Dzięki takiej wizualizacji można zobaczyć kompletne zawieszenie przednie i tylne pojazdu, pakiet baterii, który znajduje się w płycie podłogowej oraz mechanizm kierowniczy. Ponadto można zobaczyć rozwiązania konstrukcyjne strefy zgniotu z przodu i z tyłu pojazdu. Inżynierowie zostawili przewody elektryczne i inne komponenty umieszczone w podwoziu. Do tego klienci mogą zobaczyć materiały i technologie użyte w budowie pojazdu elektrycznego.



Rys. 5.24. Podwozie pojazdu Tesla

Ogromne zainteresowanie, zawsze w przypadku pojazdów Tesla, budzi elektryczny układ napędowy. To właśnie on odpowiada za bardzo dobre osiągi pojazdu. Napęd elektryczny Tesli został przedstawiony na rysunku 2.5. W przypadku tego egzemplarza jest to na-

pęd na koła tylne z wykorzystaniem jednego silnika elektrycznego z reduktorem. Z reduktora wychodzą półosie napędzające dwa koła tylne. Dzięki charakterystyce silnika elektrycznego poszczególne modele Tesli są w stanie przyspieszać od 0 do 100 km/h w mniej niż 5 sekund. Silniki elektryczne pojazdów elektrycznych posiadają maksymalny moment obrotowy już od zerowej prędkości obrotowej. Ponadto nie mają w ogóle skrzyń biegów, tylko reduktor o stałym przełożeniu. W pojazdach elektrycznych najczęściej wykorzystywane są silniki asynchroniczne lub synchroniczne prądu przemiennego z magnesami trwałymi. Większą sprawnością charakteryzują się silniki synchroniczne, ale są one jednocześnie droższe od asynchronicznych. W różnych modelach Tesli występują obydwa typy silników.



Rys. 5.25. Elektryczny układ napędowy pojazdu Tesla

W samochodach autonomicznych dodatkowymi elementami oprócz tych wskazanych w rysunku 2.1. są mechanizmy odpowiadające za możliwość kierowania oraz komputer pokładowy wspierany przez czujniki, radary i kamery.

Panel sterowania to miejsce w samochodzie, gdzie wyświetlane są wyniki przetwarzania komputerowego. Jest to miejsce, gdzie można również wprowadzić dane, które komputer ma przetworzyć. Współczesne panele sterowania posiadają coraz mniej przycisków a zdecydowana większość funkcji może być obsługiwana poprzez panele dotykowe lub centralne wyświetlacze. Taki wyświetlacz posiada samochód Tesla. Rysunek 2.6 przedstawia panel sterowania, który właśnie jest jednocześnie wyświetlaczem. Jest to sposób na usunięcie przycisków, które odpowiadają za drobne funkcje. Wyświetlacz pokazuje wszystkie informacje, które interesują użytkownika. W Tesli jest on miejscem gdzie można również wprowadzić dane. Poczynając od ustawienia temperatury w pojeździe oraz nawiewu a kończąc na ustawieniu celu podróży i ustawieniu autopilota. Panel połączony jest z komputerem, który przetwarza wszystkie dane wprowadzone przez kierowcę i łączy je z aktualnymi danymi z czujników i kamer. Takie rozwiązanie pozwoliło na stworzenie autonomicznego pojazdu dopuszczonego do ruchu w wielu krajach Europy i świata.

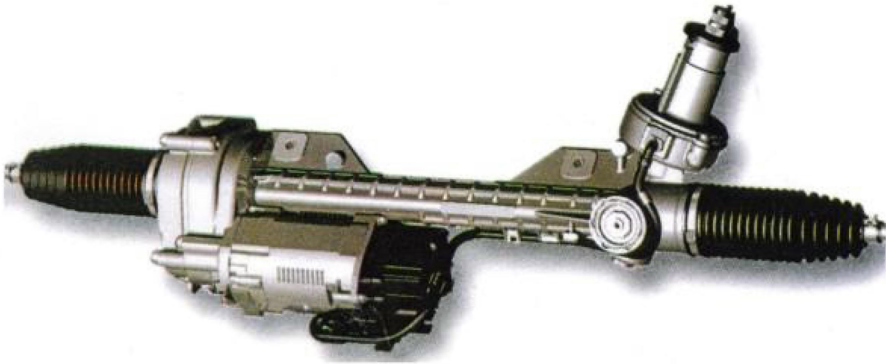
Panel sterowania oraz jazda na tzw. autopilocie pojazdem Tesla przedstawiono na rysunku 5.26.



Rys. 5.26. Panel sterowania samochodu Tesla

Układy automatycznego kierowania w samochodach autonomicznych, to nie tylko wspomaganie układu kierowniczego ale także czujniki i radary. Rysunek 5.27 przedstawia współczesny układ kierowniczy. Składa się on z przekładni kierowniczej i silnika elektrycznego, który

w przypadku jazdy konwencjonalnej spełnia funkcję wspomagania kierownicy. Jeśli samochód przechodzi w tryb autonomiczny, ten sam silnik pełni funkcję głównego mechanizmu sterowania pojazdem w kwestii mechanicznej. Wszystkie układy kierowania działają na zasadzie komend wydawanych przez komputer. Zostało to opisane w tym podrozdziale opierając się na modelu Tesla Model S.



Rys. 5.27. Elektryczne wspomaganie układu kierowniczego [64]

Na rysunku 5.28 przedstawiono tylne koło pojazdu Tesla wraz z zawieszeniem.



Rys. 5.28. Tylne koło Tesli

5.4. Rezultaty

Tesla Model 3 to trzeci etap oryginalnego planu firmy Tesla, która zaczynała od drogiego modelu sportowego Tesla Roadster, poprzez luksusowe auta Tesla Model S/Tesla Model X i docelowo zamierzała wprowadzić na rynek auto przystępne cenowo.

Model 3 zgodnie z zapowiedziami sprzed lat, wszedł na rynek z ceną podstawową 35 000 USD za wersję Standard. Mocniejsza wersja Long Range w momencie premiery została wyceniona na 44 tys. USD. Średnia oczekiwana cena sprzedaży, podana jeszcze przed wprowadzeniem aut na rynek, to 42 000 USD [58].

Sprzedaż rozpoczęła się oficjalnie 28 lipca 2017 roku od wersji Long Range. Auto produkowane jest w Tesla Factory we Fremont w Kalifornii i docelowo ma powstawać nawet 500 000 sztuk rocznie. Akumulatory litowo-jonowe dla Modelu 3 produkowane są w zakładzie Tesla Gigafactory w Nevadzie.

Tesla Model 3 posiada zasięg rzędu 350 km (wersja Standard) oraz nawet 500 km (wersja Long Range). W momencie wprowadzenia na rynek dostępne były tylko wersje z napędem na tylną oś. Wiosną 2018 roku wprowadzono do sprzedaży wersje dwusilnikowe.

Auta firmy Tesla mogą korzystać z sieci Superładowarek (ang. Superchargers), ale jest ona odpłatna. Opcjonalnie dostępne są także funkcje autonomicznej jazdy. Model 3 z założenia ma być najbezpieczniejszym w swojej klasie.

Tesla Model 3 posiada wiele unikalnych rozwiązań, począwszy od autoryzacji poprzez aplikację w telefonie (lub kartę, rozmiarowo odpowiadającą karcie płatniczej), osobliwe klamki, czy 15-calowy dotykowy ekran centralny.

2020 rok był przełomowym dla amerykańskiego producenta pojazdów elektrycznych – firmy Tesla. Z fabryk na całym świecie wyjechało ponad pół miliona samochodów, a do sprzedania równych 500 000 zabrakło tylko 450 sztuk. Klienci już to nadrobili w pierwszych dniach stycznia 2021 roku. Firma pochwaliła się osiągnięciami w produkcji i w sprzedaży aut elektrycznych w jednym z mediów społecznościowych, co przedstawiono na rysunku 5.29.



Rys. 5.29. Wyniki produkcji i sprzedaży pojazdów Tesla w 2020 roku [63]

To duży sukces amerykańskiego producenta samochodów elektrycznych, bo osiągnięcie założonego celu wydawało się niemożliwe jeszcze w trzecim kwartale 2020 roku, który również był rekordowy. Od lipca do września firma Elona Muska wyprodukowała ponad 145 000 samochodów. Żeby osiągnąć poziom pół miliona w 2020 roku, musiała w ostatnim kwartale zwiększyć ją o kolejne 35 000 aut.

W zależności od tego, jaką liczbę brać pod uwagę, obietnicę udało się zrealizować z nawiązką albo minimalnie się z nią minąć. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że podane liczby nie są jeszcze oficjalnie potwierdzone. Firma wyprodukowała w czwartym kwartale 2020 roku 179 757 aut i sprzedała 180 570 sztuk.

Oznacza to, że w całym 2020 roku z fabryk wyjechało 509 737 egzemplarzy Tesli, a klientów znalazło 499 550 sztuk. Mniejsza z obietnicą. To oznacza ogromny wzrost względem poprzedniego roku (około 367 500 sztuk w 2019 r., o 50 % więcej niż w 2018 r.) oraz imponujący wynik, zwłaszcza że osiągnięty w środku globalnego kryzysu gospodarczego. Z pewnością wymagał heroicznych wysiłków

pracowników wszystkich trzech fabryk amerykańskiego producenta - w stanach USA: Newada, Nowy Jork oraz w Chinach. O popyt na swoje pojazdy elektryczne Tesla na razie nie musi się martwić.

Przytłaczająca większość wyprodukowanych i sprzedanych samochodów to najnowsze i najtańsze modele 3 oraz Y. W 2020 roku Tesla wyprodukowała 454 932 egzemplarze Modelu 3 i Modelu Y, co stanowi około 89 proc. wszystkich wytworzonych w tym roku aut. Produkcja flagowego Modelu S i dużego SUVa Model X z „sokolimi” drzwiami łącznie to w całym 2020 roku tylko 54 805 sztuk.

Od razu rodzi się pytanie, czy tak radykalne zwiększenie tempa produkcji nie odbiło się negatywnie na jakości wykonania samochodów z ostatniego kwartału. To najsłabsza strona samochodów Tesli. Niektóre egzemplarze gubią w deszczu zderzaki albo tracą przeszklone dachy. Znane są również przypadki nieprzekreślonych elementów wnętrza, włącznie z tylną kanapą i mocowaniami pasów bezpieczeństwa. Wady wynikające z pośpiesznego wdrażania procesu produkcji, błędów projektowych i niedostatecznej kontroli jakości są rekompensowane przez nowoczesne technologie i atrakcyjny design zewnętrzny. Przynajmniej zdaniem klientów, bo na ich brak Tesla nie może narzekać. Technologiczne zaawansowanie produktów amerykańskiego startupu potwierdziła analityczna szwajcarska firma UBS Group, pracująca m.in. dla nowojorskiej giełdy.

Zdaniem specjalistów Tesla wciąż jest liderem technologicznym w kwestii zasilania i napędów elektrycznych. Według firmy UBS realny postęp i walka o przywództwo na rynku samochodów elektrycznych zależy głównie od zaawansowania i wydajności akumulatorów trakcyjnych.

Pod tym względem Tesla wciąż jest niedościgniona. Amerykańskie auta mają największy zasięg, a akumulatory największą masową pojemność (stosunek masy do ilości zgromadzonej energii). Jednak podobno jej przewaga się zmniejsza, a największą wadą Tesli, według analityków UBS, jest duży stopień uzależnienia od zewnętrznych dostawców: CATL, LG Chem i Panasonic.

Podobno najmniejszą stratę technologiczną do Tesli mają nowe samochody elektryczne Volkswagena. Przynajmniej takie wnioski wyciągnęli technicy UBS po demontażu i ocenie komponentów aut siedmiu różnych producentów.

Należy jednak pamiętać, że Tesla jeszcze nie wdrożyła swojego największego wynalazku z 2020 roku. Nowe akumulatory 4860 mają być o wiele wydajniejsze i w znacznym stopniu wytwarzane samodzielnie przez firmę Elona Muska. Nowe generacje baterii trakcyjnych odeślą zapewne w zapomnienie obawy o duży spadek zasięgu pojazdów elektrycznych, w przypadku włączenia dodatkowego ogrzewania kabiny bądź klimatyzacji.

W świetle aktualnego tempa wzrostu produkcji obietnica szefa Tesli o sprzedawaniu 20 milionów aut rocznie w 2030 roku wydaje się trochę mniej absurdalna, niż gdy ją składał we wrześniu 2020 roku. Właśnie powstają kolejne dwie gigafabryki. Jedna w Teksasie oraz druga pod Berlinem. Ile ich będzie w 2030 roku? Słowa Muska wciąż brzmią mało realnie, ale jeśli Tesla spóźni się o kilka miesięcy, a jej szef znów pomyli o kilka tysięcy sztuk, z pewnością nikt mu nie będzie tego wypominał.

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, zawierały 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 Zoe uzmysławia nam, że pojazd miejski nie musi mieć rozmiarów SUVa lub limuzyny, aby służył do łatwego i sprawnego poruszania się po mieście. Renault Zoe 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 Nissanie Leaf. 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. Nissan podobnie jak Renault Zoe, wyróżniają się od-

ważnym designem zewnętrznym, które pozwala od razu na ich odróżnienie od setek innym modeli na drogach.

Rozdział trzeci przedstawia bardzo ciekawe studium rozwoju pojazdu dostawczego z napędem elektrycznym, który byłby w stanie w najwyższym stopniu spełniać wymagania Poczty Polskiej. Dokonano w nim przeglądu technologii występujących w nowoczesnych pojazdach dostawczych z napędem elektrycznym. Następnie dokonano analizy TCO w celu wyboru najlepszego pojazdu dla Poczty Polskiej pod względem ekonomicznym.

Rozdział czwarty koncentruje się na jeszcze większych pojazdach wykorzystujących elektryczne układy napędowe. Należą do nich pojazdy sportowo-użytkowe zwane potocznie SUVami.

Ostatnie, piąte studium przypadku koncentruje się na rozwoju i komercjalizacji najpopularniejszych pojazdów elektrycznych na świecie marki Tesla. Dokonano dokładnego opisu budowy nadwozi, podwozi oraz komponentów elektrycznego układu napędowego.

Wszystkie studia przypadków przedstawione w tym opracowaniu potwierdzają, że istnieje rynkowa potrzeba na pojazdy z elektrycznymi układami napędowymi. 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 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. Str. 543-547. ISSN 2351-7034 (on-line).
- [2] Flasza J.: Elektromobilność w Polsce - wyzwania i możliwości z uwzględnieniem inteligentnych instalacji OZE. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 6/2017
- [3] Giakoumis E. G., Zachiotis A. T.: Investigation of a Diesel-Engined Vehicle's Performance and Emissions during the WLTC Driving Cycle — Comparison with the NEDC, Energies 2017, 10(2), 240/2017
- [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.: Ładowanie pojazdu elektrycznego z minicaroprtu fotowoltaicznego, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018”, Kazimierz Dolny, 19-21.09.2018. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 11/2018, str. 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, str. 63-75. doi:10.14669/AM.VOL82.ART5.
- [7] Małek A., Kowalczyk D.: Carport fotowoltaiczny do ładowania pojazdów elektrycznych. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 11/2016

- [8] Małek A., Łusiak T.: Interaktywne stanowisko badawcze komponentów pojazdów elektrycznych. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 1-2/2019
- [9] Małek A., Ogrodnik M.: Metody badań autonomii pojazdów elektrycznych, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TRANSPORT 2018”, Kazimierz Dolny, 19-21.09.2018. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 12/2018, str. 27-31. ISSN 1509-5878. JEL: L62. DOI: 10.24136/atest.2018.339
- [10] Małek A., Taccani R., Kasperek D., Hunicz , 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, 2019, Naples, Italy
- [11] 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
- [12] Paska J., Kłos M., Rosłaniec Ł.: Autonomiczna stacja ładowania pojazdów elektrycznych, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 42/2015
- [13] Pielecha J., Merkisz J., Markowski J.: Wybrane zagadnienia dotyczące drogowych testów emisyjnych, AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 12/2016
- [14] 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, Pages 399-415
- [15] Gołębiowski W., Theoretical Analysis of the Effect of Traction Parameters on Electric Vehicle Energy Consumption and Driving Range. TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2016, Vol. 16, No. 1, 5–12
- [16] Janczewski J., Usługi motoryzacyjne w perspektywie elektromobilności i Internetu rzeczy. Przedsiębiorczość - Edukacja 2018, tom 14, str. 205-220.

- [17] Doerr J., Mendl G., Straber R., The new full electric drivetrain of the Audi e-tron. AUDI AG, Ingolstadt. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019
- [18] Małek A., Niewczas A., "Selected maintenance aspects of traction batteries in electric vehicles," 2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY, Kielce, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/AUTOMOTIVE-SAFETY47494.2020.9293492.
- [19] <https://www.ziehl-abegg.com/gb/en/downloads/file/get/10917/> [dostęp 2021-01-20]
- [20] https://pl.wikipedia.org/wiki/Renault_Zoe [dostęp 2021-01-20]
- [21] <https://paultan.org/2015/06/19/renault-zoe-new-electric-motor-cleon-plant/zoe-engine-plant-0046/> [dostęp 2021-01-20]
- [22] <https://www.favcars.com/renault-zoe-concept-2005-photos-300989.htm> [dostęp 2021-01-20]
- [23] <https://www.motofakty.pl/arttykul/paryz-2016-renault-zoe-z-wiekszym-zasiegiem.html> [dostęp 2021-01-20]
- [24] <https://fleet.com.pl/wiadomosci/branza-flotowa/samochody/renault-zoe-najlepszy-samochod-miejski-w-roku-2013-wedlug-euro-ncap> [dostęp 2021-01-20]
- [25] <https://i.iplsc.com/renault-zoe-2019/00086GJKC99K4RMU-C317-F3.jpg> [dostęp 2021-01-20]
- [26] <https://www.renault.pl/samochody-elektryczne/zoe/akumulator-i-ladowanie.html> [dostęp 2021-01-21]
- [27] <http://www.cleancarjournal.com/visiting-the-renault-plant-where-the-zoe-is-produced/> [dostęp 2021-01-21]
- [28] <https://www.motor1.com/photo/4164181/renault-zoe-2019/> [dostęp 2021-01-21]
- [29] <https://panekcs.pl/flota> [dostęp 2021-01-22]
- [30] <https://zaradnyfinansowo.pl/samochod-na-minuty/> [dostęp 2021-01-22]
- [31] http://samochodyelektryczne.org/galerie/nissan_leaf_2018/nissan_leaf_2018_14.htm [dostęp 2021-01-22]
- [32] http://samochodyelektryczne.org/nissan_leaf.htm [dostęp 2021-01-22]

- [33] http://samochodyelektryczne.org/nissan_leaf_ii.htm [dostęp 2021-01-22]
- [34] <https://pushevs.com/wp-content/uploads/2017/12/second-generation-nissan-leaf-specs.png.webp> [dostęp 2021-01-22]
- [35] <https://elektrowoz.pl/auta/nissan-leaf-e-eplus-cena-od-201-200-3-zero-bateria-62-kwh-chlodzona-pasywnie-aktualizacja/> [dostęp 2021-01-22]
- [36] <https://flipthefleet.org/resources/nissan-owners-how-to-scan-your-battery/> [dostęp 2021-01-22]
- [37] <https://elektrowoz.pl/porady/jak-zuzywaja-sie-baterie-elektrycznych-nissanow-w-vozilli-pomiary-czytelnika/> [dostęp 2021-01-22]
- [38] https://samochodyelektryczne.org/dostepna_energia_w_nissanie_leaf_ii_wynosi_mniej_niz_37_kwh_z_39_46_kwh.htm [dostęp 2021-01-22]
- [39] http://cii-resource.com/cet/AABE-03-17/Presentations/BMGT/Delobel_Bruno.pdf [dostęp 2021-01-22]
- [40] <https://elektrowoz.pl/auta/czy-kierowcy-samochodow-elektrycznych-rozwazaja-powrot-do-auta-spalinowego-odpowiedz-tak-1-procent-zap-map/> [dostęp 2021-01-24]
- [41] https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_powertrain.html [dostęp 2021-01-26]
- [42] <https://www.envision-aesc.com/en/aboutus.html> [dostęp 2021-01-26]
- [43] <https://poland.nissannews.com/pl-PL/releases/release-426212878-rozpocz-a-si-produkcja-nowego-nissana-leaf-w-europie> [dostęp 2021-01-26]
- [44] <https://ttpsc.com/pl/blog/jak-internet-rzeczy-rozwija-przemysl-motoryzacyjny/> [dostęp 2021-01-26]
- [45] https://pl.wikipedia.org/wiki/Internet_rzeczy [dostęp 2021-01-26]
- [46] <https://media.poczta-polska.pl/pr/422014/poczta-polska-pozyska-flote-aut-elektrycznych> [dostęp 2021-01-26]
- [47] <https://www.renault.pl/samochody-elektryczne/master-ze-ph2.html> [dostęp 2021-01-26]

- [48] <https://www.renault.pl/samochody-elektryczne/master-ze-ph2/silniki.html> [dostęp 2021-01-26]
- [49] <https://www.vwdostawcze.pl/pl/modele/e-crafter.html> [dostęp 2021-01-26]
- [50] <https://www.hitachicapital.pl/pl/aktualnosci/article/69> [dostęp 2021-01-26]
- [51] https://www.mercedes-benz.pl/vans/pl/services/promotions/evan?csref=mc-sem_cn-POL_RG_MBVANS_Product_eVAN_2020_ci-Google_si-g_pi-kwd-312368202180_cri-447540769129_ai-none&kpid=go_cmp-10518791691_adg-103449041505_ad-447540769129_kwd-312368202180_dev-c_ext- [dostęp 2021-01-26]
- [52] <https://autospot.com.pl/skad-wziela-sie-popularnosc-suvow/> [dostęp 2021-01-26]
- [53] <https://dobraflota.pl/tech-moto/moda-na-suvy-tymczasowy-trend-czy-staly-kierunek-zmian> [dostęp 2021-01-26]
- [54] <https://moto.rp.pl/parking/37457-najczesciej-kupowany-elektryczny-suv-w-polsce> [dostęp 2021-01-26]
- [55] <https://antyweb.pl/audi-e-tron-elektryczne-audi-pierwsza-jazda-probna/> [dostęp 2021-01-27]
- [56] <https://auto.dziennik.pl/aktualnosci/artykuly/7837781,ionity-polska-kutno-stacja-ladowania-350-kw-autostrada-a1-lokalizacja.html> [dostęp 2021-01-27]
- [57] <https://autogaleria.pl/audi-e-tron-sprzedaz> [dostęp 2021-01-27]
- [58] http://samochodyelektryczne.org/tesla_model_3.htm [dostęp 2021-01-28]
- [59] <https://www.ultimatespecs.com/pl/samochody-dane-techniczne/Tesla/115156/Tesla-Model-3-Performance-AWD.html> [dostęp 2021-01-28]
- [60] https://www.tesla.com/pl_PL/about [dostęp 2021-01-28]
- [61] <https://hedgescompany.com/blog/2019/03/tesla-model-3-demographics-income/> [dostęp 2021-01-29]
- [62] <https://www.renault.pl/> [dostęp 2021-01-29]

- [63] <https://moto.pl/MotoPL/7,170318,26659075,tesla-wyprodukowala-500-tys-aut-w-2020-roku-firma-zrealizowala.html> [dostęp 2021-01-29]
- [64] <https://www.zssplus.pl/publikacje/publikacje42.htm> [dostęp 2021-04-15]

Spis rysunków

Rys. 1.1. Przyczyny występowania potrzeb transportowych [5]....	205
Rys. 1.2. Pojazdy elektryczne marki Renault i BMW.....	208
Rys. 1.3. Pojazdy elektryczne marki Renault i Nissan	209
Rys. 1.4. Rodzina pojazdów elektrycznych marki Renault [62]...	210
Rys. 1.5. Koncept Renault Zoe z 2005 roku [22].....	211
Rys. 1.6. Pierwsza wersja produkcyjna Renault Zoe z 2012 roku [23]	211
Rys. 1.7. Test zderzeniowy Renault Zoe [24]	213
Rys. 1.8. Odnowiona wersja produkcyjna Renault Zoe z 2019 roku [25]	214
Rys. 1.9. Fabryka Renault w Cléon [21]	215
Rys. 1.10. Elektryczny układ napędowy pojazdu Renault Zoe [21]	215
Rys. 1.11. Silnik elektryczny Renault Zoe [21]	216
Rys. 1.12. Uzwojony wirnik silnika elektrycznego [21]	216
Rys. 1.13. Pierścienie ślizgowe na wirniku silnika elektrycznego [21]	217
Rys. 1.14. Komponenty silnika elektrycznego (od lewej: obudowa, wirnik, stojan) [21].....	217
Rys. 1.15. Złożenie wirnika silnika elektrycznego [21]	218
Rys. 1.16. Ręczna produkcja uzwojeń stojana [21].....	218
Rys. 1.17. Automatyczna produkcja uzwojeń stojana [21]	219
Rys. 1.18. Kontrola jakości wykonania złożenia wirnika silnika elektrycznego [21]	219

Rys. 1.19. Kontrola ciągłości uzwojeń w stanie silnika elektrycznego [21]	220
Rys. 1.20. Montaż falownika na silniku elektrycznym [21].....	220
Rys. 1.21. Kompletnie złożenie silnika elektrycznego z falownikiem [21]	221
Rys. 1.22. Automatyzacja procesów produkcyjnych z wykorzystaniem robotów przemysłowych [21].....	221
Rys. 1.23. Kompletnie złożenie silnika elektrycznego z falownikiem i reduktorem prędkości obrotowej [21]	222
Rys. 1.24. Testowanie kompletnego silnika elektrycznego na hamowni silnikowej [21].....	223
Rys. 1.25. Przygotowanie silników do transportu [21].....	223
Rys. 1.26. Hala wysyłkowa w fabryce silników [21].....	224
Rys. 1.27. Miejsce montażu pakietu baterii w Renault Zoe [26]	224
Rys. 1.28. Pakiet baterii o pojemności energetycznej 52 kWh w Renault Zoe [26]	225
Rys. 1.29. Elektryczny układ napędowy Renault Zoe [28]	225
Rys. 1.30. Zestaw wskaźników w nowym Renault Zoe [28].....	226
Rys. 1.31. Płyta boczna Renault Zoe [27]	227
Rys. 1.32. Zgrzewanie nadwozia Renault Zoe [27].....	227
Rys. 1.33. Nadwozie Renault Zoe [27].....	228
Rys. 1.34. Nadwozie Renault Zoe [27].....	228
Rys. 1.35. Moduły bateryjne Renault Zoe [27]	229
Rys. 1.36. Moduł baterijny Renault Zoe [27]	230
Rys. 1.37. Płyta modułu baterijnego Renault Zoe [27]	230
Rys. 1.38. Pakiet baterijny Renault Zoe [27]	231
Rys. 1.39. Zamykanie pakietu baterijnego Renault Zoe [27].....	232
Rys. 1.40. Złożony pakiet baterijny Renault Zoe [27]	232
Rys. 1.41. Końcowa część linii produkcyjnej Renault Zoe [27] ...	233

Rys. 1.42. Pakiet baterii trakcyjnych w Renault Zoe [39]	234
Rys. 1.43. Ewolucja zasięgu pojazdu Renault Zoe [39]	234
Rys. 1.44. Ewolucja zasięgu pojazdu Renault Zoe [39]	235
Rys. 1.45. Rozmieszczenie komponentów elektrycznego układu napędowego w Renault Zoe [39]	235
Rys. 1.46. Gniazdo CCS w Renault Zoe [28]	236
Rys. 1.47. Czas ładowania baterii Renault Zoe [26].....	237
Rys. 1.48. Ewolucja zasięgu pojazdu Renault Zoe [39]	238
Rys. 1.49. Ładowanie Renault Zoe z systemu fotowoltaicznego	239
Rys. 1.50. Ekologiczna ładowarka podłączona do systemu fotowoltaicznego - infografika	240
Rys. 1.51. Schemat podłączenia ładowarki do systemu fotowoltaicznego	241
Rys. 1.52. Wskaźnik ładowania Renault Zoe na tablicy wskaźników	241
Rys. 1.53. Ładowanie Renault Zoe w Zamościu	242
Rys. 1.54. Podsumowanie trasy przejazdu Renault Zoe.....	242
Rys. 2.1. Nissan Leaf w Panek CarSharing [29]	246
Rys. 2.2. Nissan Leaf I [32]	248
Rys. 2.3. Nissan Leaf jako lubelska taksówka.....	248
Rys. 2.4. Nissan Leaf w Salonie Autoniss w Lublinie	250
Rys. 2.5. Nissan Leaf I – rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego [32]	251
Rys. 2.6. Nissan Leaf II [33]	251
Rys. 2.7. Nissan Leaf II – rozmieszczenie komponentów napędu elektrycznego [33]	252
Rys. 2.8. Nissan Leaf II – przekrój rzeczywistego pojazdu	254
Rys. 2.9. Nissan Leaf II – test zderzeniowy [33].....	254
Rys. 2.10. Nissan Leaf II – komponenty napędu elektrycznego [33]	255

Rys. 2.11. Nissan Leaf II – umieszczenie silnika elektrycznego..	256
Rys. 2.12. Nissan Leaf II – silnik elektryczny z reduktorem i falownikiem [33]	256
Rys. 2.13. Nissan Leaf II – silnik elektryczny z reduktorem [33]....	257
Rys. 2.14. Nissan Leaf II – silnik elektryczny z reduktorem [33]....	258
Rys. 2.15. Nissan Leaf II – płyta elektroniczna falownika [33]...	258
Rys. 2.16. Wykres sprawności silnika elektrycznego w Nissanie Leaf [15]	259
Rys. 2.17. Przyspieszenie pojazdu z różnymi jednostkami napędowymi [41]	260
Rys. 2.18. Nissan Leaf II – moduł baterii trakcyjnej [33].....	260
Rys. 2.19. Nissan Leaf II – pakiet baterii trakcyjnej [33].....	261
Rys. 2.20. Ewolucja baterii trakcyjnych w Nissanie Leaf [35].....	264
Rys. 2.21. Nissan Leaf II – zgrzewanie nadwozia	265
Rys. 2.22. Nissan Leaf I – gniazda ładowania.....	265
Rys. 2.23. Nissan Leaf model 2017.....	266
Rys. 2.24. Nissan Leaf model 2017.....	267
Rys. 2.25. Watomierz z kalkulatorem energii – widok z przodu ..	268
Rys. 2.26. Watomierz z kalkulatorem energii – widok z tyłu.....	268
Rys. 2.27. Niski stan naładowania baterii na tablicy wskaźników	269
Rys. 2.28. Podłączenie pojazdu do carportu fotowoltaicznego ...	269
Rys. 2.29. Przewód do wolnego ładowania.....	270
Rys. 2.30. Podłączenie pojazdu do carportu fotowoltaicznego ...	270
Rys. 2.31. Podłączenie wtyczki Typ 1 do pojazdu.....	271
Rys. 2.32. Podłączenie przewodu do carportu	271
Rys. 2.33. Przewód ładujący Nissana	271
Rys. 2.34. Czas pełnego ładowania pojazdu	272
Rys. 2.35. Zasięg pojazdu na pełnym ładowaniu	272

Rys. 2.36. Nissan Leaf 2016	273
Rys. 2.37. Złącze Chademo w Nissanie.....	273
Rys. 2.38. Ładowarka sieci Greenway na parkingu podziemnym Artium Felicity w Lublinie	274
Rys. 2.39. Panel ładowarki Greenway (wybór trybu ładowania) ...	274
Rys. 2.40. Widok panelu sterującego ładowarki Greenway	275
Rys. 2.41. Panel ładowarki Greenway (początek ładowania).....	276
Rys. 2.42. Przebieg cyklu ładowania - funkcja energii	276
Rys. 2.43. Przebieg cyklu ładowania – funkcje energii oraz mocy	277
Rys. 2.44. Panel ładowarki Greenway (koniec ładowania).....	278
Rys. 2.45. Idea działania aplikacji Leaf Spy	279
Rys. 2.46. Okno aplikacji Leaf Spy Pro na urządzeniu mobilnym [36]	279
Rys. 2.47. Monitoring stanu baterii w aplikacji Leaf Spy Pro [36].....	280
Rys. 2.48. Monitoring stanu baterii w aplikacji Leaf Spy Pro [37].....	281
Rys. 3.1. Flota pojazdów elektrycznych w Poczcie Polskiej [46]	287
Rys. 3.2. Elektryczny Renault Master dla Poczty Polskiej [47]....	288
Rys. 3.3. Elektryczny Renault Master dla Poczty Polskiej [47]....	288
Rys. 3.4. Elektryczny Renault Master dla Poczty Polskiej [47]....	288
Rys. 3.5. Silnik elektryczny Renault Master Z.E. [48].....	289
Rys. 3.6. Dane silnika elektrycznego Renault Master Z.E. [48]...	289
Rys. 3.7. Pakiet baterii trakcyjnych elektrycznego Renault Master Z.E. [48]	290
Rys. 3.8. Elektryczny VW e-Crafter dla Poczty Polskiej [49]	290
Rys. 3.9. Elektryczny VW e-Crafter dla Poczty Polskiej [49]	291
Rys. 3.10. Elektryczny VW e-Crafter dla Poczty Polskiej [49]	291

Rys. 3.11. Przestrzeń ładunkowa elektrycznego VW e-Craftera dla Poczty Polskiej [49].....	292
Rys. 3.12. Silnik elektryczny VW e-Craftera dla Poczty Polskiej [49]	292
Rys. 3.13. Baterie elektrycznego VW e-Craftera dla Poczty Polskiej [49]	293
Rys. 3.14. Elektryczny Hitachi dla Poczty Polskiej [50]	293
Rys. 3.15. Elektryczny Mercedes e-Vito dla Poczty Polskiej [51]	294
Rys. 3.16. Parametry elektrycznego Mercedesa e-Vito dla Poczty Polskiej [51].....	295
Rys. 3.17. Porównanie cen brutto zakupu pojazdów	300
Rys. 3.18. Porównanie kosztów przejazdu 100 km	300
Rys. 3.19. Porównanie TCO	301
Rys. 4.1. Rozmieszczenie komponentów elektrycznego układu napędowego w Audi e-tron [55]	308
Rys. 4.2. Silniki elektryczne stosowane w napędach Audi e-tron [17].....	309
Rys. 4.3. Widok rzeczywisty napędu APA250 – przekroje miejscowe	311
Rys. 4.4. Widok rozstrzelony napędu APA250 [17]	312
Rys. 4.5. Krzywe charakterystyczne silnika APA250 [17].....	313
Rys. 4.6. Krzywe charakterystyczne silnika AKA320 [17].....	313
Rys. 4.7. Rozmieszczenie komponentów elektrycznego układu napędowego w Audi e-tron Sportback S / e-tron S [17].....	314
Rys. 4.8. Budowa tylnego układu napędowego w Audi e-tron Sportback S / e-tron S [17]	315
Rys. 4.9. Budowa tylnego układu napędowego w Audi e-tron Sportback S / e-tron S [17]	315
Rys. 4.10. Ekspozycja pakietu bateryjnego w Audi e-tron – przekroje w rzeczywistym obiekcie.....	316

Rys. 4.11. Budowa pakietu baterijnego w Audi e-tron – przekroje w modelu 3D [17]	317
Rys. 4.12. Moduł baterijny Audi e-tron – przekroje w rzeczywistym obiekcie	318
Rys. 4.13. Konstrukcja wzmocnień pakietu baterijnego w Audi e-tron [17]	319
Rys. 4.14. Budowa układu chłodzenia pakietu baterijnego w Audi e-tron [17]	320
Rys. 4.15. Rozmieszczeni komponentów ładowania baterii w Audi e-tron [17]	322
Rys. 4.16. Gniazdo ładowania baterii w Audi e-tron [17]	322
Rys. 4.17. Ultra szybkie ładowarki firmy IONITY [56]	323
Rys. 4.18. Idea rekuperacji energii hamowania w Audi e-tron [17]	324
Rys. 4.19. System rekuperacji energii hamowania w Audi e-tron [17]	325
Rys. 4.20. Wirtualne lusterka zewnętrzne w Audi e-tron [55]	326
Rys. 5.1. Średni dochód właścicieli Tesli model X i model S [61]	331
Rys. 5.2. Mediana wieku właścicieli Tesli model X i model S [61]	331
Rys. 5.3. Płeć właścicieli Tesli model X [61]	332
Rys. 5.4. Płeć właścicieli Tesli model S [61]	332
Rys. 5.5. Posiadanie domu właścicieli Tesli model X [61]	333
Rys. 5.6. Średni przychód właścicieli Tesli model 3 i model S [61]	334
Rys. 5.7. Właściciele Tesli Model 3 z podziałem na stany [61]	334
Rys. 5.8. Średni wiek właścicieli Tesli model 3 i model S [61]	335
Rys. 5.9. Płeć właścicieli Tesli model 3 [61]	335
Rys. 5.10. Posiadanie domu przez właścicieli Tesli model 3 [61]	336

Rys. 5.11. Nadwozie pojazdu Tesla model S.....	339
Rys. 5.12. Nadwozie pojazdu Tesla model S	340
Rys. 5.13. Napęd na tylne koła.....	341
Rys. 5.14. Podwójny silnik z napędem na wszystkie koła	341
Rys. 5.15. Wydajny napęd na wszystkie koła	342
Rys. 5.16. Moduł baterii w pojeździe Tesla.....	344
Rys. 5.17. Pakiet baterii w pojeździe Tesla	345
Rys. 5.18. Pojedyncze cele baterii cylindrycznych.....	345
Rys. 5.19. Chłodzenie glikolowe w Tesli model S.....	346
Rys. 5.20. Chłodzenie rozgrzanego glikolu	346
Rys. 5.21. Obniżenie środka ciężkości pojazdu	347
Rys. 5.22. Autoryzowany salon sprzedaży samochodów marki Tesla.....	348
Rys. 5.23. Tesla Model X.....	348
Rys. 5.24. Podwozie pojazdu Tesla.....	349
Rys. 5.25. Elektryczny układ napędowy pojazdu Tesla	350
Rys. 5.26. Panel sterowania samochodu Tesla.....	351
Rys. 5.27. Elektryczne wspomaganie układu kierowniczego [64].....	352
Rys. 5.28. Tylne koło Tesli.....	352
Rys. 5.29. Wyniki produkcji i sprzedaży pojazdów Tesla w 2020 roku [63]	354

Spis tabel

Tabela 1.1. Podsumowanie trasy przejazdu Renault Zoe	243
Tabela 1.2. Wyniki sprzedaży Renault Zoe [20]	245
Tabela 2.1. Podstawowe dane techniczne Nissana Leaf II	253
Tabela 2.2. Charakterystyka napędu trakcyjnego Nissana Leaf	255
Tabela 2.3. Nissan Leaf - akumulatory firmy AESC [38]	262
Tabela 2.4. Parametry Nissana Leaf e+	262
Tabela 2.5. Porównanie osiągnięć i parametrów Nissana Leaf w normalnej wersji i e+ [34]	263
Tabela 3.1. Porównanie parametrów wybranych pojazdów dostawczych	298
Tabela 3.2. Porównanie kosztów wybranych pojazdów dostawczych	299
Tabela 4.1. Dane techniczne pakietu baterijnego w Audi e-tron [17]	318

Z recenzji:

Tematyka podręcznika wpisuje się w problematykę elektromobilności, stanowiącej jeden z najbardziej aktualnych kierunków rozwoju technologicznego światowej gospodarki i ochrony klimatu.

(...) Nowoczesne pojazdy muszą spełniać coraz większe oczekiwania klientów w obszarze ich komfortu i bezpieczeństwa oraz coraz bardziej restrykcyjne wymagania krajowe i unijne w obszarze ekologii. Dlatego inżynierowie w dużych koncernach motoryzacyjnych a także naukowcy zatrudnieni na uczelniach wyższych opracowują alternatywne do tradycyjnych układy napędowe, które są w stanie spełniać wszystkie legislacyjne wymagania oraz odpowiadać na oczekiwania rynkowe. Opisane w podręczniku przykłady pojazdów elektrycznych są najnowszymi modelami wiodących marek motoryzacyjnych, w tym Tesli, która rozwija napędy elektryczne już ponad 10 lat.

Autor uzupełnia lukę rynkową w obszarze najnowszych napędów elektrycznych i hybrydowych. W bezpośredni sposób odpowiada na widoczne coraz bardziej i w naszym kraju trendy rynkowe w obszarze elektromobilności.

dr inż. Marcin Kowalski

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: 978-83-66159-97-6

 **WSEI** | LUBLIN
WYDAWNICTWO NAUKOWE
INNOVATIO PRESS