

Nowa Mobilność

STUDIA PODYPLOMOWE

Wydział SIMR Politechniki Warszawskiej oraz PSNM

Politechnika Warszawska

Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych

Praca końcowa

Studia podyplomowe „Nowa Mobilność”

Rozwój elektromobilności w Polsce w transporcie drogowym na przykładzie floty pojazdów ciężarowych

Kajetan Furman

Promotor

Sebastian Anioł

Warszawa, dnia 15/12/2023 r.



Wydział Samochodów
i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska



Politechnika Warszawska

psnm NEW
MOBILITY
ASSOCIATION

Załącznik nr 1 do zarządzenia nr 109/2021
Rektora PW z dnia 9 listopada 2021 r.

Załącznik nr 5 do zarządzenia nr 42/2020
Rektora PW

Politechnika Warszawska

Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych

PSNM

Warszawa 15/12/2023 r.

Imię i Nazwisko **Kajetan Furman**
Kierunek **Nowa Mobilność**

Oświadczenie

Świadomy odpowiedzialności karnej za składanie fałszywych zeznań oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie, pod opieką kierującego pracą dyplomową.

Jednocześnie oświadczam, że:

- niniejsza praca dyplomowa nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. z 2021 r., poz. 1062) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym;
- niniejsza praca dyplomowa nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem w sposób niedozwolony; niniejsza praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadawaniem dyplomów lub tytułów zawodowych;
- wszystkie informacje umieszczone w niniejszej pracy, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami;
- znam regulacje prawne Politechniki Warszawskiej w sprawie zarządzania prawami autorskimi i prawami pokrewnymi, prawami własności przemysłowej oraz zasadami komercjalizacji.

Kajetan Furman

Podziękowania

Pragnę serdecznie podziękować promotorowi Sebastianowi Aniołowi za pomoc przy realizacji pracy dyplomowej, a także Wszystkim osobom, które przyczyniły się do powstania niniejszej pracy.

Słowa kluczowe

- 1/ Elektromobilność
 - 2/ Samochód ciężarowy
 - 3/ Infrastruktura ładowania
 - 4/ Całkowity koszt użytkowania
 - 5/ Symulator zasięgu
-

Keywords

- 1/ Electromobility
 - 2/ Heavy goods vehicle
 - 3/ Charging infrastructure
 - 4/ Total cost of ownership
 - 5/ Range simulator
-

Streszczenie

Praca jest poświęcona rozwojowi elektromobilności w ciężkim transporcie drogowym. Wybrany temat jest związany z kierunkiem studiów podyplomowych realizowanych na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych na kierunku „Nowa Mobilność”.

Pierwsza część pracy przedstawia podstawowe informacje związane z transportem drogowym w kontekście elektrycznych pojazdów ciężarowych. Na początku zostały opisane poszczególne rodzaje transportu ciężarowego. Następnie przedstawiono aspekty techniczne dotyczące budowy oraz podziału na kategorie pojazdów ciężarowych. W dalszej kolejności omówiono rolę transportu drogowego w Polsce. Przedstawiono również sposoby uzupełniania energii elektrycznej, a także został poruszony temat wpływu transportu drogowego na otaczające środowisko.

W drugiej części została zaprezentowana treść opisująca aspekty związane z wdrożeniem elektromobilności do floty pojazdów ciężarowych. Przedstawiony został temat dotyczący ograniczenia emisji CO₂, a także zostały opisane wynikające z tego normy oraz rozporządzenia. Przedstawiono zagadnienia związane z wprowadzaniem stref czystego transportu oraz wyjaśniony został termin „Nowej Mobilności”. Następnie zostały zaprezentowane zagadnienia związane z rozwojem infrastruktury ładowania, poczynając od sieci elektroenergetycznych, a kończąc na lokalizacji punktów ładowania przy uwzględnieniu sieci TEN-T. Zaprezentowany został także przykładowy model strefy ładowania umożliwiającej ładowanie pojazdów ciężarowych. W kolejnym podpunkcie przedstawiono kwestie finansowe związane z nabyciem i posiadaniem elektrycznego pojazdu ciężarowego. Następnie zaprezentowano sposób wykorzystania elektrycznego pojazdu ciężarowego na przykładzie wywozu śmieci, dystrybucji żywności oraz transportu paczek. W tym celu została wykonana symulacja przykładowych tras przejazdu, a także przedstawiony został temat analizy całkowitego kosztu użytkowania ciężarowego pojazdu elektrycznego.

W podsumowaniu zostały przedstawione alternatywy dla samochodów ciężarowych zasilanych energią elektryczną. Sformułowano również wnioski dotyczące planowanego rozwoju elektromobilności w transporcie ciężkim.

Abstract

The work is devoted to the development of electromobility in heavy goods transport. Selected topic is related to the field of postgraduate studies conducted at the Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering in the field of New Mobility.

The first part of the work presents basic information related to road transport in the context of electric trucks. At the beginning, individual types of road transport were described. Then, technical aspects regarding the construction and division into categories of trucks were presented. Next, the role of road transport in Poland was discussed. Methods of replenishing electricity were also presented, and the impact of road transport on the surrounding environment was discussed.

The second part presents content describing aspects related to the implementation of electromobility in the truck fleet. The topic of reducing CO₂ emissions was presented, and the resulting standards and regulations were described. Issues related to the introduction of clean transport zones were presented and the deadline was explained “New Mobility”. Then, issues related to the development of charging infrastructure were presented, starting from power grids and ending with the location of charging points, taking into account the TEN-T network. An example model of a charging station enabling loading of trucks was also presented. The next section presents financial issues related to the purchase and ownership of an electric truck. Then, the method of using an electric truck was presented on the example of garbage collection, food distribution and parcel transport. For this purpose, a simulation of sample driving routes was performed, and the topic of analyzing the total cost of ownership an electric truck was presented.

The summary presents alternatives to electric trucks. Conclusions were also formulated regarding the planned development of electromobility in heavy transport.

Spis treści

1 Wstęp

- 1.1 Motywacja
- 1.2 Cel pracy

2 Ciężarowy transport samochodowy w Polsce a elektromobilność

- 2.1 Rodzaje towarowego transportu samochodowego
- 2.2 Budowa elektrycznego pojazdu ciężarowego oraz podział na kategorie
- 2.3 Znaczenie transportu drogowego w Polsce na tle UE
- 2.4 Sposoby uzupełniania energii elektrycznej w pojazdach ciężarowych
- 2.5 Wpływ transportu drogowego na środowisko

3 Wdrożenie elektromobilności do floty pojazdów ciężarowych

- 3.1 Znaczenie dekarbonizacji flot pojazdów ciężarowych
 - 3.1.1 Ograniczenie emisji CO₂ w ciężkim transporcie drogowym – normy i rozporządzenia
 - 3.1.2 Wprowadzenie stref czystego transportu
 - 3.1.3 Nowa Mobilność
- 3.2 Rozwój infrastruktury ładowania w sieci TEN-T
 - 3.2.1 Systemy elektroenergetyczne w Polsce
 - 3.2.2 Struktura rynku infrastruktury ładowania w Polsce
 - 3.2.3 Wyznaczenie kluczowych lokalizacji stacji ładowania wzdłuż sieci TEN-T
 - 3.2.4 Przykładowy hub ładowania
- 3.3 Sposoby finansowania oraz wsparcia floty elektrycznych pojazdów ciężarowych
 - 3.3.1 Klasyczne formy finansowania samochodu ciężarowego
 - 3.3.2 EaaS – kompleksowy model biznesowy
 - 3.3.3 Finansowe mechanizmy wsparcia
- 3.4 Przykłady wykorzystania elektrycznych pojazdów ciężarowych w wybranym segmencie logistyki
 - 3.4.1 Transport bliski na przykładzie wywozu odpadów komunalnych
 - 3.4.2 Transport bliski na przykładzie dystrybucji żywności
 - 3.4.3 Transport średni na przykładzie ciągnika siodłowego oraz naczepy poruszających się pomiędzy hubami
 - 3.4.4 Wnioski z przeprowadzonych symulacji zasięgów elektrycznych pojazdów ciężarowych

4 Podsumowanie

- 4.1 Prognozowany rozwój rynku ciężkich pojazdów ciężarowych
 - 4.1.1 Planowany rozwój napędu wodorowego
 - 4.1.2 Planowany rozwój alternatywnych źródeł energii ograniczających emisję zanieczyszczeń
- 4.2 Wnioski

5 Bibliografia

6 Dodatki

1 Wstęp

Niniejsza praca jest krótkim przeglądem rynku elektrycznych pojazdów ciężarowych o DMC (Dopuszczalna Masa Całkowita) powyżej 3,5 tony.

1.1 Motywacja

Rozwój elektromobilności jest obecnie najbardziej dynamicznie rozwijającym się działem motoryzacji. Z racji coraz bardziej zaostrzających się norm emisji spalin cała gospodarka musi przestawić się na alternatywne źródła energii. Temat ten dotyczy również, a może nawet przede wszystkim, transportu drogowego.

Literatura dotycząca elektromobilności w transporcie drogowym, szczególnie na polskim rynku, jest dosyć uboga, więc gros informacji w niniejszej pracy pochodzi z opublikowanych raportów organizacji uczestniczących w dekarbonizacji transportu.

Zawsze starałem się poszerzać moją wiedzę z zakresu motoryzacji w tym również w zakresie pojazdów ciężarowych. Wiążą się z tym studia na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej, gdzie mogłem realizować swoje zainteresowania.

1.2 Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie aktualnej sytuacji panującej w branży pojazdów ciężarowych popartych przykładami wdrożenia elektrycznego pojazdu ciężarowego do użytku codziennego. W pracy zostały opisane podstawowe informacje dotyczące aspektów technicznych, finansowych, normatywnych oraz infrastrukturalnych. Wybrane zagadnienia zostały zilustrowane zdjęciami, tabelami oraz wykresami.

2 Ciężarowy transport samochodowy w Polsce a elektromobilność

Zgodnie z przyjętą strategią UE, ciężarowy transport samochodowy ma w dużej części przenieść się na inne formy transportu np. na transport kolejowy. W dalszym jednak ciągu drogowy przewóz towarów rozwija się, a Polska jest jednym z liderów w UE pod względem ilości przewożonego towaru jak i zarejestrowanych pojazdów ciężarowych. Dążenie do zeroemisyjności będzie miało duży wpływ na dalszy rozwój tej gałęzi gospodarki i wymaga odpowiedniego przygotowania się do nadchodzących zmian [19].

2.1 Rodzaje towarowego transportu samochodowego

Zgodnie z definicją transport jest to przemieszczanie się ładunków lub ludzi za pomocą odpowiednich środków. Zgodnie z literaturą, można rozróżnić dwa rodzaje towarowego transportu samochodowego. Pierwszym z nich jest transport kombinowany. Jest to przewóz rzeczy, w czasie którego pojazd ciężarowy, naczepa bądź przyczepa z lub bez jednostki ciągnącej, kontener czy też nadwozie wymienne w początkowym lub końcowym odcinku przewozu korzysta z drogi, natomiast na innym odcinku z usługi żeglugi śródlądowej, kolei bądź transportu morskiego, gdzie odcinek morski w linii prostej ma długość ponad 100 km. Drugim z nich jest przewóz kabotażowy, realizowany pojazdami zarejestrowanymi za granicą lub też przez przedsiębiorcę pochodzącego z zagranicy pomiędzy punktami znajdującymi się na terytorium Polski. Transport samochodami ciężarowymi charakteryzuje się następującymi cechami: możliwością transportu ładunków na różne odległości, dużym zróżnicowaniem rodzajów pojazdów ciężarowych umożliwiającym właściwy dobór pojazdu do przewożonego towaru, możliwością podstawienia ciężarowego taboru samochodowego w dowolne miejsce dostosowane do ruchu kołowego, szybkością oraz terminowością przewozu towaru do klienta, niskimi kosztami wykonania usługi, zagrożeniem bezpieczeństwa, wpływem na otaczający teren, a także wysoką emisyjnością substancji szkodliwych. Z racji chęci ograniczenia ruchu transportu samochodowego, w coraz większym stopniu będzie rozwijał się transport mieszany, w skład, którego wchodzi wspomniany już transport kombinowany oraz bimodalny. System bimodalny polega na przewozie naczepy samochodowej transportem kolejowym oraz samochodowym, gdzie w trakcie transportu koleją jedynym zadaniem kierowcy jest dostarczenie ładunku do terminala kolejowego. System ten ograniczając liczbę naczep samochodowych w transporcie drogą kołową przyczynia się do zmniejszenia poziomu emisji hałasu oraz spalin. Naczepa wykorzystywana w tego rodzaju transporcie musi być wykonana z bardziej wytrzymałych materiałów oraz być wyposażona w elementy sprzęgowe dzięki którym możliwe jest jej połączenie z adapterem. Transport bimodalny umożliwia przewiezienie dużej ilości towaru z prędkością maksymalną większą niż pojazdy ciężarowe, a także bez wykorzystywania dodatkowych urządzeń załadunkowych w terminalach.

W kontekście technologii transportu wyróżnia się następujące rodzaje transportu: uniwersalny, specjalizowany, zunifikowany. Pierwszy z nich charakteryzuje się możliwością transportu ładunków pojazdami niewymagającymi przystosowania, a więc o nadwoziach uniwersalnych. Drugim z nich realizuje się transport ładunków wymagających wyspecjalizowanych środków transportu na przykład towarów szybko psujących się, płynnych oraz ponadgabarytowych. Ostatni rodzaj odnosi się do przewozu ładunków umieszczanych w jednostkach ładunkowych, a więc na przykład w kontenerach. Transport ten odbywa się za sprawą ciągników siodłowych z naczepami przystosowanymi do przewozu kontenerów [8].

2.2 Budowa elektrycznego pojazdu ciężarowego oraz podział na kategorie

Samochód ciężarowy zgodnie z definicją jest to samochód przeznaczony do przewozu ładunków i osób. Ze względu na rodzaj nadwozia dzielimy je na:

- **Skrzyniowe** – z uniwersalną skrzynią ładunkową (mogą być przykryte oponcją);
- **Furgony** – z zamkniętą skrzynią ładunkową;
- **Samowyładowcze** – służące do przewozu ładunków sypkich z przechylaną skrzynią ładunkową;
- **Specjalizowane** – przystosowane do przewozu określonych ładunków z przystosowaną do tego konstrukcją, np. cysterny, chłodnie.

W zakres pojazdów samochodowych wchodzi również ciągniki siodłowe, które w tylnej części ramy mają siodło służące do połączenia naczepy z ciągnikiem. Uwzględniając kategorie samochodów ciężarowych, a więc grupę pojazdów jednakowego przeznaczenia, wyróżnioną cechami użytkowymi lub konstrukcyjnymi (np. maksymalna masa całkowita), podział prezentuje się w następujący sposób:

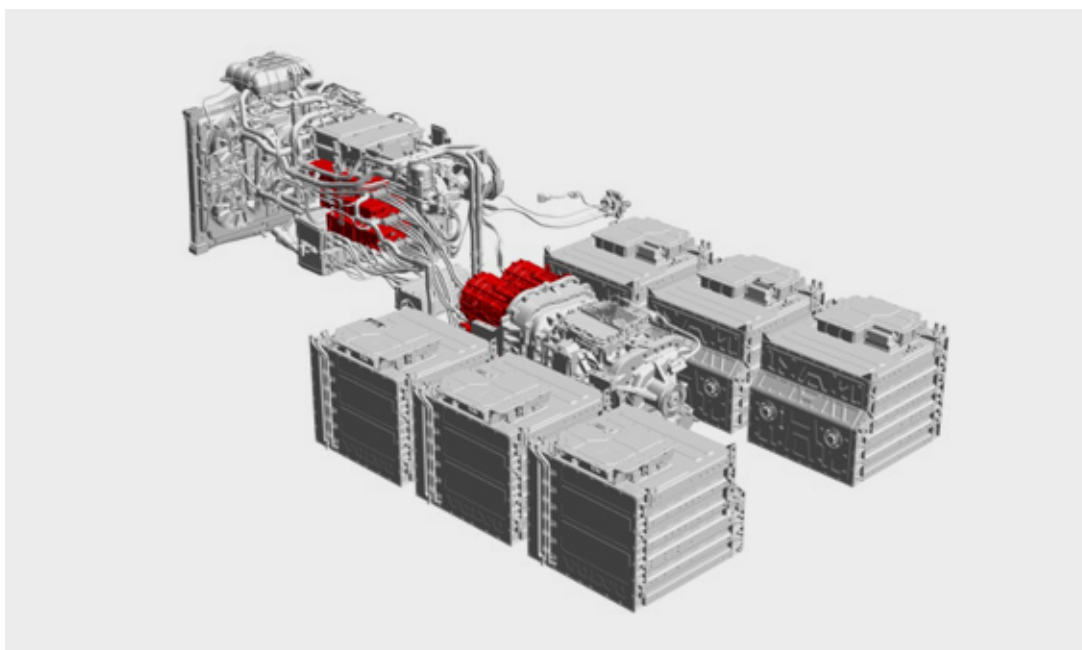
- **N1** – pojazdy ciężarowe o maksymalnej masie całkowitej nieprzekraczającej 3,5 tony;
- **N2** – pojazdy ciężarowe o maksymalnej masie całkowitej przekraczającej 3,5 tony,
- ale nieprzekraczającej 12 ton;
- **N3** – pojazdy ciężarowe o maksymalnej masie całkowitej przekraczającej 12 ton [17].

W ramach wyjątku przewiduje się możliwość zwiększenia DMC samochodów elektrycznych. Pojazd ciężarowy, który kwalifikuje się do kategorii N1 jest nazywany samochodem dostawczym.

Budowa samochodu ciężarowego zależy od jego funkcji oraz przeznaczenia. Klasyczny układ napędowy, stosowany od wielu lat, składa się z silnika umieszczonego z przodu pojazdu oraz układu napędowego napędzającego tylne koła. Kabina kierowcy mocowana jest nad przednią osią do ramy podwozia.

Pozostałą część ramy zajmuje nadwozie, które jest dostosowane do przeznaczenia

pojazdu [17]. W przypadku elektrycznego samochodu ciężarowego, konstrukcja pojazdu uległa zmianie i różni się w zależności od producenta. W przypadku zaprezentowanym na poniższym rysunku (rys. 2.1), w miejscu klasycznych zbiorników paliwa znajdują się akumulatory, umożliwiające gromadzenie i uwalnianie energii elektrycznej. Pod kabiną umieszczone są elementy układu chłodzenia, a także główne komponenty sterujące pracą napędu oraz osprzętu. Silniki elektryczne znajdują się pomiędzy podłużnicami ramy w środkowej części podwozia. Są one sprzęgnięte ze zautomatyzowaną skrzynią biegów, która umożliwia współpracę z rozbudowanym osprzętem. W przypadku innego rozwiązania konstrukcyjnego silniki mogą być zamontowane bezpośrednio przy osi pojazdu co eliminuje układ przeniesienia napędu redukując masę pojazdu [75].



Rys. 2.1 Budowa elektrycznego pojazdu ciężarowego [75]

W niniejszym opracowaniu termin akumulator trakcyjny będzie używany zamiennie ze słowem bateria. W powszechnym użyciu producenci korzystają z jednego z pięciu typów baterii litowo-jonowych:

- **NMC** – litowo-niklowo-kobaltowo-manganowe;
- **NCA** – litowo-kobaltowo-aluminiowe;
- **LMO** – litowo-manganowe;
- **LFP** – litowo-żelazowo-fosforanowe;
- **LPO** – litowo-polimerowe

Charakteryzują się one podobną budową oraz wykorzystywanym przewodnikiem prądu. W konstrukcji akumulatorów litowo-jonowych wykorzystywane są dwie elektrody. W jednej z nich, anodzie, prąd jest pobierany, natomiast w drugiej z nich, katodzie, prąd jest uwalniany. Przewodnikiem umożliwiającym przepływ energii elektrycznej jest elektrolit, będący substancją litu z jednym z pięciu pierwiastków – manganu, kobaltu, niklu, wanadu, tytanu. Przewodnictwo prądu realizuje się za pomocą jonów. W porównaniu do baterii wykonanych w innej technologii, zapewniają one umiarkowany zasięg oraz korzystną cenę ze względu na powszechne użycie w urządzeniach elektronicznych. Główną wadą podczas użytkowania baterii litowo-jonowych jest stopniowy spadek pojemności wywołany między innymi poprzez regularne rozładowywanie oraz ładowanie baterii do 100% pojemności [i55]. Kolejnym krokiem w rozwoju akumulatorów są baterie typu SSB (ang. Solid State Battery), a więc ze stałym elektrolitem. Charakteryzują się one kilkukrotnie większą gęstością energii, większą żywotnością oraz możliwością ultraszybkiego ładowania [i32]. Etapem przejściowym w rozwoju akumulatorów są próby umieszczania baterii w formie modułów pozbawionych konwencjonalnych obudów z wewnętrznymi stelażami. Baterie typu MTB (ang. Module To Bracket) grupuje się w moduły zainstalowane przy użyciu wsporników za kabiną, w jednej obudowie. Ma to na celu ograniczenie masy całej instalacji [i41]. Jednym z głównych elementów układu napędowego samochodu elektrycznego jest falownik. Odpowiada on za zasilanie oraz sterowanie pracą silnika elektrycznego. Falownik przekształca energię elektryczną zamieniając prąd stały pobierany z akumulatora na prąd zmienny po stronie silnika elektrycznego i steruje momentem obrotowym oraz prędkością jednostki napędowej [i37]. W pojazdach samochodowych wykorzystuje się dwa rodzaje silników elektrycznych. Pierwszym z nich jest silnik synchroniczny z magnesami trwałymi, natomiast drugi to silnik indukcyjny, asynchroniczny. Silnik asynchroniczny składa się z nieruchomego stojana z uzwojeniem, wykonanym z ferromagnetycznych blach ze żłobkami na cewki uzwojenia oraz ruchomego wirnika również wykonanego z blach z cewkami na uzwojenie. Na skutek przepływu wielofazowego prądu przemiennego przez układ uzwojenia, dzięki indukcji elektromagnetycznej powstaje wypadkowe pole wirujące wokół wirnika oraz stojana. W rezultacie tworzy się moment elektromagnetyczny działający na ruchomą część silnika (wirnik) co doprowadza do pojawienia się momentu obrotowego przekazywanego do układu napędowego pojazdu. Podobnie zbudowany jest silnik synchroniczny z magnesami trwałymi, który składa się ze stojana oraz wirnika. W tym przypadku wirnik może być litym elementem utworzonym z metalu magnetycznego. Główną różnicą w porównaniu do silnika asynchronicznego jest to, iż prędkość wirowania wirnika jest tu równa prędkości wirowania pola magnetycznego. Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi charakteryzują się większą gęstością mocy przez co są bardziej ekonomiczne i umożliwiają uzyskanie większego zasięgu [5][i62].

2.3 Znaczenie transportu drogowego w Polsce na tle UE

Polska branża transportu drogowego znajduje się w ścisłej czołówce krajów Unii Europejskiej. Cały sektor TSL (Transport, Spedycja, Logistyka) rozwija się z roku na rok odpowiadając za około 7 % PKB polskiej gospodarki [19]. Zgodnie z danymi Eurostatu, opracowanymi przez Polski Instytut Ekonomiczny, specyfika polskiego transportu drogowego sprawia, iż jesteśmy liderem wśród przewozów o długości powyżej 500 km. Trasy o tej długości stanowią ponad 12 % zrealizowanych przewozów w UE, a aktywność przewozowa wyrażona w tonokilometrach wynosi ponad 60 %. Średnia unijna wynosi odpowiednio około 6 % i 42 %. Powyższa struktura rynku wynika z dużego tonażu transportowanych towarów na trasach o długości powyżej 500 km, zwiększając wpływ długich tras na aktywność przewozową. Fakt ten sprawia, iż polskie przedsiębiorstwa korzystają w dużej mierze z ciężkich pojazdów ciężarowych o DMC 40 ton, przystosowanych do pokonywania długich tras, a więc tych które na dzień dzisiejszy są najtrudniejsze w zelektryfikowaniu ze względu na ograniczenia pojemnościowe akumulatorów oraz wysoki koszt zakupu pojazdów. Transport bliski odgrywa w polskim transporcie mniejszą rolę [13]. Powyższe informacje mogą wskazywać na coraz bardziej zaawansowaną sieć logistyczną, gdzie pomiędzy dużymi hubami logistycznymi kursują pojazdy ciężkie, a z hubów towar jest dystrybuowany do miejsc docelowych mniejszymi pojazdami dostawczymi. Specyfika rodzimego rynku nie sprzyja łatwemu zelektryfikowaniu floty pojazdów ciężarowych [19].

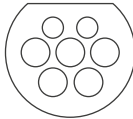
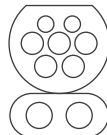

W Polsce zarejestrowana jest największa ilość pojazdów ciężarowych w całej UE. W 2021 roku ilość ta wynosiła 1 234 074 sztuk [20]. W porównaniu do ilości zarejestrowanych spalinowych pojazdów ciężarowych, elektryczne stanowią margines sprzedaży. W Polsce w 2022 roku zostało zarejestrowanych 6 sztuk nowych elektrycznych pojazdów ciężarowych, natomiast z silnikiem o zapłonie samoczynnym 34 112 sztuk. Dla porównania w Niemczech było to odpowiednio 829 i 73 844 sztuk. Dysproporcja pomiędzy Polską a innymi liderami UE może mieć duży wpływ na dalszy rozwój transportu międzynarodowego i zmianę struktury tej gałęzi gospodarki [i30].

2.4 Budowa elektrycznego pojazdu ciężarowego oraz podział na kategorie

W elektrycznym samochodzie ciężarowym, energię można uzupełnić na kilka różnych sposobów. Pierwszym z nich jest fizyczne połączenie pojazdu ze źródłem energii poprzez kabel z wtykiem (plug-in). Wyróżnia się wiele rodzajów aktualnie stosowanych złączy ładowania zależnych od rynku oraz producenta.

W UE w przypadku pojazdów ciężarowych wyróżnia się dwa wiodące rodzaje złączy, oraz jedno nad którym obecnie trwają prace badawcze (tab. 2.1).

Tab. 2.1 Wybrane rodzaje złączy ładowania [i42][i43][i62]

			
	Typ 2	CCS Combo 2	MCS
Prąd ładowania	AC	DC	DC
Maksymalna moc ładowania	43 kW	500 kW	3,75 MW
Zakres obsługiwanego napięcia	230/400 V	1000 V	1250 V
Maksymalne natężenie prądu	63 A	500 A	3000 A

Według firmy Arthur D. Little, do 2030 roku ciężki transport drogowy będzie odpowiadał za zużycie 65% energii przeznaczonej na ładowanie prądem stałym [9]. Informacje na temat procesu ładowania samochodów elektrycznych znajdują się w normach IEC 61851 oraz IEC 62196. Zgodnie z rodzajem prądu, jakim zasilane są ładowarki, wyróżnia się ładowarki zasilane prądem zmiennym AC (ang. Alternating Current) oraz zasilane prądem stałym DC (ang. Direct Current). Złącze Typu 2 (AC) daje możliwość uzupełniania energii w pojeździe elektrycznym prądem przemiennym jedno i trójfazowym. W przypadku pojazdów ciężarowych dominującą rolę ma odegrać ładowanie prądem stałym. Złącze Typu 2 (DC), znane również jako CCS (ang. Combined Charging System), pozwala ładować pojazd elektryczny prądem stałym. W porównaniu do złącza Typu 2 (AC), CCS zawiera dolny moduł, który podaje DC z polaryzacją plus i minus [i62]. Oprócz typów ładowania wyróżnia się również cztery systemy ładowania, z czego dwa są wiodące w przypadku pojazdów ciężarowych. Pierwszy z nich, Mode 3, odnosi się do ładowania prądem przemiennym i definiuje się go jako półszybki lub wolny. Ładowanie jest realizowane dzięki dedykowanym połączeniom z samochodem elektrycznym wraz z funkcjami zabezpieczającymi oraz sterującymi. Drugi z systemów, Mode 4, jest dedykowany do uzupełniania energii prądem stałym i definiuje się go jako szybki lub półszybki. Przetwornik AC/DC jest umieszczony stacjonarnie w ładowarce. Ze względów bezpieczeństwa połączenie wtykane znajduje się wyłącznie od strony pojazdu. Proces ładowania tak jak w przypadku Mode 3, jest realizowany dzięki dedykowanym połączeniom z pojazdem elektrycznym wraz z funkcjami zabezpieczającymi oraz sterującymi. System Mode 3 odnosi się np. do ładowania Typu 2 (AC), natomiast Mode 4 do CCS Combo 2 [i63]. Nowym standardem dla pojazdów ciężarowych ma być megawatowy system ładowania MCS (ang. Megawatt Charging System). W celu ułatwienia adaptacji możliwe będzie dostosowanie poprzedniego standardu CCS

Combo 2 do nowego, poprzez użycie adapterów. Następnym etapem rozwoju standardu MCS ma być możliwość automatycznego ładowania indukcyjnego [i42]. Bezprzewodowe rozwiązanie uzupełniania energii elektrycznej wykorzystuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Cewka ładująca, umożliwiająca przepływ mocy poprzez sprzęgło magnetyczne, łączy się z cewką znajdującą się w samochodzie elektrycznym. Zaletą tego typu rozwiązania jest możliwość wprowadzenia ładowania dynamicznego, a więc umożliwiającego uzupełnianie energii elektrycznej podczas ruchu. Ten sposób uzupełniania energii wiąże się z terminem ERS (ang. Electric Road Systems), a więc dynamicznym ładowaniem przewodzącym polegającym na uzupełnianiu energii elektrycznej w pojeździe elektrycznym w trakcie jazdy przez przewodnik. Do ładowania ciężarowego pojazdu elektrycznego może być również wykorzystana sieć trakcyjna. Wykorzystując napowietrzne przewody trakcyjne, prąd poprzez pantograf trafia do baterii pojazdu. Podobny sposób zasilania jest realizowany za sprawą szyn osadzonych w drodze, dzięki czemu zasilanie odbywa się z poziomu gruntu [29]. Kolejnym sposobem na uzupełnienie energii jest wymiana rozładowanej baterii na naładowaną. Proces ten może być realizowany w przystosowanych do tego punktach serwisowych zlokalizowanych wzdłuż najważniejszych tras. Największym problemem może być standaryzacja baterii, która wymagałaby współpracy pomiędzy producentami akumulatorów oraz pojazdów elektrycznych. W przypadku flot samochodów ciężarowych wymiana akumulatorów mogłaby następować w punktach załadunkowych oraz rozładunkowych, a także w bazie eksploatacyjnej przewoźnika. Wymienne baterie mogłyby również służyć jako magazyny energii stabilizujące napięcie sieci [28]. Energia elektryczna jest także uzupełniana w trakcie hamowania rekuperacyjnego silnika elektrycznego. W tym trybie pracy pełni on rolę prądnicy, a energia kinetyczna jest przekształcana w energię elektryczną, trafiając do akumulatora trakcyjnego [17]. Obecnie trwają również prace nad pozyskiwaniem energii elektrycznej za sprawą paneli fotowoltaicznych umieszczonych na dachu naczep lub przyczep. Program ten został zapoczątkowany przez Komisję Europejską i ma na celu przeprowadzenie testów jak zachowują się panele słoneczne w różnych warunkach atmosferycznych [i61].

2.5 Wpływ transportu drogowego na środowisko

Pojazdy ciężarowe są znaczącym producentem gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery w sektorze transportu drogowego. Bez dalszych działań na rzecz ograniczenia emisji CO₂ pochodzących z pojazdów ciężkich, udział całkowitych emisji CO₂ w UE wzrośnie w latach 2010–2030 o 9 % [a68]. Do 2019 roku unijne prawo nie określało żadnych wymogów dotyczących redukcji emisji CO₂ dla pojazdów ciężkich, w związku z czym w tym roku podjęto szczególne środki mające uregulować normy. Podczas spalania paliw płynnych dochodzi do emisji szkodliwych substancji zanieczyszczających atmosferę w skład których swój udział mają: tlenki węgla, węglowodory, tlenki azotu, cząstki stałe i metale ciężkie. Powyższe związki zwiększają ryzyko występowania schorzeń układu krążenia oraz oddechowego. W przypadku pojazdów z silnikami konwencjonalnymi istotnym zagrożeniem jest

również hałas. Ma on negatywny wpływ na ludzkie zdrowie wywołując uciążliwości, a także obniżając sprawność intelektualną. Emisja zanieczyszczeń ma także wpływ na powstawanie smogu oraz na zakwaszenie środowiska. Związki biorące udział w zakwaszaniu środowiska to między innymi dwutlenek siarki, tlenek azotu i amoniak [13]. Wraz ze zużywającymi się bateriami pojawia się kwestia ich utylizacji. Akumulatory, które uległy uszkodzeniu, czy też nie zapewniają już odpowiedniego parametru określającego stopień sprawności baterii, SoH (ang. State of Health), mogą zostać poddane regeneracji polegającej na ich właściwej diagnostyce, demontażu, wymianie niesprawnych ogniw i ponownym montażu. W przypadku, kiedy regeneracja jest nieekonomiczna, rozwiązaniem może być ponowne wykorzystanie baterii w innych dziedzinach życia na przykład jako magazyn energii, do napędu wózków widłowych, czy też do polepszenia stabilności sieci elektroenergetycznej [7]. Istotną kwestią dotyczącą środowiska jest również recykling zużytych akumulatorów. Wydajność recyklingu jest pojęciem, które oznacza stosunek masy frakcji wyjściowych będących produktem procesu przetwarzania do masy frakcji wejściowej wyeksploatowanych akumulatorów. W dniu 17 sierpnia 2023 roku UE wprowadziła rozporządzenie bateryjne, regulujące cykl życia baterii zaczynając od procesu pozyskiwania surowców, następnie produkcję, a kończąc na recyklingu. Rozporządzenie dotyczy każdego rodzaju baterii. Od 2024 roku zostanie wprowadzony cyfrowy paszport, w formie elektronicznego zapisu, który pozwoli kontrolować cykl życia akumulatora. W roku 2027 mają zostać wprowadzone limity emisji dwutlenku węgla związane z procesem produkcji baterii, dodatkowo z baterii zainstalowanej w samochodach ma być odzyskiwane 80% litu oraz 90% kobaltu i niklu [a70]. Z racji największej popularności akumulatorów litowo-jonowych stosowanych w pojazdach elektrycznych, w niniejszej pracy zostaną przedstawione wybrane technologie recyklingu tych właśnie akumulatorów. Głównym założeniem recyklingu jest odzysk pierwiastków znajdujących się w aktywnych materiałach elektrodowych, a więc litu, kobaltu, niklu, grafitu oraz manganu. Pierwszą z metod jest proces mechaniczny (separacyjny) stosowany wstępnie w znacznej ilości technologii przerobczych, a także do ogniw typu przemysłowego. W sposób mechaniczny jest rozluźniana struktura baterii, następnie komponenty są rozdzielane ze względu na ich charakterystyczne właściwości fizyczne takie jak rozmiar, gęstość czy też właściwości magnetyczne. Proces ten charakteryzuje się niższymi kosztami niż inne rodzaje technologii. Kolejnym z procesów jest proces hydrometalurgiczny składający się z kilku etapów polegających na rozpuszczaniu danych frakcji odpadów, oczyszczaniu i zatężaniu utworzonego roztworu, a także na wydzielaniu czystych związków chemicznych. Zaletą tej technologii jest mała ilość wyprodukowanych odpadów wtórnych oraz niskie nakłady energetyczne. Ostatnim z omawianych procesów jest proces pirometalurgiczny, gdzie materiały odzyskuje się dzięki wytopie metali w piecach. W tej technologii możliwy jest recykling ogniw różnego rodzaju, również tych które zawierają elektrolit organiczny. Ograniczenia w zastosowaniu wynikają z niskiej wydajności procesu oraz powstawaniu odpadów wtórnych. Koordynacją i kontrolą kwestii prawnych, na poziomie krajowym, związanych z recyklingiem akumulatorów zajmuje się Główny Inspektorat Ochrony Środowiska [15].

3 Wdrożenie elektromobilności do floty pojazdów ciężarowych

W chwili obecnej elektryczne samochody ciężarowe dopiero zaczęły pojawiać się w firmowych flotach. Przedsiębiorstwa, którym zależy na dekarbonizacji, rozpoczęły szeroko zakrojone inwestycje mające na celu elektryfikację swoich własnych flot. Z racji coraz bardziej zaostrzonych przepisów, elektromobilność pojawi się również w firmach dysponujących znacznie mniejszą flotą.

3.1 Znaczenie dekarbonizacji flot pojazdów ciężarowych

Dekarbonizacja jest procesem, którego celem jest redukcja szkodliwych substancji dostających się do atmosfery. Proces ten w kontekście transportu drogowego niesie za sobą wiele zmian, które w konsekwencji odczuje całe społeczeństwo.

3.1.1 Ograniczenie emisji CO₂ w ciężkim transporcie drogowym – normy i rozporządzenia

W 2019 roku został zainicjowany strategiczny program pod nazwą „Europejski Zielony Ład” (ang. European Green Deal), który ma na celu ochronę klimatu poprzez osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. W tym celu jednym z elementów programu jest propagowanie zrównoważonego transportu, a więc takiego który nie jest szkodliwy dla środowiska, a zarazem spełnia oczekiwania społeczeństwa [i33]. W kontekście elektromobilności najbardziej istotny jest pakiet regulacyjny „Gotowi na 55” (ang. Fit For 55), który wdraża założenia Europejskiego Zielonego Ładu. Jednym z punktów pakietu jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych netto o co najmniej 55% do 2030 roku w porównaniu z poziomem z 1990 roku, a także ograniczenie wytwarzania energii z węgla oraz gazu ziemnego [a71]. Częścią pakietu jest również reforma Europejskiego Systemu Handlu Emisjami (ETS II). Zgodnie ze zmianami obowiązkiem zakupu uprawnień do emisji CO₂ zostanie objęty transport samochodowy [i51]. Większa część pakietu bezpośrednio nie odnosi się do motoryzacji, natomiast ma pośredni wpływ na kształtowanie się rynku motoryzacyjnego [i34]. Pierwsze w historii normy emisji dwutlenku węgla w UE dla drogowego transportu ciężkiego zostały wprowadzone 14 sierpnia 2019 roku, zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1242 z dnia 20 czerwca 2019 roku. W tekście rozporządzenia można wyczytać, iż producenci są zobligowani do zmniejszenia emisji CO₂ unijnego parku nowych pojazdów ciężarowych o 15 % od roku 2025 oraz o 30 % od roku 2030, w porównaniu z emisjami CO₂ za okres od 1 lipca 2019 do 30 czerwca 2020 roku [a72]. Wynikające z rozporządzenia regulacje mają pomóc UE w realizacji zobowiązań Porozumienia paryskiego.

W myśl tego porozumienia państwa UE podjęły działania w osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku. Zobowiązania mają na celu ograniczenie unijnych emisji o co najmniej 55 % w stosunku do poziomu z 1990 roku. Porozumienie paryskie zostało wprowadzone 4 listopada 2016 roku, a głównym jego celem jest zatrzymanie wzrostu średniej globalnej temperatury, utrzymując ją na poziomie nie więcej niż 1,5°C [i35].

W dniu 21 listopada 2023 roku, Parlament Europejski zagłosował za zaostrzeniem celów redukcji emisji dwutlenku węgla dla pojazdów ciężkich. W związku z tym ograniczenie emisji CO₂ miałyby wynosić 45% w latach 2030 - 2034, 65% w latach 2035 - 2039 oraz 90% od 2040 roku. W następnym kroku zostaną podjęte rozmowy Parlamentu Europejskiego z rządami UE w celu uzgodnienia ostatecznej treści przepisów [i44].

Ograniczenie emisji zanieczyszczeń jest także głównym celem wprowadzenia normy Euro 7. Ma ona wprowadzić znacznie bardziej dokładne kontrole emisji spalin przeprowadzane w trakcie testów drogowych, wydłużyć obowiązkowy okres zgodności z normami do 10 lat lub przejechanych 200 tysięcy kilometrów, a także wprowadzić możliwość zdalnej kontroli poziomu emisji poprzez czujniki zamontowane w pojeździe [i39].

3.1.2 Wprowadzenie stref czystego transportu

Strefą czystego transportu (SCT) nazywa się obszar objęty ograniczeniami wjazdu dla pewnych kategorii pojazdów. W ogólnym rozumieniu dotyczy to pojazdów o najwyższej emisji zanieczyszczeń, a więc pojazdów najstarszych niespełniających odpowiednich norm emisji spalin. Ustalone przez upoważnione organy SCT mają na celu ograniczenie zanieczyszczenia powietrza oraz poziomu natężenia hałasu poprzez modernizację floty pojazdów poruszających się w obszarze miasta. Wprowadzenie SCT wiąże się z wieloma poprzedzającymi czynnościami. Wzorem dla polskich miast we wprowadzaniu SCT mogą być miasta zagraniczne, w których takie strefy funkcjonują od dłuższego czasu.

W pierwszej kolejności istotnym jest określenie, czy na terenie gminy zanieczyszczenia pochodzące z transportu drogowego negatywnie wpływają na zdrowie ludzi oraz środowisko. Gminy mają możliwość samodzielnego podejmowania decyzji odnośnie wprowadzenia SCT. Wiąże się to z brakiem ogólnych wytycznych narzuconych przez ustawy. W celu podjęcia ostatecznej decyzji gminy mogą bazować na wynikach pomiarów poziomu emisji zanieczyszczeń, opiniach pochodzących od mieszkańców oraz publikacjach naukowych. W drugim etapie należy przeprowadzić kampanię informacyjną, w której poinformuje się kluczowe grupy społeczne o korzyściach płynących z ograniczenia ruchu w wybranych strefach. Materiały komunikacyjne mogą być promowane poprzez różne kanały informacyjne w postaci mediów społecznościowych oraz lokalnych, a także poprzez wydarzenia lokalne i warsztaty edukacyjne przeprowadzanych w placówkach edukacyjnych. Następnie dobrze jest przeprowadzić analizę obszaru, gdzie ma powstać SCT. Najbardziej wskazane jest to miejscach, gdzie poziom zanieczyszczeń powietrza przekracza założone normy, a także

o dużym natężeniu ruchu i gęstości zaludnienia.

Zgodnie z Ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych wyznaczona strefa może powstać w dowolnej gminie i może obejmować jej cały obszar [a71]. W celu upłynnienia ruchu w mieście SCT powinny zostać zlokalizowane w miejscach w którym powstają zatory komunikacyjne. Kolejną kwestią jest sposób organizacji ruchu w wydzielonej strefie. Oznakowanie strefy za sprawą znaków drogowych D-54 oraz D-55 należy zrobić w takim miejscu, aby kierowca mógł z wyprzedzeniem wiedzieć o tym, że zbliża się do specjalnej strefy. Pojazd powinien być oznaczony nalepką, której wzór znajduje się w rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 31 marca 2022 roku w sprawie wzoru nalepki dla pojazdów uprawnionych do wjazdu do strefy czystego transportu [a69]. Kolejną istotną kwestią jest wyznaczenie kategorii pojazdów zwolnionych z zakazu wjazdu do wyznaczonych stref. Możliwość taką powinny mieć pojazdy zeroemisyjne, pojazdy służ mundurowych, a także wszelkie inne określone w uchwale rady gminy. Ograniczając wjazd do SCT powinno dążyć się do ograniczenia negatywnych skutków społecznych oraz ekologicznych. W tym celu jest możliwe dopuszczenie do wjazdu pojazdów innych niż wyłączone na mocy uchwały lub ustawy za odpowiednią opłatą oraz w ustalonych godzinach. Etap ten może trwać przez okres przejściowy. Po pomyślnym procesie weryfikacji można przystąpić do procesu ustanowienia SCT. W pierwszym etapie prezydent, burmistrz lub wójt sporządza projekt uchwały. W kolejnym kroku w terminie do 21 dni są zgłaszane uwagi przez mieszkańców miasta, następnie po rozpatrzeniu wszelkich uwag projekt jest przekazywany radzie gminy. W terminie do 60 dni większością głosów jest podejmowana uchwała o ustanowieniu SCT. Ostatecznie prezydent, burmistrz lub wójt jest zobowiązany do wykonania uchwały rady gminy o realizacji projektu strefy czystego transportu. Coraz bardziej rozbudowane ograniczenia powinny być wdrażane stopniowo co kilka lat, a każdy kolejny etap powinien eliminować około 10% samochodów poruszających się na obszarze SCT. Wraz z podjęciem decyzji odnośnie realizacji ograniczonej strefy powinna zostać przeprowadzona kolejna kampania informacyjna, tym razem informująca o przebiegu funkcjonowania SCT. Weryfikacja przestrzegania przepisów jest możliwa dzięki rozbudowanej sieci kamer skanujących tablice rejestracyjne, a następnie w systemie dane porównywane są z bazą pojazdów. Pojazdy spoza bazy, a więc te z wykupionymi przepustkami muszą przejść manualną kontrolę przez wyznaczonego pracownika. W czasie funkcjonowania strefy istotnym jest weryfikowanie stanu jakości powietrza pod kątem zawartości tlenków azotu i siarki oraz stężenia cząstek pyłu zawieszonego. Weryfikacja realnych wyników z badaniami przeprowadzonymi przed wprowadzeniem SCT umożliwiają dalsze kształtowanie obszaru strefy, a także mogą się przyczynić do jej likwidacji. Przychody z tytułu wprowadzenia SCT mogą być przeznaczane na rozwój zeroemisyjnego transportu publicznego oraz alternatywnych form mobilności np. hulajnóg elektrycznych lub rowerów [10].

3.1.3 Nowa Mobilność

Termin „Nowej Mobilności” wiąże się ze strategią stworzenia zintegrowanego systemu transportowego dla miast. Ma to na celu ograniczenie ilości pojazdów w obszarach zamieszkałych przez ludzi, a przez to poprawę jakości życia mieszkańców. Całością mają sterować cyfrowe systemy, za pośrednictwem technologii nazywanych Internetem Rzeczy (ang. Internet of Things, IoT). Termin ten oznacza sieć obiektów fizycznych, które są wyposażone w czujniki, oprogramowanie oraz inne elementy elektroniczne w celu łączenia się i przesyłania danych z innymi systemami i urządzeniami za pośrednictwem internetu [18]. Urządzenia te obejmują zarówno zwykłe przedmioty gospodarstwa domowego, jak i zaawansowane narzędzia przemysłowe. „Nowa Mobilność” składa się z następujących elementów: współdzielonej mikromobilności np. rowery miejskie w tym towarowe, współdzielonych samochodów np. najem krótkoterminowy, wspólnych przejazdów z maksymalnym wykorzystaniem przestrzeni w samochodzie, mobilności na żądanie z wykorzystaniem pojazdów autonomicznych, a także cyfrowego połączenia transportu drogowego z usługami umieszczonymi na cyfrowych platformach określanych terminem MaaS (ang. Mobility as a Service). Ogniwem spajającym cały system są huby, w których można naładować pojazd oraz skorzystać z innych elementów składowych „Nowej Mobilności”. Kategorie transportu, które należą do tych najbardziej efektywnych to prywatny transport współdzielony oraz komunikacja zbiorowa. Na tych filarach będzie budowana przyszłość transportu miejskiego, gdzie ograniczy się infrastrukturę drogową np. przestrzenie parkingowe w celu poszerzenia zakresu terenów zielonych, a także uniknie się wykluczenia komunikacyjnego. Problem ten może występować w mniejszych miastach, które nie mają tak rozbudowanej komunikacji publicznej.

Transport towarów w sieci miejskiej również ulegnie zmianie. W tym celu na dużą skalę rozwinię się transport multimodalny, wykorzystujący różne formy transportu towarów. Trasa jest dzielona na poszczególne odcinki, a początkowy i ostatni fragment jest określany jako pierwsza i ostatnia mila. Przykładowo w pierwszym etapie trasy odbioru towaru z magazynu można wykorzystać elektryczne pojazdy ciężarowe o DMC powyżej 3,5 tony. Ładunek w formie paczek może być przewożony w znormalizowanych wózkach, które zostają rozładowane w poszczególnych punktach na trasie pojazdu. Z poszczególnych wózków towar może być rozwożony bezpośrednio do klienta za pomocą rowerów towarowych lub małych samochodów dostawczych. W celu zachęcenia społeczeństwa do korzystania z usług „Nowej Mobilności” należy wprowadzić zachęty takie jak np. zniesienia opłat za postój pojazdów współdzielonych, dopuszczenie wjazdu pojazdami współdzielonymi do stref SCT w tym również pojazdów spalinowych, utworzenie miejsc parkingowych i logistycznych w formie hubów, dopuszczenie pojazdów współdzielonych do korzystania ze stref ograniczonego ruchu, a także do korzystania z buspasów.

W perspektywie czasu aktualne środki transportu ciężarowego mogłyby zostać zastąpione pojazdami autonomicznymi. Wymagałoby to zmiany prawa, a także wprowadzenia terminu ciężarowego pojazdu autonomicznego. Autonomiczny transport wymagałby analizy wyzwań jakie są stawiane przez branżę logistyczną, przeprowadzenia badań związanych z cyberbezpieczeństwem i możliwością przejęcia kontroli nad pojazdem przez osoby trzecie. W tym celu do realizacji programu „Nowej Mobilności” powinny zostać zaangażowane samorządy, które wraz z władzą centralną oraz dostawcami usługi „Nowej Mobilności”, uczestniczyłyby w pilotażowych projektach zbierając dane oraz nabywając doświadczenia niezbędnego w organizacji ruchu w miastach. Reasumując „Nowa Mobilność” jest dużą szansą dla rozwoju zrównoważonego transportu ciężarowego przy udziale pojazdów o napędzie alternatywnym [25].

3.2 Rozwój infrastruktury ładowania w sieci TEN-T

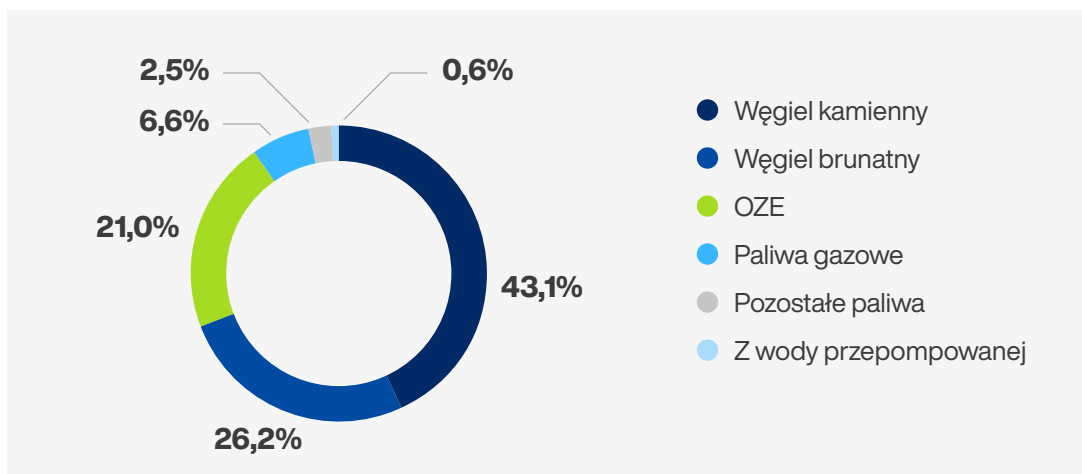
Infrastruktura drogowa musi zostać dostosowana do obsługi elektrycznych pojazdów lekkich oraz ciężarowych o napędzie zeroemisyjnym. Wymaga to podjęcia wielu działań zgodnie z zaktualizowanymi wytycznymi publikowanymi przez unijne oraz krajowe instytucje.

3.2.1 Systemy elektroenergetyczne w Polsce

Sieć elektroenergetyczna odgrywa kluczową rolę w procesie elektryfikacji pojazdów samochodowych. Elektrownie wraz siecią elektroenergetyczną (SE) wchodzi w skład systemów elektroenergetycznych (SEE) jako podsystemy, a więc grupę urządzeń służących do wytwarzania, przesyłania oraz rozdzielania energii elektrycznej. W Polsce wytwarzanie energii elektrycznej odbywa się w:

- elektrowniach ciepłych kondensacyjnych pracujących na węglu brunatnym lub kamiennym, w których jest wytwarzana tylko energia elektryczna, a z turbiny parowej nie pozyskuje się ciepła pary wylotowej;
- elektrociepłowniach przemysłowych i miejskich, które w układzie skojarzonym wytwarzają zarazem energię elektryczną oraz ciepłą, moc elektrowni zawiera się w przedziale od kilku do kilkuset MW;
- elektrowniach wodnych szczytowo-pompowych i przepływowych;
- odnawialnych źródłach energii (OZE) w skład których wchodzi energia promieniowania słonecznego, wiatru, geotermalna, aerotermalna, hydrotermalna, fal, prądów oraz pływów morskich, otrzymywana z biogazu, biomasy i biopłynów [23].

Zgodnie z danymi Agencji Rynku Energii (ARE), łączna ilość wyprodukowanej energii według nośników energii w Polsce wyniosła 179 748 GWh (rys. 3.1).



Rys. 3.1 Struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce w 2022 r. [12]

Z powyższych danych wynika, iż większość energii elektrycznej wyprodukowanej w Polsce pochodzi ze źródeł konwencjonalnych. Krajowa transformacja energetyczna przebiega wolniej niż w przypadku innych krajów europejskich, które od dłuższego czasu przygotowują się do zmiany struktury produkcji energii elektrycznej. Wynika to z faktu, iż polski blok energetyczny w dużej mierze jest obciążony węglem. W docelowym systemie elektroenergetycznym ma również pojawić się elektrownia jądrowa, w której energia elektryczna powstaje na skutek rozszczepiania jąder atomów. Za sprawą sieci elektroenergetycznej, energia elektryczna łączy źródło energii z jej odbiorcami. Przesył energii jest realizowany przez linie elektroenergetyczne kablowe i napowietrzne, a rozdział dokonuje się w stacjach elektroenergetycznych, w których możliwe jest również przetwarzanie energii na przykład poprzez zmianę poziomu napięcia. W polskim systemie elektroenergetycznym wyróżnia się sieci o napięciach znamionowych rzędu: 400, 220 kV (najwyższe napięcie NN); 110 kV (napięcie wysokie WN), 20, 15, 10, 6 kV (napięcia średnie SN); 1, 0,69, 0,40 kV (napięcia niskie nn). Sieci typu NN są nazywane sieciami systemowymi ze względu na ich istotną rolę w funkcjonowaniu systemu elektroenergetycznego. Odpowiadają one za przesył mocy wytworzonej w elektrowniach. Sieciami przesyłowo-rozdzielczymi są sieci typu WN, których jest w Polsce kilkadziesiąt i tworzą układy zamknięte. Rozdział energii elektrycznej dokonuje się w sieciach typu SN. W ostatnim etapie przesyłu energii wykorzystywane są sieci typu nn, które mają za zadanie doprowadzić energię bezpośrednio do odbiorców [23].

Operator Systemu Dystrybucyjnego (OSD) odpowiedzialny jest za rozdział energii oraz jej dostarczenie do końcowego odbiorcy. Wykonuje on również niezbędne inwestycje dotyczące sieci odpowiadając za jej rozbudowę oraz modernizację. Awaria sieci może nastąpić na skutek zwiększonego szczytowego zapotrzebowania na moc w efekcie masowego ładowania samochodów elektrycznych. Wzrost jednorazowego poboru mocy jest istotnym problemem w aglomeracjach miejskich, gdzie duża ilość ładowanych w tym samym czasie samochodów może przeciążyć sieć, ale również mieć

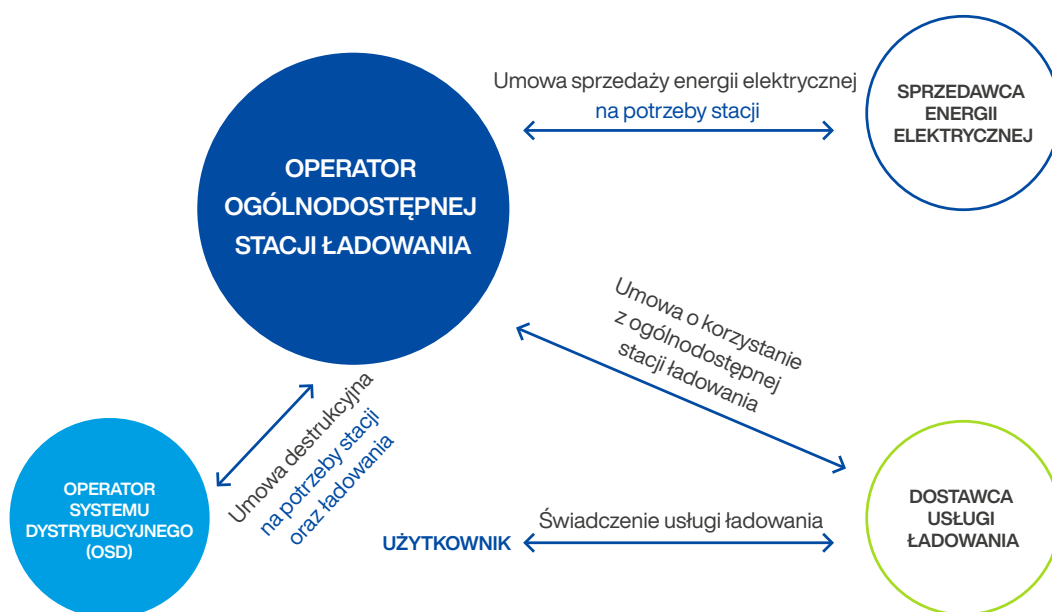
negatywny wpływ na jakość prądu. Obecna infrastruktura sieciowa wymaga modernizacji w celu dostosowania jej do zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną. Modernizację sieci powinno zacząć się od wymiany kabli, które zapewnią większą zdolność przesyłową, a także wymianę transformatorów na te zapewniające większą moc. Punkty ładowania mogą być ładowane z lokalnych źródeł wytwarzających energię, połączonych z magazynami energii. Sieć elektroenergetyczna powinna być dostosowana do nierównomiernego poboru mocy, który będzie się pogłębiał za sprawą rosnącego udziału odnawialnych źródeł energii oraz większej ilości samochodów elektrycznych. Ciągłe bilansowanie sieci elektroenergetycznej będzie możliwe za sprawą rozbudowanych systemów informatycznych, inteligentnych liczników oraz magazynów energii. W całym systemie dużą rolę odegrają pojazdy elektryczne, które dzięki bateriom mają pełnić rolę mobilnych magazynów energii. Integracja pojazdu elektrycznego z siecią elektryczną może następować poprzez dwa sposoby. Pierwszym z nich jest inteligentne ładowanie (ang. smart charging, V1G). Technologia ta umożliwia sterowanie procesem ładowania, w czasie przepływu energii elektrycznej z sieci do samochodu. Druga z technologii (ang. vehicle-to-grid, V2G) zapewnia dwukierunkowy przepływ energii pomiędzy pojazdem a siecią, dzięki czemu możliwe jest magazynowanie oraz oddawanie energii elektrycznej zależnie od zapotrzebowania. Technologia ta może przyczynić się do dużych oszczędności, dzięki zmniejszeniu szczytowych obciążeń sieci, w konsekwencji ograniczając potrzebę rozbudowy sieci elektroenergetycznej. Kiedy sieć jest obciążona i zapotrzebowanie na moc jest wysokie, pojazd oddaje energię, a w przypadku zmniejszonego zapotrzebowania pobiera energię gromadząc ją w akumulatorach. Obydwie technologie wiążą się z koncepcją sieci inteligentnych (ang. smart grid), które dają możliwość komunikacji pomiędzy wytwórcą a odbiorcą energii elektrycznej. Przepływ informacji zapewni zautomatyzowana sieć elektroenergetyczna oraz inteligentne liczniki (ang. smart meters), które dają możliwość automatycznego przetwarzania i zarządzania danymi pomiarowymi [14][19].

3.2.2 Struktura rynku infrastruktury ładowania w Polsce

Ustawa o elektromobilności definiuje schemat funkcjonowania infrastruktury ładowania, a także reguluje kwestie związane z budową stacji ładowania pojazdów elektrycznych.

W ustawie znajdują się również podstawowe pojęcia dotyczące infrastruktury ładowania takie jak: punkt ładowania, stacja ładowania, dostawca usługi ładowania (DUŁ) oraz operator ogólnodostępnej stacji ładowania (OOSŁ). W powszechnym użyciu znane są skróty EMP (ang. E-Mobility Service Provider) oraz CPO (ang. Charge Point Operator). Punkt ładowania jest urządzeniem umożliwiającym ładowanie pojedynczego pojazdu, a także miejscem wymiany lub ładowania akumulatora napędzającego ów pojazd. Zgodnie z podziałem opisanym w ustawie, punkt ładowania o normalnej mocy dysponuje mocą o wartości mniejszej lub równej 22 kW, wyłączając urządzenia o mocy mniejszej lub równej 3,7 kW zainstalowanych poza ogólnodostępnymi stacjami

ładowania. Punkty ładowania których moc przekracza 22 kW nazywane są punktami ładowania o dużej mocy. Stacja ładowania jest to urządzenie budowlane zawierające jeden z wymienionych typów punktu ładowania, związany z obiektem budowlanym lub też obiekt budowlany typu wolnostojącego z zamontowanym przynajmniej jednym punktem ładowania. Wyróżnia się stacje ogólnodostępne oraz takie do których dostęp jest ograniczony. W początkowym okresie rozwoju infrastruktury ładowania operator ogólnodostępnej stacji ładowania był jednocześnie dostawcą usługi ładowania, natomiast model ten z czasem uległ zmianie (rys. 3.2).



Rys. 2.1 Budowa elektrycznego pojazdu ciężarowego [75]

OOSŁ jest odpowiedzialny za budowę, eksploatację oraz konserwację ogólnodostępnej stacji ładowania, dbając o bezpieczeństwo obiektu. Podpisuje on również umowę z OSD oraz umowę dotyczącą zakupu energii. OOSŁ może być podmiotem zarządzającym stacją ładowania i jednocześnie właścicielem stacji ładowania. DUŁ ma bezpośredni kontakt z klientem świadcząc usługę ładowania poprzez umożliwienie korzystania z infrastruktury stacji ładowania.

Jego rola sprowadza się również do naliczania opłat i pobierania płatności, a także windykację należności w przypadku niezapłacenia za usługę ładowania. OOSŁ powinien zapewnić DUŁ dostęp do ogólnodostępnej stacji ładowania [24][a73].

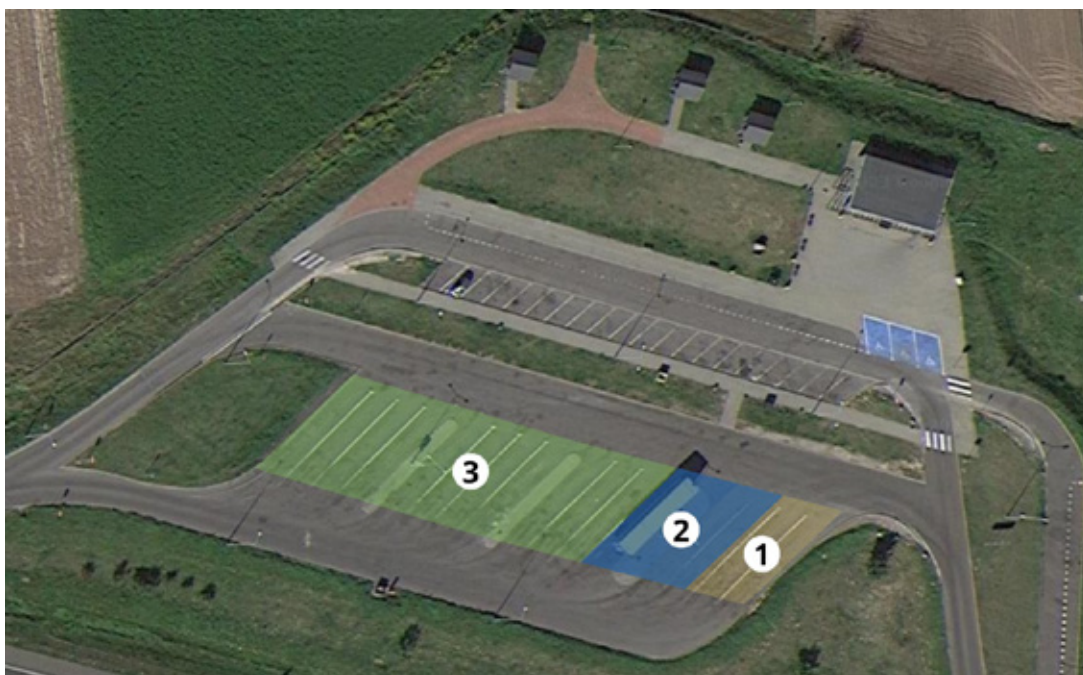
3.2.3 Wyznaczenie kluczowych lokalizacji stacji ładowania wzdłuż sieci TEN-T

Plany rozwoju infrastruktury ładowania dotyczące pojazdów ciężarowych zostały zaprezentowane w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej. Regulacje te są elementem pakietu „Fit for 55”. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE (AFID) przedstawiona 22 października 2014 roku [a67], została zastąpiona rozporządzeniem AFIR [a74], które nie będzie wymagało implementacji i zostanie bezpośrednio zastosowane we wszystkich krajach członkowskich. Regulacje zawarte w rozporządzeniu dotyczą odległości pomiędzy poszczególnymi obiektami infrastruktury ładowania, wymaganej mocy, a także terminów wywiązania się z narzuconych wytycznych. Zgodnie z rozporządzeniem stacje ładowania przeznaczone m.in. dla pojazdów ciężarowych powinny zostać wybudowane wzdłuż wybranych korytarzy transportowych, a więc wzdłuż sieci TEN-T. Transeuropejska Sieć Transportowa jest programem unijnym, który służy do koordynacji inwestycji infrastrukturalnych, propagowania alternatywnych źródeł energii, integracji różnych gałęzi transportu, a także zapewnieniu komplementarności i spójności poczynionych inwestycji. Program ten dotyczy sieci powietrznych, wodnych, kolejowych i drogowych spajając je w jeden ujednoczony układ zarządzany przez inteligentne systemy [i47]. W przypadku transportu kołowego sieć bazowa będąca podstawą rozwoju sieci transportowej na terenie Polski ma długość 3812 km. Ma ona znaczenie strategiczne do osiągnięcia celów TEN-T takich jak poprawienie przepustowości oraz wydajności systemu transportowego, rozwiązanie problemu wąskich gardeł, intensyfikacji połączeń międzynarodowych. Sieć kompleksowa ma zapewnić łączność oraz dostępność dla wszystkich regionów w UE, a jej długość w Polsce wynosi 3689 km [27]. Zgodnie z zaktualizowanymi założeniami dotyczącymi rozporządzenia AFIR, dla pojazdów ciężkich:

- do końca 2025 roku na minimalnie 15% długości sieci TEN-T powinny zostać oddane do użytku stacje ładowania, gdzie każda strefa ładowania ma moc co najmniej 1400 kW;
- do końca 2027 roku na minimalnie 50% długości sieci TEN-T powinny zostać oddane do użytku stacje ładowania, w przypadku strefy ładowania sieci bazowej o mocy co najmniej 2800 kW, a w przypadku strefy ładowania sieci kompleksowej o mocy co najmniej 1400 kW;
- do końca 2030 roku w 100% całej sieci TEN-T powinny zostać oddane do użytku stacje ładowania, w przypadku strefy ładowania sieci bazowej o mocy co najmniej 3600 kW, a w przypadku strefy ładowania sieci kompleksowej o mocy co najmniej 1500 kW, rozmieszczonymi maksymalnie odpowiednio co 60 i 100 km [a71].

3.2.4 Przykładowy hub ładowania

Elektryczne pojazdy ciężarowe, szczególnie te pokonujące długie dystanse, oprócz możliwości ładowania w punktach załadunkowych, rozładunkowych oraz bazach eksploatacyjnych powinny mieć również możliwość uzupełniania energii podczas przerw realizowanych na trasie. Do tego celu mogą posłużyć miejsca obsługi podróżnych (MOP) (rys. 3.3), a także prywatne parkingi. Rozmieszczenie stacji ładowania wzdłuż sieci TEN-T jest podyktowane wytycznymi zawartymi w rozporządzeniu AFIR.



Rys. 2.1 MOP Ciosny z przykładowym rozmieszczeniem infrastruktury ładowania pojazdów ciężarowych [a71]

Przykładowy parking składa się z 16 stanowisk z możliwością podłączenia pojazdu ciężarowego do ładowarki. Ładowarki w standardzie MCS (1) o mocy 1,5 MW powinny umożliwić uzupełnienie energii w przypadku nagłej sytuacji, w której kierowca nie ma możliwości wykonywania 45 minutowej pauzy, np. w przypadku wykonywania przerwy skróconej do 15 minut.

W przypadku, kiedy pojazd zatrzymuje się po 4,5 h jazdy powinien mieć możliwość skorzystania z ładowarek o mocy 500 kW (2), które są w stanie w przeciągu 45 minut uzupełnić energię w baterii na tyle, żeby móc dalej kontynuować podróż. Kierowca wykonujący regularny dzienny odpoczynek trwający co najmniej 11 godzin będzie mógł podłączyć pojazd do ładowarki o mocy 50 kW (3). W tym czasie taka moc powinna być wystarczająca do naładowania większości obecnie oferowanych elektrycznych pojazdów ciężarowych. Rozbudowa infrastruktury ładowania wzdłuż sieci TEN-T i optymalizacja tras jest niezbędna w jak najbardziej efektywnym wykorzystaniu pojazdu ciężarowego oraz unikaniu zbędnych przestojów [28][i65].

3.3 Sposoby finansowania oraz wsparcia floty elektrycznych pojazdów ciężarowych

Elektryczne pojazdy ciężarowe są znacznie droższe od tych o klasycznym układzie napędowym. Popularne formy finansowania mogą być niewystarczające do zachęcenie nabywców do przejścia na pojazdy zeroemisyjne. W związku z tym pojawiają się coraz bardziej rozbudowane oferty świadczenia usług oraz systemy wsparcia, które mogą znacznie odciążyć przedsiębiorcę użytkującego elektryczny samochód ciężarowy.

3.3.1 Klasyczne formy finansowania samochodu ciężarowego

Zakup pojazdu ciężarowego ze środków własnych jest najprostszą formą finansowania. Po dokonaniu pełnej płatności, nabywca staje się właścicielem pojazdu. Ten model finansowania najczęściej jest stosowany w przypadku pojazdów używanych, których koszt jest znacznie niższy niż nowego pojazdu. Finansowanie samochodu ciężarowego ze środków własnych wiąże się z zamrożeniem kapitału, który mógłby być na bieżąco inwestowany. Trudniej jest również negocjować kwotę zakupu, gdzie firmy leasingowe ze względu na stałą współpracę ze sprzedawcami mogą liczyć na rabaty. Zakup pojazdu za gotówkę sprawia, iż pojazd ciężarowy staje się składnikiem majątku firmowego [i40]. Kolejną formą finansowania pojazdu ciężarowego jest kredyt. Przy pomocy tego instrumentu finansowego można swobodnie sfinansować zakup nowego lub używanego pojazdu ciężarowego, bez ograniczeń związanych z wiekiem pojazdu. Kredyt wiąże się również z zabezpieczeniem w formie przywłaszczenia. Wyróżnia się dwa rodzaje zabezpieczenia, przywłaszczenie częściowe, polegające na przeniesieniu własności w 49% na bank i warunkowe, kiedy kredytobiorca udziela zgody na to, że bank staje się właścicielem pojazdu w przypadku niespłacenia zadłużenia. Kredyt ze względu na krótki okres finansowania może się wiązać z wysoką ratą [i66]. Finansowanie zakupu pojazdów ciężarowych opiera się w głównej mierze na leasingu. W ten sposób można pozyskać nowy lub używany pojazd ciężarowy, bez konieczności ponoszenia kosztów jego zakupu.

Podmiot finansujący pojazd, leasingodawca, zgodnie z umową przekazuje leasingobiorcy prawo do użytkowania pojazdu. Użytkownik samochodu ciężarowego jest zobowiązany do wpłacenia na rzecz leasingodawcy miesięcznego czynszu, składającego się z dwóch elementów, kapitałowego dotyczącego wartości pojazdu oraz odsetkowego, będącego opłatą dla leasingodawcy. Wyróżnia się dwa rodzaje opisywanej formy finansowania. Pierwszą z nich jest leasing operacyjny w przypadku którego pojazd ciężarowy jest wliczany do składników majątkowych leasingodawcy, który jest zobowiązany do dokonywania odpisów amortyzacyjnych. Kosztami uzyskania przychodu dla użytkownika pojazdu są miesięczne raty leasingowe, do których jest doliczany podatek VAT, a także opłata wstępna. Zgodnie z definicją zawartą

w ustawie o podatku dochodowym od osób fizycznych, kosztami uzyskania przychodów są wydatki poniesione w celu osiągnięcia przychodów lub zachowania albo zabezpieczenia źródła przychodów. W przypadku leasingu finansowego pojazd jest wliczany do składników majątkowych leasingobiorcy, a więc to na tym podmiocie spoczywa obowiązek dokonywania odpisów amortyzacyjnych. Do kosztów uzyskania przychodów użytkownik może zaliczyć część odsetkową raty leasingowej. Podatek VAT uiszczany jest w całości z góry przy odbiorze pojazdu. Samochód staje się własnością użytkownika wraz z opłatą ostatniej raty. Przy opłacie wstępnej leasingobiorca nie ponosi związanych z nią kosztów. Leasing operacyjny jest zalecany w przypadku krótkiego okresu użytkowania pojazdu. Zwiększa się w ten sposób bieżące koszty działalności, zmniejszając podstawę opodatkowania [i53][i58].

Wynajem długoterminowy pod kątem podatkowym oraz prawnym jest odpowiednikiem leasingu operacyjnego. Zgodnie z art. 659 par. 1 Kodeksu cywilnego, „Przez umowę najmu wynajmujący zobowiązuje się oddać najemcy rzecz do używania przez czas oznaczony lub nieoznaczony, a najemca zobowiązuje się płacić wynajmującemu umówiony czynsz”. W przypadku samochodów ciężarowych, wydatki związane z ich użytkowaniem księgowane są w pełnej wartości w kosztach uzyskania przychodu. Wartość samochodu ciężarowego nie wpływa na rozliczenie na gruncie PIT. Miesięczne raty są w tym przypadku opłatą za użytkowanie pojazdu, dodatkowe usługi oraz rekompensatę jego utraty wartości. Możliwość wykupu pojazdu jest w tym przypadku nieopłacalna ze względu na koszt wykupu, zbliżony do ceny rynkowej samochodu. W wielu przypadkach wpłata czynszu inicjalnego nie jest wymagana. Po upływie okresu użytkowania pojazd ciężarowy jest zwracany instytucji finansującej, w związku z czym powinien on być w dobrym stanie i spełniać wymogi dotyczące stanu pojazdu, które są określane przez instytucję wynajmującą. W przypadku uszkodzeń nieakceptowalnych, użytkownik pokrywa koszty związane z naprawą. Dodatkowo wynajmujący pojazd może wprowadzić ograniczenie ilości kilometrów, które użytkownik może pokonać w trakcie trwania umowy [i31][i45][i57].

3.3.2 EaaS – kompleksowy model biznesowy

Wraz z rozwojem „Nowej Mobilności” zmienia się podejście do klasycznego użytkowania pojazdu. Koszt elektrycznych samochodów ciężarowych wielokrotnie przewyższa wartość klasycznego pojazdu ciężarowego o napędzie spalinowym. Nie do końca oczywisty jest też fakt obliczania wartości rezydualnej pojazdu. Brak również wiedzy na temat technologii związanych z elektrycznymi pojazdami ciężarowymi takimi jak obsługa baterii, czy obliczanie realnego zasięgu pojazdu o danych parametrach. EaaS (ang. Equipment as a Service) to model biznesowy, polegający na wynajmowaniu obiektu wraz z rozbudowanym pakietem usług użytkownikom końcowym, w zamian pobierając opłatę za jego użytkowanie. Zmienia to sposób pojmowania pojazdu ciężarowego nie jako produktu, a jako usługi. W głównej mierze model ten ma na celu

umożliwienie pozyskania i użytkowania samochodu firmom, które nie mają doświadczenia z pojazdami elektrycznymi. Może on również dotyczyć pojazdów o napędzie spalinowym. W przypadku elektrycznych pojazdów ciężarowych przykładowy model biznesowy może prezentować się w następujący sposób:

- Firma oferująca usługę EaaS analizując model biznesowy klienta wspiera go w wyborze odpowiedniego rodzaju podwozia, nadwozia (zabudowy), przystawek odbioru mocy oraz pakietu baterii. W tym celu używa się specjalnego oprogramowania umożliwiającego symulację trasy pojazdu i wynikającego z niej zużycia energii. Na tym etapie istnieje również możliwość analizy całkowitego kosztu użytkowania pojazdu;
- Dopasowywany jest model rozliczania się zależny od profilu działalności klienta np. dużej sezonowości zleceń i przestojów w pracy. Opłata może być naliczana za przejechany kilometr, zużytą kWh lub co miesiąc z uśrednioną wartością;
- Wraz z pojazdem dostarczana jest ładowarka. W przypadku bardziej rozbudowanej floty jest przeprowadzana analiza możliwości przyłączeniowych w siedzibie klienta w celu zbudowania infrastruktury umożliwiającej ładowanie większej ilości pojazdów. Dostawca usługi udziela pomocy przy realizacji procedury przyłączeniowej oraz budowie infrastruktury;
- Przez cały okres użytkowania pojazdu dostawca usługi zarządza baterią pojazdu, ogumieniem, ubezpieczeniem, a także serwisem. W przypadku awarii pojazdu jest zapewniany pojazd zastępczy. Zarządzanie flotą odbywa się za pomocą systemu teleinformatycznego, dzięki któremu na bieżąco jest odczytywany aktualny stan techniczny pojazdu. W przyszłości dzięki analizie danych można zmienić sposób konserwacji pojazdu, aby uniknąć możliwości powstania defektów.

Elektryczne pojazdy ciężarowe są znacznie droższe od tych o klasycznym układzie napędowym. Popularne formy finansowania mogą być niewystarczające do zachęcenie nabywców do przejścia na pojazdy zeroemisyjne. W związku z tym pojawiają się coraz bardziej rozbudowane oferty świadczenia usług oraz systemy wsparcia, które mogą znacznie odciążyć przedsiębiorcę użytkującego elektryczny samochód ciężarowy.

- Ze względu na wprowadzane ograniczenia emisyjne we flotach samochodowych, dostawca usługi może brać udział w zarządzaniu dekarbonizacją floty zgodnie z krajowymi oraz unijnymi wytycznymi;
Po zakończonym okresie użytkowania pojazdu, dostawca usługi zapewnia nowy pojazd.
- Używany samochód ciężarowy może trafić do floty pojazdów wynajmowanych krótkoterminowo np. z opłatą za przejechany kilometr lub zużytą kWh, albo zostać sprzedany.

Opisany model ma znaczący wpływ na określenie jakości produktu. EaaS zacieśnia współpracę pomiędzy usługodawcą a użytkownikiem. Do tej pory producent w głównej mierze koncentrował się na danych wyjściowych, w przypadku których gromadzone dane nie dostarczały informacji jak można zoptymalizować konstrukcję, aby jeszcze lepiej dopasować ją do profilu działalności użytkownika. W wyniku tego można w znaczny sposób polepszyć wydajność pojazdu [i54][75].

3.3.3 Finansowe mechanizmy wsparcia

Analizując TCO (ang. Total Cost of Ownership), a więc całkowity koszt posiadania pojazdu, można oszacować wszystkie wydatki związane z zakupem oraz utrzymaniem pojazdu ciężarowego i w ten sposób dokonać właściwego wyboru pojazdu optymalnego dla działalności firmy. Wyróżnia się dwa rodzaje analizy TCO. W ujęciu retrospektywnym uwzględnia się dane historyczne na bazie których można oszacować przyszłe koszty związane z użytkowaniem tego samego rodzaju pojazdu, który znajduje się we flocie. W analizie prognostycznej przewiduje się koszty analizując wiele składowych, które mogą ulec zmianie w okresie użytkowania. Z racji ograniczonych informacji historycznych na temat elektrycznych pojazdów ciężarowych analizę przeprowadza się prognozując przyszłe koszty użytkowania. TCO składa się z następujących składowych: kosztu nabycia pojazdu, wartości rezydualnej, dotacji do zakupu, zużycia energii w okresie użytkowania pojazdu, ilości przejechanych kilometrów, kosztu utrzymania oraz serwisowania pojazdu, rocznego podatku od pojazdu ciężarowego, opłat drogowych, kosztów związanych z infrastrukturą ładowania, stopy dyskontowej. Na całkowity koszt użytkowania ma również wpływ sposób eksploatacji, masa oraz rodzaj przewożonego towaru, miejsce, w którym pojazd jest użytkowany, topologia terenu, a także stan infrastruktury. Istotną kwestią przy elektryfikacji floty pojazdów ciężarowych są sprzyjające regulacje prawne zachęcające do dokonania inwestycji. W Polsce aktualnie brakuje odpowiednich systemów wsparcia.

Bazując na już funkcjonujących zagranicznych regulacjach, PSPA (Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych) przedstawiło propozycje zmian legislacyjnych, które mają na celu spopularyzować rozwój zeroemisyjnego transportu ciężkiego. Kilka z nich bezpośrednio wpływa na TCO. W pierwszej kolejności należałoby przedstawić program dofinansowania do zakupu pojazdu ciężarowego. Wysokie ceny wynikające między innymi z ograniczonej podaży są pierwszą barierą z jaką spotyka się nabywca. Dofinansowanie mogłoby pochodzić ze środków UE lub środków publicznych na wzór innych europejskich krajów. Program wsparcia mógłby funkcjonować na zasadzie programu „Mój elektryk”, który obejmuje państwowymi dopłatami samochody osobowe oraz dostawcze o zeroemisyjnym napędzie, rozszerzonego o ciężarowe pojazdy elektryczne. Kolejnym elementem wsparcia mogłoby być zniesienie opłat drogowych. W perspektywie zwiększenia ilości pojazdów elektrycznych we flotach na drogach publicznych, po 2025 roku opłaty mogłyby zostać ograniczone do danego

procentu wysokości opłat stosowanych względem pojazdów emisyjnych. Zniesienie lub ograniczenie opłat drogowych wymaga ingerencji w Ustawie o autostradach płatnych oraz o Krajowym Funduszu Drogowym i w Ustawie o drogach publicznych, a także w aktach wykonawczych wydanych na podstawie wyżej wymienionych ustaw. Następną formą wsparcia mógłby być system dopłat oparty na poziomie obniżania emisji CO₂. W ramach rewizji Dyrektywy 2003/87/EC o handlu emisjami zgodnie z pakietem „Gotowi na 55”, transport drogowy będzie objęty systemem handlu uprawnieniami emisyjnymi, obciążającymi użytkowników pojazdów emitujących CO₂, przyczyniając się do zmniejszenia opłat dla ciężarowych pojazdów zeroemisyjnych [1]. Kolejną formą wsparcia mogłaby być ulga podatkowa dla przedsiębiorców rozwijających ekologiczne formy transportu. Władze samorządowe mogłyby wesprzeć użytkowników ciężarowych pojazdów elektrycznych zwolnieniem od podatku od środków transportowych, rozszerzając ulgi o pojazdy w każdej klasie tonażowej. Istotną kwestią jest również wsparcie infrastruktury ładowania pojazdów ciężarowych. Mogłoby ono bazować na kilku aktualnie funkcjonujących programach realizowanych między innymi przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w formie dotacji w wysokości do 60% kosztów kwalifikowanych [11][28][i48][i51].

3.4 Przykłady wykorzystania elektrycznych pojazdów ciężarowych w wybranym segmencie logistyki

Do obliczeń przytoczonych w pracy związanych z zasięgiem pojazdu, zostało użyte oprogramowanie uwzględniające dane techniczne pojazdu, masę przewożonego towaru oraz zmienne warunki trasy, takie jak m.in.: zmiana topografii terenu, zmiana kierunku i prędkości jazdy, odległość pomiędzy punktami pośrednimi na trasie, czas pracy oraz odpoczynku, a także zużycie energii wyposażenia dodatkowego oraz osprzętu. Pojazd w założeniu jest modelem matematycznym o danych parametrach, na podstawie którego jest obliczane zużycie energii elektrycznej.

Obliczenia związane z procesem ładowania uwzględniają następujące dane: moc wyjściową ładowarki, pojemność oraz rodzaj akumulatorów, SoC akumulatorów podczas rozpoczęcia procesu ładowania, a także na jego końcu, SoH przy założeniu, iż w nowym pojeździe wskaźnik ten przyjmuje wartość maksymalną [75].

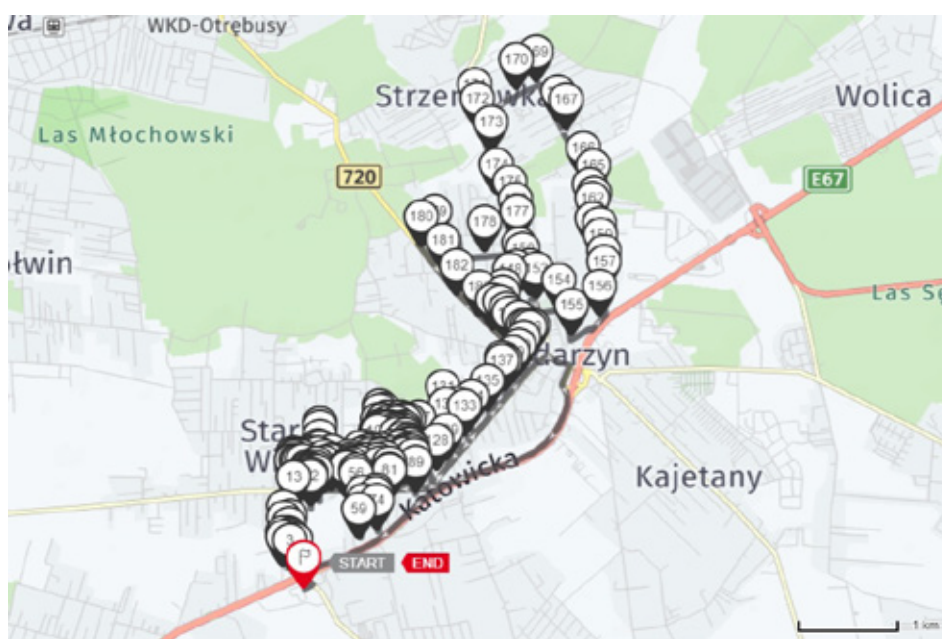
3.3.3 Transport bliski na przykładzie wywozu odpadów komunalnych

Śmieciarka przystosowana jest do zbiórki odpadów komunalnych wywożonych do utylizacji lub miejsca składowania. Najczęściej do budowy śmieciarki jest wykorzystywane podwozie pojazdu ciężarowego. Najbardziej rozpowszechnionym rodzajem omawianego pojazdu w Polsce jest typ z urządzeniem załadunkowym umieszczonym z tyłu pojazdu, umożliwiającym wsypywanie odpadów do skrzyni ładunkowej z dosto-

sowanych do urządzenia pojemników. Wewnątrz zabudowy znajduje się zgniatarka, dzięki której przy tej samej pojemności pojazdu można pomieścić więcej odpadów. Warunki pracy śmieciarki, krótkie trasy oraz w przypadku dwuzmianowego trybu pracy nocny postój w czasie pauzy, sprzyjają zastosowaniu napędu elektrycznego. Dodatkowo cicha praca napędu podnosi komfort użytkowania zarówno dla pasażerów jak i mieszkańców obsługiwanych terenów mieszkalnych [16][26]. W celu przeprowadzenia symulacji trasy została wykorzystana śmieciarka o następujących parametrach:

- Dopuszczalna masa całkowita pojazdu: 27000 kg
- Dopuszczalna ładowność: 8496 kg
- Rodzaje przeniesienia napędu: 6x2
- Silniki: 2 silniki synchroniczne prądu zmiennego z magnesami trwałymi
- Maksymalny moment obrotowy: 850 Nm
- Moc: ciągła 260 kW
- Akumulatory: 4 pakiety ogniwo w łącznej pojemności 376 kWh typu NCA
- Zabudowa: dwukomorowa o pojemności 11,5 + 11,5 m³

Trasa pojazdu składa się ze 189 punktów (rys. 3.4), wliczając bazę w której zaczyna się oraz kończy trasa. Każdy ze 187 punktów pośrednich oznacza 120l pojemniki na śmieci zawierające pomiędzy 40 a 45 kg śmieci zmieszanych. Trasa została ułożona w sposób zróżnicowany uwzględniając większe oraz mniejsze zagęszczenie punktów pośrednich, a także fragment trasy szybkiego ruchu z ustawionym ogranicznikiem prędkości na 70 km/h. Wyniki symulacji znajdują się w Tabeli 3.1. Pobór energii przez osprzęt w przeliczeniu na jedno użycie został ustalony na poziomie 0,04 kWh w trakcie cyklu podnoszenia pojemnika, 0,08 kWh w trakcie kompresji śmieci, oraz 1,2 kWh podczas rozładowywania zgromadzonych odpadów.



Rys. 3.4 Trasa śmieciarki wraz z zaznaczonymi punktami odbioru śmieciarki [75]

Ze względu na cykl pracy śmieciarki, cała trasa została pokonana bez uzupełniania energii za pomocą ładowarki. Symulacja została przeprowadzona uwzględniając trzy różne temperatury otoczenia.

Tab. 3.1 Wyniki symulacji trasy pracy śmieciarki [75]

	10°C	-10°C	20°C
Zużycie energii	Standardowe	Min	Max
Całkowite zużycie energii, kWh	70	83	65
Średnie zużycie energii, kWh/km	1,90	2,26	1,79
Pozostała energia (SOC), %	77	73	78
Energia odzyskana, kWh	38	39	38
Odległość do rozładowania akumulatorów, km	121,7	96,6	131,8
Czas ładowania	0h	0h	0h
Energia pozyskana w wyniku ładowania, kWh	0	0	0
Dystans trasy, km	36,6	36,6	36,6
Całkowity czas trwania trasy	5h16m	5h16m	5h16m
Czas jazdy	2h21m	2h21m	2h21m
Czas obsługi i odpoczynku	3h12m	3h12m	3h12m
Maksymalna masa przewożonego ładunku, kg	8255	8255	8255
Średnia prędkość, km/h	16	16	16
Prędkość maksymalna, km/h	70	70	70

3.4.2 Transport bliski na przykładzie dystrybucji żywności

Transport towarów w obszarze zurbanizowanym wiąże się z wieloma ograniczeniami takimi jak na przykład: ograniczeniami związanymi z kierunkiem jazdy, zakazami wjazdu, intensywnym ruchem a także ograniczonymi możliwościami manewrowania szczególnie w przypadku załadunku i rozładunku. Z tego względu w transporcie miejskim korzysta się z mniejszych samochodów ciężarowych równie często z wykorzystaniem przyczep oraz naczep, gdzie całkowita długość pojazdu wynosi mniej jak 10 metrów. Zwrotność pojazdu poprawia również zastosowanie skrętnej osi. Miejskie centra dystrybucyjne ze względu na zmieniające się przepisy mające na celu ograniczenie ruchu miejskiego oraz rozwój wysoko wydajnych łańcuchów dostaw, zostały relokowane na tereny podmiejskie zlokalizowane wzdłuż tras szybkiego ruchu. Przesunięcie centrów dystrybucyjnych skłania przedsiębiorstwa do konsolidacji ładunków w większych jednostkach ładunkowych w celu zmniejszenia ilości wyjazdów pojazdów ciężarowych [159]. Przewóz żywności wiąże się ze spełnieniem restrykcyjnych norm w tym posiadania międzynarodowej umowy dotyczącej przewozu towarów oraz artykułów spożywczych szybko psujących się. Umowa ta zawiera również wykaz odpowiednich temperatur, które obowiązują w transporcie żywności schłodzonej i mrożonej. Pojazdy ciężarowe służące do transportu żywności można podzielić na dwa podstawowe rodzaje: chłodnicze, utrzymujące temperaturę poniżej 7°C, grzewcze, podwyższające oraz utrzymujące temperaturę wewnątrz przez co najmniej 12 godzin, bez włączania ogrzewania. W niniejszej pracy analizie zostanie poddany ciężarowy pojazd chłodniczy wyposażony w ruchomy podest załadowniczy. Pojazdy chłodnicze można podzielić na trzy podstawowe rodzaje:

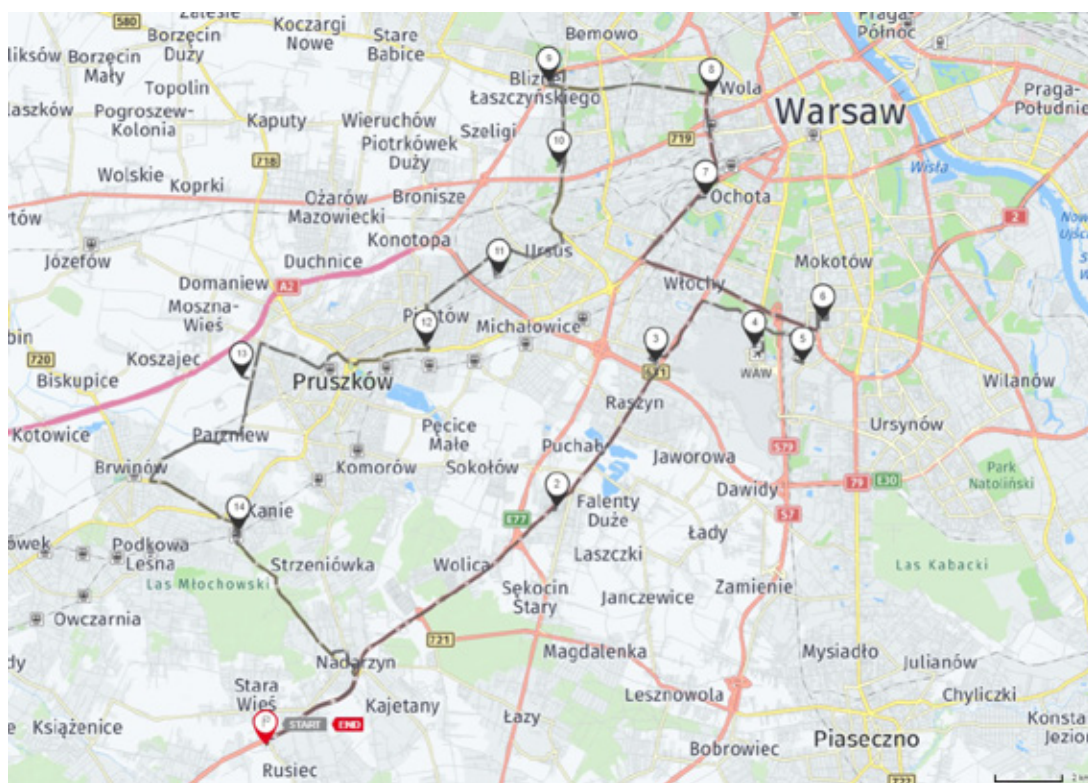
- **izotermiczne** – nie posiadają własnego systemu chłodzenia, ale dzięki izolacji wewnątrz zabudowy towarowej ograniczają wymianę ciepła między wnętrzem a środowiskiem zewnętrznym;
- **chłodnicze** – posiadają system chłodzenia mechanicznego oraz wewnętrzną izolację, umożliwiającą utrzymywanie bardzo niskiej temperatury, nawet do -20°C;
- **lodownie** – posiadają wewnętrzną izolację, a także system chłodzenia inny niż agregat sprężarkowy, który umożliwia obniżenie temperatury dzięki użyciu lodu naturalnego, suchego lub płyt eutektycznych [22].

Do analizy wykorzystano pojazd ciężarowy z zabudową chłodniczą o następujących parametrach:

- Dopuszczalna masa całkowita pojazdu: 19000 kg
- Dopuszczalna ładowność: 7530 kg
- Rodzaje przeniesienia napędu: 4x2
- Silniki: 2 silniki synchroniczne prądu zmiennego z magnesami trwałymi
- Maksymalny moment obrotowy: 850 Nm
- Moc: ciągła 260 kW

- Akumulatory: 4 pakiety ogniw o łącznej pojemności 264 kWh typu NMC
- Zabudowa: chłodnicza typu furgon wyposażona w agregat chłodniczy oraz podest załadowniczy

Trasa pojazdu składa się z 13 punktów pośrednich, w których jest rozładowywany towar w postaci żywności (rys. 3.5). Masa załadowanego w początkowym punkcie trasy towaru wynosi 7500 kg. W każdym punkcie pośrednim część towaru zostaje rozładowana i pojazd wraca pusty do bazy. Ciągłe zużycie energii zabudowy pojazdu zostało ustalone na 3,66 kW. Każde otwarcie przedziału towarowego oraz użycie ruchomego podestu generowało zużycie energii kolejno na poziomie 0,04 kWh oraz 0,03 kWh. Prędkość maksymalna została ustalona na poziomie 80 km/h. Trasa pojazdu składa się z dróg miejskich i szybkiego ruchu. Na rozładunek towaru w każdym punkcie pośrednim przewidziano 12 minut, a załadunek w miejscu docelowym zajmuje 30 minut. Wyniki symulacji zostały zaprezentowane w Tabeli 3.2.



Rys. 3.5 Trasa pojazdu ciężarowego typu chłodnia wraz z zaznaczonymi punktami pośrednimi [75]

Tab. 3.2 Wyniki symulacji trasy pracy ciężarowego pojazdu chłodniczego

	10°C	-10°C	20°C
Zużycie energii	Standardowe	Min	Max
Całkowite zużycie energii, kWh	96	111	91
Średnie zużycie energii, kWh/km	1,16	1,34	1,10
Pozostała energia (SOC), %	55	48	57
Energia odzyskana, kWh	28	28	28
Odległość do rozładowania akumulatorów, km	99,7	75,2	109,3
Czas ładowania	0h	0h	0h
Energia pozyskana w wyniku ładowania, kWh	0	0	0
Dystans trasy, km	82,7	82,7	82,7
Całkowity czas trwania trasy	5h25m	5h25m	5h25m
Czas jazdy	2h21m	2h21m	2h21m
Czas obsługi i odpoczynku	3h6m	3h6m	3h6m
Maksymalna masa przewożonego ładunku, kg	7500	7500	7500
Średnia prędkość, km/h	35	35	35
Prędkość maksymalna, km/h	80	80	80

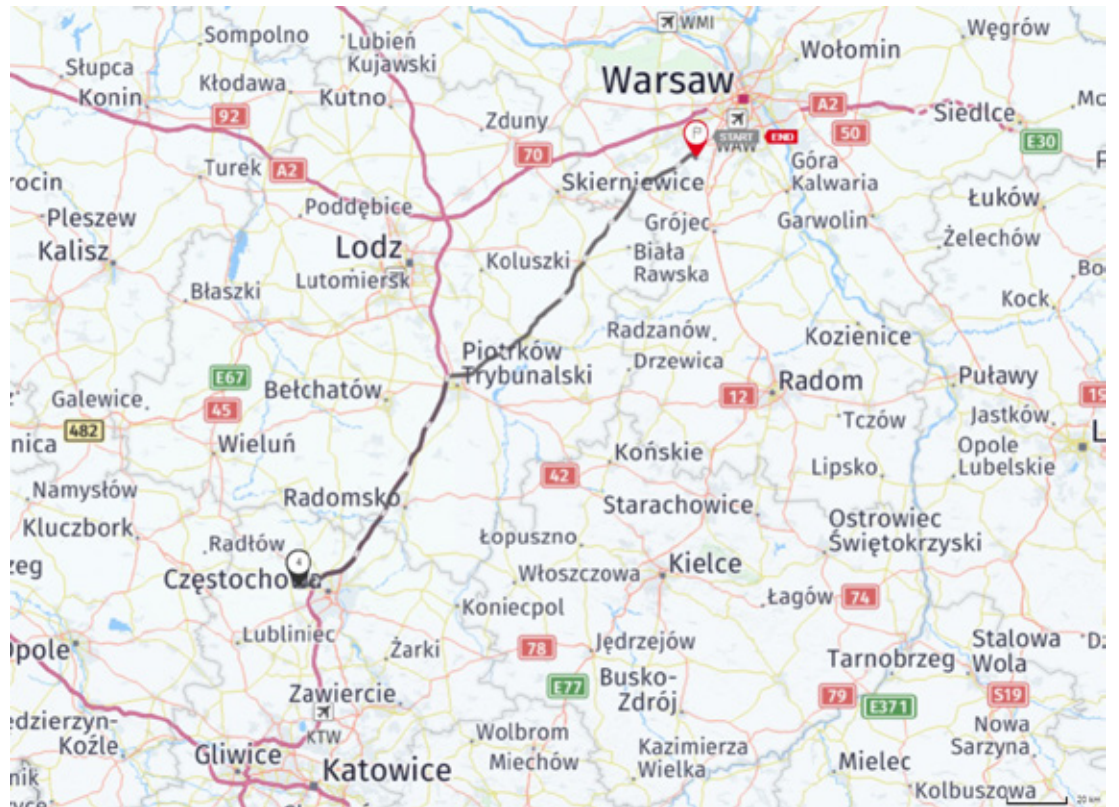
3.4.3 Transport średni na przykładzie ciągnika siodłowego oraz naczepy poruszających się pomiędzy hubami

Transport średni oraz daleki jest największym wyzwaniem dla elektromobilności. Problemem jest zasięg pojazdu przy ograniczonej masie własnej. Z tego względu w niniejszym przykładzie analizie zostanie poddana trasa o łącznej długości około 400 km. W skład zestawu pojazdów wchodzi ciągnik siodłowy oraz naczepa. Z uwagi na rodzaj nadwozia wyróżnia się kilka podstawowych rodzajów naczep takich jak: furgonowe z zamkniętą skrzynią ładunkową, kurtynowe i skrzyniowe, platformowe, zbiornikowe, do przewozu kontenerów, samowyładownicze oraz specjalizowane [i38]. Dane pojazdu prezentują się następująco:

- Dopuszczalna masa całkowita pojazdu: 44000 kg
- Dopuszczalna ładowność: 26000 kg
- Rodzaje przeniesienia napędu: 4x2
- Silniki: 3 silniki synchroniczne
- Maksymalny moment obrotowy: 2400 Nm
- Moc: ciągła 490 kW
- Akumulatory: 6 pakietów ogniw o łącznej pojemności 540 kWh typu NCA
- Naczepa: naczepa kurtynowa o objętości załadunkowej 91 m³ oraz masie 7200 kg

Omawiany rodzaj naczepy charakteryzuje się kurtynami umieszczonymi po bokach pojazdu zsuwanymi na czas załadunku lub rozładunku.

Ze względu na rodzaj pracy ciągnika siodłowego układ napędowy może pracować w trzech trybach ekonomicznym, standardowym oraz pełnej mocy. Pośredni tryb jest najbardziej optymalny do pokonywania długich tras z niewielkimi wzniesieniami, natomiast ekonomiczny sprawdzi się przy jeździe bez ładunku. Naczepa w punkcie początkowym została załadowana ładunkiem paczek o masie 22000 kg. Następnie zestaw pojazdów pokonał trasę o długości 202,5 km składającą się w większości z trasy szybkiego ruchu (rys. 3.6). Prędkość pojazdu została ograniczona do 80 km/h. Uzupelnianie energii elektrycznej odbywa się w punkcie docelowym podczas załadunku i rozładunku towaru, trwających 30 minut, a także podczas wymaganej 45 minutowej przerwy. Do procesu ładowania została użyta ładowarka DC o mocy 150 kW. Większość oferowanych obecnie elektrycznych pojazdów ciężarowych może obsłużyć ładowarki o mocy do 250 kW, a moc ta stopniowo jest powiększana. W drodze powrotnej naczepa została załadowana ładunkiem o masie 21000kg. Wyniki symulacji zostały zaprezentowane w Tabeli 3.3.



Rys. 3.6 Trasa ciągnika siodłowego i naczepy wraz z zaznaczonymi punktami załadunku i rozładunku [75]

Tab. 3.6 Wyniki symulacji trasy pracy ciągnika siodłowego z naczepą [75]

	10°C	-10°C	20°C
Zużycie energii	Standardowe	Min	Max
Całkowite zużycie energii, kWh	447	465	448
Średnie zużycie energii, kWh/km	1,10	1,15	1,11
Pozostała energia (SOC), %	33	27	33
Energia odzyskana, kWh	9	9	9
Odległość do rozładowania akumulatorów, km	114,4	90,4	113,1
Czas ładowania	1h30m	1h30m	1h30m
Energia pozyskana w wyniku ładowania, kWh	195	190	195
Dystans trasy, km	405,3	405,3	405,3
Całkowity czas trwania trasy	8h5m	8h5m	8h5m
Czas jazdy	5h21m	5h21m	5h21m
Czas obsługi i odpoczynku	2h45m	2h45m	2h45m
Maksymalna masa przewożonego ładunku, kg	22000	22000	22000
Średnia prędkość, km/h	76	76	76
Prędkość maksymalna, km/h	80	80	80

3.4.4 Wnioski z przeprowadzonych symulacji zasięgów elektrycznych pojazdów ciężarowych

Analizując powyższe wyniki z przeprowadzonych symulacji można wywnioskować, iż ciężarowe pojazdy elektryczne są w stanie realizować trasy, które do tej pory były realizowane przez pojazdy ciężarowe o napędzie konwencjonalnym. Warunkiem na wywiązanie się z postawionych zadań jest odpowiednia optymalizacja trasy. W obecnej sytuacji przy braku publicznych ładowarek dedykowanych dla pojazdów ciężarowych, należy uwzględnić możliwość ładowania pojazdu ciężarowego dzięki prywatnym

inwestycjom, poczynionym w bazach eksploatacyjnych firm oraz hubach przeładunkowych. Uzupelnianie energii w tych miejscach może przyczynić się do znacznego obniżenia kosztu jednej kilowatogodziny za sprawą korzystnych taryf energetycznych wynegocjowanych przez firmy. W związku z tym należy usprawnić kwestie administracyjne związane z uzyskiwaniem pozwoleń na budowę prywatnych stacji ładowania, a także uprościć procedurę przyłączeniową odbiorców do sieci elektroenergetycznej. Ważną kwestią w osiągnięciu jak największego zasięgu pojazdu jest także technika jazdy, a więc odpowiednio wyszkolona kadra kierowców. Z powyższych analiz wynika jak istotny jest wpływ temperatury otoczenia na zużycie energii. Zimowe warunki są szczególnie odczuwalne podczas ciągłej pracy osprzętu np. pojazdu chłodniczego. W przypadku ciągnika siodłowego różnica jest mniejsza i jest spowodowana brakiem elektrycznego osprzętu zużywającego dodatkową energię, brakiem częstych postojów oraz długotrwałą jazdą z optymalną prędkością dostosowaną do topografii terenu.

W tym przypadku dużą rolę odgrywa automatyczna skrzynia biegów, która stale dostosowuje prędkość pojazdu do zmiennych warunków jazdy. Wynika z tego, iż istotnym jest dokonanie optymalizacji tras ze względu na temperaturę otoczenia. W miesiącach zimowych pojazdy mogą nie być w stanie zrealizować wszystkich stale wykonywanych tras, które realizowały w miesiącach o temperaturze otoczenia przekraczającej 0°C. Zasięgi omawianych pojazdów elektrycznych można zwiększyć poprzez montaż akumulatorów trakcyjnych o większej pojemności, co przekłada się również na wzrost ceny i masy pojazdu. Sytuację mogą zmienić bardziej wydajne baterie nowej generacji np. o stałym elektrolicie, nad którymi obecnie trwają prace badawcze. Zwiększenie zasięgu pojazdu dystrybucyjnego może sprawić, iż będzie on w stanie pokonywać trasy międzymiastowe co zwiększy jego uniwersalność. Istotną kwestią w ograniczeniu TCO jest możliwość użytkowania elektrycznych pojazdów ciężarowych w systemie dwu lub trzy zmianowym, aby ograniczyć do minimum ilość przestojów w pracy. Przy odpowiednio zaplanowanych trasach zgodnie z powyższymi przykładami jest to możliwe do osiągnięcia. Będzie to jednak wymagać zmiany podejścia firm użytkujących tego typu pojazdy oraz wykorzystania zaawansowanych systemów teleinformatycznych (IoT). Wysokie zużycie energii śmieciarki wynika z krótkiej trasy. W optymalnych warunkach i przy dłuższej odległości pokonywanej w trakcie cyklu pracy zużycie może obniżyć się nawet o kilkadziesiąt kilowatów na 100 km.

4 Podsumowanie

Przedstawione w pracy zagadnienia opisują w skrócie aktualną sytuację panującą na rynku elektrycznych pojazdów ciężarowych. Z racji początkowego etapu rozwoju elektromobilności istnieje wiele scenariuszy rozwoju tego rynku, które są stymulowane unijnym oraz krajowym prawem.

4.1 Prognozowany rozwój rynku ciężkich pojazdów ciężarowych

Aktualnie cały przemysł motoryzacyjny skupia się na rozwoju elektrycznych pojazdów z akumulatorami trakcyjnymi, jednakże w tym samym czasie jest również rozwijany napęd wodorowy, szczególnie w przypadku pojazdów ciężarowych. Inne formy źródła energii są aktualnie kompromisem pomiędzy zmniejszoną emisją zanieczyszczeń, a kosztami produkcji i będą stopniowo wycofywane w miarę rozwoju zeroemisyjnych źródeł energii.

3.3.1 Planowany rozwój napędu wodorowego

Wodór jako najczęściej występujący pierwiastek we Wszechświecie może odegrać istotną rolę w dekarbonizacji drogowego transportu ciężkiego. Nie występuje naturalnie w czystej postaci, przez co pozyskuje się go za sprawą różnych technologii oznaczając wybranymi kolorami:

- **zielony** – wodór wytwarzany w procesie elektrolizy, wykorzystując jedynie energię elektryczną pochodzącą ze źródeł odnawialnych;
- **różowy lub też fioletowy, purpurowy, czerwony** – wodór wytwarzany w procesie elektrolizy, wykorzystując energię jądrową;
- **turkusowy** – wodór wytwarzany w procesie pirolizy, gdzie głównymi produktami pirolizy metanu jest wodór i węgiel w postaci stałej;
- **czarny oraz brązowy** – czarny wodór wytwarzany z syntetycznego gazu metodami eksploatującymi węgiel kamienny, natomiast brązowy powstaje dzięki metodom produkcji opartym na węglu brunatnym;
- **niebieski** – wodór wytwarzany z udziałem paliw kopalnych, w celu obniżenia poziomu zanieczyszczeń podczas procesu produkcji korzysta się z metody wychwytu CO₂;
- **szary** – wodór wytwarzany metodą reformingu parowego węglowodorów, odznaczający się wysoką emisyjnością CO₂.

Z racji ambitnego dążenia do dekarbonizacji transportu najbardziej pożądanym jest kolor zielony, który charakteryzuje się wysokim kosztem wytworzenia za sprawą dużej ilości energii elektrycznej zużywanej w procesie elektrolizy oraz drogimi urządzeniami przeznaczonymi do jego produkcji [i60].

Wodór może być zastosowany zarówno w wodorowym silniku spalinowym (ang. Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicle, HICEV) jak i ogniwach paliwowych (ang. Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV). Wodorowe silniki spalinowe mają bardzo podobną budowę do silników o zapłonie iskrowym. Podczas spalania wodoru do atmosfery trafiają śladowe ilości CO₂ oraz NO_x. Pojazdy typu FCEV wyposażone są w ogniwa paliwowe, w których wodór oddaje elektrony, które reagują z tlenem,

wytwarzając w tym czasie prąd elektryczny oraz parę wodną. Pojazdy z ogniwami paliwowymi są również wyposażony w baterie, które mają zapewnić zależnie od potrzeby dodatkową moc i gromadzą energię odzyskaną z hamowania. Zaletą tego rodzaju napędu jest uzyskiwany zasięg niezależny od temperatury otoczenia oraz krótki czas tankowania wodoru. Dużym wyzwaniem jest przechowywanie wodoru, który porównując z gazem CNG wymaga trzy razy większego zbiornika do otrzymania takiej samej ilości energii. Producenci pojazdów ciężarowych wraz z rozwojem elektromobilności inwestują również w rozwój transportu wodorowego. Pojazdy ciężarowe FCEV są alternatywą dla technologii bateryjnych pojazdów ciężarowych w przypadku dalekiego transportu ciężarowego, gdzie zasięg oraz szybkość uzupełniania paliwa jest najważniejszą kwestią. Zarówno w UE jak i w szczególności w Polsce problemem jest brak infrastruktury w postaci produkcji, transportu oraz dystrybucji wodoru [i36][i64]. W związku z tym przez polski rząd został przedstawiony plan rozwoju Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040. Wśród głównych celów przedstawionego dokumentu znajduje się cel dotyczący wykorzystania wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie. Wskaźniki osiągnięcia zakładanych celów przyjętej strategii do 2030 roku obejmują moc zainstalowanej instalacji produkującej niskoemisyjny wodór na poziomie 50 MW do 2025 roku oraz 2 GW do 2030 roku, minimum 32 stacje wodorowe do 2025 roku, a także utworzenie całego ekosystemu dolin wodorowych oraz stworzenie centrum technologii wodorowych [i50]. Nowe regulacje dotyczące infrastruktury wodorowej pojawiły się również w rozporządzeniu AFIR, które mówią o tym, iż do końca roku 2030 wzdłuż sieci bazowej TEN-T co 200 km oraz we wszystkich węzłach miejskich muszą zostać utworzone stacje tankowania wodoru przeznaczone dla pojazdów osobowych oraz ciężarowych [a71]. Rozwój napędu wodorowego przebiega w znacznie wolniejszy sposób niż napędu elektrycznego, ze względu na jego ograniczenia, ale również bardzo zaawansowane inwestycje poczynione na rzecz pojazdów elektrycznych, które wzięły na swoją odpowiedzialność koncerny motoryzacyjne. W tak szybkim tempie rozwoju, ciężarowe pojazdy elektryczne mogą stać się bardziej konkurencyjne pod względem zasięgów, czasu uzupełniania energii, a także rozbudowanej infrastruktury ładowania, przez co rozwój wodorowych samochodów ciężarowych może zostać spowolniony [21][i52].

4.1.2 Planowany rozwój alternatywnych źródeł energii ograniczających emisję zanieczyszczeń

Rozwój zeroemisyjnych napędów nie wyeliminuje całkowicie silników o napędzie spalinowym. W okresie przejściowym będą one stałym uczestnikiem ruchu samochodowego. Rozwiązaniem, nad którym prace trwają od wielu lat, są biopaliwa stosowane obecnie w motoryzacji. W skład tego rodzaju źródła energii wchodzi biopaliwa ciekłe oraz odnawialne paliwa pochodzenia niebiologicznego ciekłe i gazowe. Biopaliwa w istotny sposób uzupełniają miks paliwowy i mogą przyczynić się do znacznego obniżenia poziomu emisji CO₂ w regionach, w których trudno będzie

wprowadzić paliwa zeroemisyjne. Biopaliwa zaliczane są do źródeł niskoemisyjnych. Spalanie biopaliw generuje CO₂ odkładany w roślinach zwykle kilka miesięcy wcześniej przez co jest to o 70–90 % bardziej korzystne dla środowiska, gdyż nie ma wpływu na długoterminowy bilans emisji dwutlenku węgla. Rośliny zamieniają CO₂ powstający na skutek spalania biopaliw w procesie fotosyntezy na tlen. Spalanie węglowodorów zgromadzonych w Ziemi przez miliony lat zakłóca globalny bilans dwutlenku węgla. W UE dostawcy paliwa są zobowiązani do dodawania biopaliw i paliw odnawialnych w sprzedawanych paliwach. Najbardziej popularne mieszanki benzynowe w UE są oznaczone skrótami E5 i E10, gdzie pierwsza z nich jest normatywną benzyną silnikową zawierającą do 5 % bioetanolu, a druga do 10% bioetanolu. HVO100 (B100) jest natomiast czystym biodieslem bez dodatku paliw kopalnych. Obecnie rozwijane są biopaliwa najnowszych generacji takie jak na przykład HVO (ang. Hydrotreated Vegetable Oil), które jest produkowane z odpadów w formie tłuszczów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego. Zastępują one biopaliwa wytwarzane z surowców jadalnych, które mogłyby być przeznaczone do produkcji żywności lub karmienia zwierząt.

Na skutek syntezy chemicznej powstają płynne paliwa syntetyczne. Do ich produkcji używa się węglowodorów, biomasy, gazu ziemnego i węgla. Produkcja benzyny syntetycznej z węgla nie wpływa na obniżenie emisji dwutlenku węgla w przeciwieństwie do wykorzystywania w tym celu biomasy. Z racji wysokiego kosztu produkcji paliw syntetycznych, obecnie paliwa te nie są rozpowszechniane.

Gaz ziemny uważany jest za bardziej przyjazny dla otaczającego środowiska naturalnego w porównaniu do paliw ropopochodnych. Za niskoemisyjne uważa się CNG (ang. Compressed Natural Gas) oraz LNG (ang. Liquefied Natural Gas). Sprężony gaz ziemny składa się z metanu w 70-90%. Najczęściej są nim zasilane samochody osobowe, miejskie autobusy i lekkie pojazdy ciężarowe. Skroplony gaz ziemny składa się prawie całkowicie z metanu. Dzięki zamianie z gazu w ciecz pod wpływem obniżania temperatury, objętość ulega zmniejszeniu 630 razy. Jest to źródło energii często wykorzystywane w transporcie drogowym, szczególnie w przypadku dalekich tras, głównie dzięki możliwości uzyskiwania zasięgów nawet do 1600 km.

Emisja dwutlenku węgla w przypadku użycia LNG zmniejsza się o około 20% względem samochodów spalających olej napędowy, obniżeniu ulega również emisja tlenków azotu i siarki. Redukcji ulega także poziom hałasu generowany przez silniki pojazdów ciężarowych. Za sprawą popularyzacji stosowania LNG w postaci np. zwolnień z opłat drogowych obowiązujących w Niemczech, powstało kilkaset stacji tankowania znajdujących się wzdłuż sieci bazowej TEN-T.

Biometan jest obecnie jedną z najbardziej ekologicznych alternatyw dla prądu i wodoru przyczyniając się do obniżenia śladu węglowego przedsiębiorstw. Powstaje on z biogazu, który powstaje w procesie fermentacji metanowej biomasy. BioLNG powstaje dzięki skropleniu biometanu i w tej postaci może zostać wykorzystany do

zasilania pojazdów ciężarowych. Zgodnie z danymi opublikowanymi w raporcie Zielony Transport, Stan obecny i perspektywy, w Polsce wytwarza się rocznie od 130 do 150 mln ton odpadów z których można wyprodukować biometan. W ten sposób odpady z ubojni, obornik czy też gnojownica emitujące do środowiska dwutlenek węgla i metan mogą zostać zagospodarowane i wykorzystane w produkcji gazu [21].

4.2 Wnioski

Elektromobilność w Polsce rozwija się w dużym stopniu dzięki flotom samochodowym, które w celu obniżenia śladu węglowego inwestują w pojazdy zeroemisyjne. Dotyczy to również elektrycznych samochodów ciężarowych o DMC powyżej 3,5 tony. Producenci dysponują już rozbudowaną ofertą pojazdów ciężarowych do wielu zastosowań, natomiast nadal za dużo wyższą cenę niż klasyczne pojazdy ciężarowe. Sytuację mogą zmienić dotacje do zakupu pojazdu i infrastruktury ładowania, a także inne zachęty obniżające całkowity koszt użytkowania pojazdów ciężarowych z alternatywnym źródłem zasilania. Parametr ten może ulec zmianie na korzyść pojazdów elektrycznych na przestrzeni kilku lat. Polska jako lider w ciężkim transporcie drogowym musi przyspieszyć transformację elektroenergetyczną. Potrzebna jest jak najszybsza modernizacja sieci przesyłowej, a także uproszczenie procedur przyłączeniowych. Transformacja transportu drogowego przybrała już formę prawną zgodnie z rozporządzeniami UE. Przepisy te jednak w dalszym ciągu ulegają zmianom i producentom oraz użytkownikom trudno jest odnaleźć się w prawnych aspektach. Przeprowadzone symulacje tras pokazują jak wiele zmiennych wpływa na zasięgi pojazdów, a przez to na realną użyteczność samochodu elektrycznego. Widać również jak ważna jest infrastruktura ładowania, która w dniu publikacji pracy opiera się w głównej mierze na prywatnych ładowarkach, a nie publicznych stacjach ładowania, które w Polsce dopiero są w trakcie realizacji budowy. Materiał zamieszczony w niniejszej pracy może zostać rozbudowany o treść dotyczącą realnych testów pojazdów, których wyniki symulacji zostały zaprezentowane w pracy.

5 Bibliografia

Literatura

- [1] Adamiec D., Bachrynowski S., Branna J. i inni, Pakiet gotowi na 55, „Biuletyn europejski”, nr 3 (45), 2022
- [2] Badyda A. J.: Zagrożenia środowiskowe ze strony transportu, „Nauka”, nr 4, 2010
- [3] Czyż P., Cichowski A.: Przegląd systemów ładowania elektrycznych osobowych pojazdów i koncepcja dwukierunkowej ładowarki pokładowej, „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i automatyki Politechniki Gdańskiej”, nr 57, 2017
- [4] Czyżak P., Wrona A.: Sieci dystrybucyjne i elektromobilność, Planowanie i rozwój, Fundacja Instrat, 2021
- [5] Duer S., Zajkowski K.: Silniki elektryczne stosowane w napędach samochodów, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, nr 10, 2013
- [6] Hennek K.: Perspektywy rozwoju i wykorzystania pojazdów elektrycznych, „Autobusy”, nr 6, 2018
- [7] Kamińska E.: Modele biznesowe gospodarki o obiegu zamkniętym związane z zagospodarowaniem zużytych litowo – jonowych akumulatorów samochodowych, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka”, nr 1, 2022
- [8] Kautsch A.: Organizacja transportu oraz obsługa klientów i kontrahentów. Część 1, WKiŁ, Warszawa, 2018
- [9] Krug A., Knoblinger T., Qvist O.: Truck electrification – profit booster or white elephant?, Arthur D. Little, 2023
- [10] Majewska M., Zagorzyczna K., Wiśniewski J.: Raport Kompendium tworzenia Stref Czystego Transportu, PSPA, Warszawa, 2022
- [11] Marszał K., Stefańczyk A., Śniegocki A. i inni: Wyzwania i szanse elektryfikacji ciężkiego transportu drogowego w Polsce, FPPE, Warszawa, 2023
- [12] Mikołajuk H., Parciński G., Brasse J. i inni, Statystyka elektroenergetyki polskiej 2022, ARE, Warszawa, 2023
- [13] Miniszewski M., Maj M., Wiśniewski J., Ziółkowski P.: Elektryfikacja sektora drogowego transportu ciężkiego, PiK, PSPA, Warszawa, 2023
- [14] Motowidlak U., Witkowski Ł., Wiśniewski J.: Raport Pojazdy elektryczne jako element sieci elektroenergetycznych, PSPA, Warszawa, 2018
- [15] Nowacki M., Mroziński A.: Przykłady procesów recyklingu baterii w Polsce, „Inżynieria i aparatura chemiczna”, nr 5, 2012
- [16] Piernikarski D.: Elektryczne śmieciarki wyjeżdżają na ulice, „Technika”, nr 6, 2020
- [17] Prochowski L., Żuchowski A.: Samochody ciężarowe i autobusy, WKiŁ, Warszawa, 2016
- [18] Puślecki Z.: Sztuczna inteligencja (AI), Internet rzeczy (IoT) i sieć piątej generacji (5g) w nowoczesnych badaniach naukowych, „Człowiek i społeczeństwo”, T.LII, 2021
- [19] Raport Transport i logistyka w Polsce 2023, SpotData, TLP, 2023
- [20] Raport Vehicles in use Europe 2023, ACEA, 2023

- [21] Raport Zielony transport Stan obecny i perspektywy, POPIHN, 2022
- [22] Transport żywności – warunki i wpływ na jakość, HGT.12 Organizacja żywienia i usług gastronomicznych - Technik żywienia i usług gastronomicznych 343404, E-materiały do kształcenia zawodowego, 2022
- [23] Wasik I., Elektroenergetyka w zarysie, Przesył i rozdział energii elektrycznej, PŁ, 2010
- [24] Witkowski Ł., Wiśniewski J.: Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych, Przewodnik infograficzny po wybranych zagadnieniach, PSPA, Warszawa, 2018
Wiśniewski J., Witkowski Ł. Raport Strategia rozwoju Nowej Mobilności w Polsce do 2030 r., PSPA, MM, Warszawa, 2023
- [25] Zagórski R., Rokicki T.: Organizacja transportu w przedsiębiorstwie zajmującym się odbiorem odpadów komunalnych, „PTiL”, nr 3 (39), 2017
- [26] Ziółkowski P., Wiśniewski J., Witkowski Ł.: Raport Elektromobilność w transporcie ciężkim, 2023
- [27] Czas na konkretne działania, PSPA, Warszawa, 2023
Ziółkowski P., Wiśniewski J., Witkowski Ł.: Raport wykonalności eHDV Infrastructure Lab, 2023
- [28] PSPA, Warszawa, 2022
Żurek-Mortka M.: Przegląd technologii ładowania baterii pojazdów elektrycznych. Część 1, 2020
- [29] „elektro.info”, nr 3, 2020

Źródła internetowe [dostęp: 15/12/2023 r.]

- [i30] Witryna internetowa acea.auto:
<https://www.acea.auto/fuel-cv/fuel-types-of-new-trucks-electric-0-6-diesel-96-6-market-share-full-year-2022/>
- [i31] Witryna internetowa carefleet.pl:
<https://carefleet.pl/pl/blog/2022/10/28/leasing-czy-wynajem-dlugoterminowy/>
- [i32] Witryna internetowa chip.pl:
<https://www.chip.pl/2023/07/przyszlosc-akumulatorow-litowo-metalowych-miedzyfaza>
Witryna internetowa consilium.europa.eu:
- [i33] <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/>
Witryna internetowa consilium.europa.eu:
- [i34] <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
Witryna internetowa consilium.europa.eu:
- [i35] <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/climate-change/paris-agreement/>
Witryna internetowa cummins.com:
- [i36] <https://www.cummins.com/pl/news/2022/01/27/hydrogen-internal-combustion-engines-and-hydrogen-fuel-cells>
- [i37] Witryna internetowa delphiautoparts.com:
<https://www.delphiautoparts.com/pl/produkty-i-technologie/elektronika-pojazdu-i-zarz%C4%85dzanie-silnikiem/energoelektronika/zintegrowany-konwerter-dc-dc-i-falownik>

- [i38] Witryna internetowa dsv.com:
<https://www.dsv.com/pl-pl/nasze-rozwiazania/rodzaje-transportu/transport-drogowy/wy-miary-naczep>
- [i39] Witryna internetowa ec.europa.eu:
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495
- [i40] Witryna internetowa efl.pl:
<https://efl.pl/pl/biznes-i-ty/artykuly/leasing-czy-gotowka>
- [i41] Witryna internetowa electrive.com:
<https://www.electrive.com/2022/09/19/catl-introduces-new-battery-tech-called-mtb-for-hgvs/>
- [i42] Witryna internetowa elektrowoz.pl:
<https://elektrowoz.pl/transport/oto-wtyczka-mcs-megawatt-charging-system-do-ciezarowek-trojkatna-teoretyczne-maksimum-375-mw-ciagle-prototyp/>
- [i43] Witryna internetowa etransport.pl:
https://etransport.pl/wiadomosc,67504,ladowanie_elektrycznej_ciezarowki_w_45_minut_coraz_blizej.html
- [i44] Witryna internetowa europarl.europa.eu:
<https://www.europarl.europa.eu/news/pl/press-room/20231117IPR12204/parlament-za-prze-pisami-zmniejszajacymi-zanieczyszczanie-powietrza>
- [i45] Witryna internetowa e100.eu:
<https://e100.eu/pl/blog/business/wynajem-ciezarowek-ile-kosztuje-dla-kogo-jest-i-czy-si-e-oplaca>
- [i46] Witryna internetowa ford.pl:
<https://www.ford.pl/swiat-forda/ford-blog/silnik-elektryczny-do-samochodu-jak-dziala-rodzaje-budowa#>
- [i47] Witryna internetowa gov.pl:
<https://www.gov.pl/web/infrastruktura/transeuropejska-siec-transportowa-ten-t>
- [i48] Witryna internetowa gov.pl:
<https://www.gov.pl/web/funduszmodernizacyjny/narodowy-fundusz-ochrony-srodowiska-i-gospodarki-wodnej-przedstawia-do-konsultacji-program-pp-rozwoj-infrastruktury-elektroenergetycznej-na-potrzeby-rozwoju-stacji-ladowania-pojazdow-elektrycznych>
- [i49] Witryna internetowa gov.pl:
<https://www.gov.pl/web/elektromobilnosc/program-moj-elektryk--pytania-i-odpowiedzi>
- [i50] Witryna internetowa gov.pl:
<https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>
- [i51] Witryna internetowa intermodalnews.pl:
<https://intermodalnews.pl/2023/04/27/reforma-eu-ets-korzystna-dla-transportu-kolejowego-i-intermodalu/>
- [i52] Witryna internetowa knaufautomotive.com:
<https://knaufautomotive.com/pl/wodorowe-ogniwa-paliwowe-zalety-wady-i-zastosowanie/>
- [i53] Witryna internetowa leasingpolski.pl:
<https://leasingpolski.pl/blog/leasing-operacyjny-a-finansowy-czym-sie-roznia>

- [i54] Witryna internetowa linkedin.com:
<https://www.linkedin.com/pulse/equipment-as-a-service-model-kt%C3%B3ry-zrewolucjonizuje-arciszewski/?originalSubdomain=pl>
- [i55] Witryna internetowa mhcmobility.pl:
<https://mhcmobility.pl/strefa-wiedzy/nowe-technologie-i-rozwoj-akumulatorow-samochodow-elektrycznych>
- [i56] Witryna internetowa phoenixcontact.com:
<https://www.phoenixcontact.com/pl-pl/galezie-przemyslu/elektromobilnosc/podstawy-technologii-ladowania-dla-elektromobilnosci#ex-gso67>
- [i57] Witryna internetowa poradnikprzedsiębiorcy.pl:
<https://poradnikprzedsiębiorcy.pl/-wynajem-samochodu-w-kosztach-firmy>
- [i58] Witryna internetowa poradnikprzedsiębiorcy.pl:
<https://poradnikprzedsiębiorcy.pl/-leasing-operacyjny-a-leasing-finansowy-podstawowe-roznice>
- [i59] Witryna internetowa samochody-specjalne.pl:
<https://samochody-specjalne.pl/2016/09/30/dystrybucja-towarow-w-logistyce-miejskiej/4/>
- [i60] Witryna internetowa powermeetings.eu:
<https://powermeetings.eu/kolory-wodoru-znaczenie-zastosowanie-potencjal/>
- [i61] Witryna internetowa tno.nl:
<https://www.tno.nl/en/newsroom/2023/02/europe-explores-potential-solar-powered/>
- [i62] Witryna internetowa udt.gov.pl:
<https://www.udt.gov.pl/typy-ladowania>
- [i63] Witryna internetowa udt.gov.pl:
<https://www.udt.gov.pl/systemy-ladowania>
- [i65] Witryna internetowa seshydrogen.com:
<https://seshydrogen.com/wodorowy-transport-ciezki-coraz-blizej-nowe-projekty-przyczynia-sie-do-rozwoju-rynku/>
- [i65] Witryna internetowa witd.opole.pl:
<https://witd.opole.pl/79/85/czas-pracy-kierowcow.html>
- [i66] Witryna internetowa 40ton.net:
<https://40ton.net/czym-rozni-sie-kredyt-samochodowy-od-kredytu-na-ciezarowke/>

Akty prawne

- [a67] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz.U. L 307 z 28.10.2014)
- [a68] Regulation of the European parliament and of the council setting CO2 emission performance standards for new heavy-duty vehicles (2018/0143 (COD))
- [a69] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 31 marca 2022 r. w sprawie wzoru nalepki dla pojazdów uprawnionych do wjazdu do strefy czystego transportu (Dz.U. 2022 poz. 845)

- [a70] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1542 z dnia 12 lipca 2023 r. w sprawie baterii i użytych baterii, zmieniające dyrektywę 2008/98/WE i rozporządzenie (UE) 2019/1020 oraz uchylające dyrektywę 2006/66/WE
- [a71] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE (2021/0223 (COD))
- [a72] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1242 z dnia 20 czerwca 2019 r. określające normy emisji CO₂ dla nowych pojazdów ciężkich oraz zmieniające
- [i36] rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 595/2009 i (UE) 2018/956 oraz dyrektywę Rady 96/53/WE
- [a73] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U.2023.875 t.j.)
- [a74] Wniosek Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE (2021/559 final (COM))

Materiały dodatkowe

- [75] Materiały informacyjne Renault Trucks

6 Dodatki

Spis rysunków

- Rys. 2.1. Budowa elektrycznego pojazdu ciężarowego [75]
- Rys. 3.1. Struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce w 2022 roku [12]
- Rys. 3.2. Struktura rynku infrastruktury ładowania [24][a73]
- Rys. 3.3. MOP Ciosny z przykładowym rozmieszczeniem infrastruktury ładowania pojazdów ciężarowych [a71]
- Rys. 3.4. Trasa śmieciarki wraz z zaznaczonymi punktami odbioru śmieciarki [75]
- Rys. 3.5. Trasa pojazdu ciężarowego typu chłodnia wraz z zaznaczonymi punktami pośrednimi [75]
- Rys. 3.6. Trasa ciągnika siodłowego i naczepy wraz z zaznaczonymi punktami załadunku i rozładunku [75]
-

Spis tabel

- Tab. 2.1. Wybrane rodzaje złączy ładowania [i42][i43][i62]
- Tab. 3.1. Wyniki symulacji trasy pracy śmieciarki [75]
- Tab. 3.2. Wyniki symulacji trasy pracy ciężarowego pojazdu chłodniczego [75]
- Tab. 3.3. Wyniki symulacji trasy pracy ciągnika siodłowego z naczepą [75]



Nowamobilnosc.pl

Nowa Mobilność

STUDIA PODYPLOMOWE

Wydział SiMR Politechniki Warszawskiej oraz PSNM



Wydział Samochodów
i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska



Politechnika Warszawska

psnm NEW
MOBILITY
ASSOCIATION