

dr Piotr Pawlak
Instytut Transportu
Samochodowego w Warszawie
e-mail: piotr.pawlak@its.waw.pl
ORCID: 0000-0001-7713-9770

Potencjał wykorzystania alternatywnych napędów w transporcie samochodowym towarowym: elektryfikacja, wykorzystanie wodoru i ekologicznych paliw gazowych

The potential of using alternative drives in freight motor transport: electrification, use of hydrogen and ecological gas fuels

Słowa kluczowe:
transport samochodowy,
alternatywne napędy,
elektryfikacja transportu,
wodór, paliwa gazowe, koszty
zewnętrzne transportu

Streszczenie: Zmniejszanie kosztów zewnętrznych transportu samochodowego może zostać osiągnięte m.in. przez powszechniejsze wykorzystanie alternatywnych napędów w transporcie samochodowym. Elektryfikacja, wodoryzacja oraz zastosowanie ekologicznych paliw gazowych pozwoli dostosować się do licznych regulacji prawnych w tym zakresie. Polscy przewoźnicy nadal są liderem europejskich przewozów drogowych, jednak w ostatnich latach ich przewozy maleją, a perspektywa rozwoju jest coraz gorsza. Oprócz rosnącej konkurencji z innych krajów UE, jak również ze strony przewoźników ukraińskich, wpływ na ten stan rzeczy ma malejąca opłacalność przewozów, wprowadzenie pakietu mobilności, a także kolejne opłaty nakładane na przewoźników. Wykorzystanie alternatywnych napędów w parku samochodowym polskich firm transportowych może mieć pozytywny wpływ na relację kosztów do przychodów, a co za tym idzie, na dalszą ekspansję i rozwój tych przedsiębiorstw. W artykule przedstawiono kwestie związane z analizą wykorzystania napędów alternatywnych w transporcie drogowym rzeczy.

Keywords:

motor transport, alternative drives, electrification of transport, hydrogen, gas fuels, external costs of transport

Abstract: Reducing the external costs of road transport can be achieved by the increasingly common use of alternative drives in motor transport. Electrification, hydrogenization of transport or the use of ecological gas fuels in transport can allow to adapt to numerous EU legal regulations in this area. Polish road carriers are still the leaders in European road transport, but recent years have been increasingly difficult and the development prospects are getting worse. In addition to growing competition from other EU countries, as well as from Ukrainian carriers, this state of affairs is also influenced by the decreasing profitability of transport, the introduction of the mobility package, and subsequent fees imposed on carriers. The use of alternative drives in the vehicle fleet of Polish transport companies can have a positive impact on the cost-to-revenue ratio, and on the further expansion and development of these companies. The article presents issues related to the analysis of the use of alternative drives in the road transport of goods.

JEL:

O33, Q53, Q55, R41, R42

Wprowadzenie

Przedstawiony temat stanowi istotne zagadnienie ekonomiczne ze względu na ważną rolę transportu samochodowego dla polskiej gospodarki. Problem badawczy jest skupiony na procesie wdrażania pojazdów z ekologicznymi napędami alternatywnymi, który związany jest z koniecznością dostosowania się do regulacji prawnych dążących do ograniczenia kosztów zewnętrznych transportu samochodowego, zwłaszcza w kwestiach emisyjności pojazdów. Rozważanie tych zagadnień wiąże się z licznymi przemianami gospodarczymi i jej implikacjami m.in. dla Polski, które występują w ostatnich dekadach [Kołodko, 2001]. Przedstawiony artykuł stanowi również praktyczne udokumentowanie teoretycznych założeń rozwoju elektromobilności transportu samochodowego [Brdulak, Pawlak, 2021; 2022a; 2022b]. Analiza ta jest istotna dla polskich przewoźników drogowych ze względu na coraz większe wymagania dotyczące wykorzystania floty pojazdów zero lub niskoemisyjnych. W wyniku wprowadzonych przez administrację regulacji wzrastają koszty działalności gospodarczej, co utrudnia przewoźnikom konkurowanie na otwartym rynku. Dotyczy to takich regulacji jak Pakiet Mobilności, umowa UE-Ukraina czy projekt zmiany ustawy o drogach publicznych, ustawy o autostradach płatnych oraz o Krajowym Funduszu Drogowym (KFD), wdrażającej do polskiego systemu prawnego przepisy dyrektywy Parlamentu Europejskiego 2022/362 w odniesieniu do pobierania opłat za użytkowanie niektórych typów infrastruktury przez pojazdy i uiszczania opłat środowiskowych. Branża polskiego międzynarodowego transportu drogowego generuje ponad 6% PKB. Firmy międzynarodowego transportu w Polsce dysponują ok. 300 tys. zarejestrowanych pojazdów i 400 tys. kierowców, a w całej

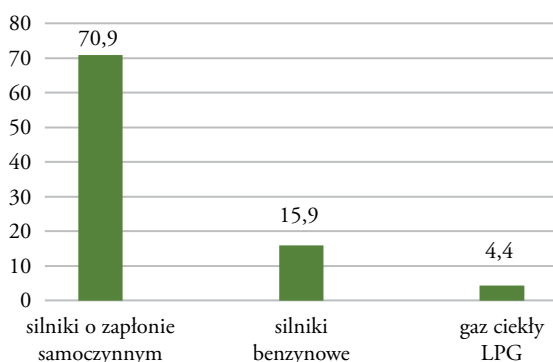
branży TSL zatrudnionych jest w przybliżeniu milion osób. W samochodowym transporcie towarowym w 2021 roku zatrudnionych było w Polsce ok. 500 tys. pracowników [EU, 2024]. Pięć z 15 regionów UE o najwyższym udziale pojazdów użytkowych w całkowitej liczbie pojazdów w 2022 r. znajdowało się w Polsce, a ich udział wahał się od 17,7% (województwo łódzkie) do 20,9% (województwo świętokrzyskie) [Eurostat, 2024]. Niestety w pierwszej połowie 2023 r. liczba upadłości w sektorze transportu drogowego wzrosła o 100% w porównaniu z pierwszą połową 2022 roku. Wzrosło także zadłużenie przewoźników, które przekroczyło 2 mld PLN. Nadal przed branżą pozostaje dużo wyzwań, zwłaszcza tych związanych z dostosowaniem się do znacznej liczby wymagających zmian legislacyjnych, które wpływają na koszty i organizację pracy firm transportowych. Zagadnienie to jest istotne ze względu na znaczny potencjał polskich przewoźników drogowych, a także utrzymanie ich dominującej roli w międzynarodowych przewozach drogowych. Szansą dla przewoźników jest położenie geograficzne Polski, prowadzenie zrównoważonej polityki transportowej oraz wykorzystanie ekologicznych napędów [ZMPD, 2024]. Duża liczba firm transportowych przewiduje rozwój i inwestycje w nowe pojazdy w perspektywie do 5 lat (70% przedsiębiorstw). Zważając na obecną sytuację i przyszłe zmiany legislacyjne przedsiębiorcy powinni rozważać inwestycje w pojazdy zero lub niskoemisyjne, co niestety nadal budzi obawy ze strony przedsiębiorstw [TLP, ZP, SpotData, 2025].

Przyczyny wdrażania paliw i napędów alternatywnych w transporcie samochodowym

Podjęcie niniejszego tematu badawczego jest związane z koniecznością dostosowania się do regulacji w zakresie zmniejszenia kosztów zewnętrznych transportu samochodowego. Planowanym efektem jest dostosowanie prawa krajowego do przepisów unijnych, co umożliwi realizację prośrodowiskowych celów polityki Polski oraz UE (Nowy Zielony Ład, Fit for 55). Działania te wiążą się z szeroko pojętą tematyką ograniczania negatywnego wpływu transportu samochodowego na środowisko naturalne człowieka. W celu właściwego wdrożenia dyrektywy 2022/362 struktura opłaty elektronicznej zmieni się w stosunku do obecnej. Projekt ustawy zakłada, że opłata elektroniczna będzie stanowić sumę trzech składowych: opłaty infrastrukturalnej (dotychczas pobieranej) oraz dwóch nowych opłat, opłaty mającej na celu zwrot kosztów zanieczyszczenia środowiska wywołanego emisją dwutlenku węgla (CO_2) przez pojazdy i opłaty nakładanej ze względu na zanieczyszczenie powietrza mającej na celu zwrot kosztów zanieczyszczenia środowiska wywołanego emisją pyłu zawieszonego i prekursorów ozonu. Oparcie poboru opłat na zróżnicowaniu poziomów emisji CO_2 ma przyczynić się do odnowienia parku pojazdów użytkowanych przez sektor transportu drogowego na terenie UE oraz

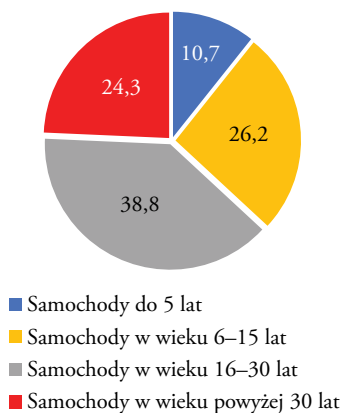
będzie stanowić wkład w osiągnięcie unijnych celów w zakresie klimatu i energii. Transport samochodowy bazuje obecnie przede wszystkim na paliwach ropopochodnych, co ma wpływ na wzrost emisji gazów cieplarnianych, a także w sposób istotny oddziałuje na środowisko i ludzi. Na wykresach 1–3 przedstawiono rodzaje napędu w strukturze parku pojazdów ciężarowych oraz podział wiekowy samochodów ciężarowych i ciągników siodłowych na koniec 2023 roku [GUS, 2024].

Wykres 1. Rodzaje napędu w strukturze pojazdów ciężarowych (w %)



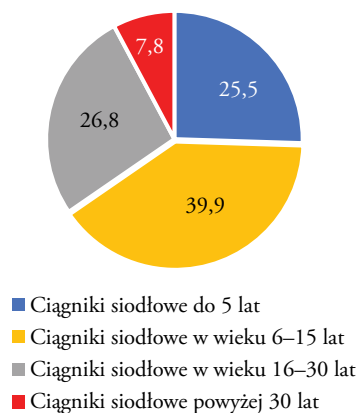
Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS [2024].

Wykres 2. Wiek samochodów ciężarowych (w %)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS [2024].

Wykres 3. Wiek ciągników siodłowych (w %)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS [2024].

Analizując dane zamieszczone na powyższych wykresach widać, że większość pojazdów ciężarowych jest obecnie wyposażonych w silniki o zapłonie samoczynnym, a struktura wiekowa parku samochodów ciężarowych wymaga odmłodzenia. Struktura wiekowa

w przypadku ciągników siodłowych prezentuje się znacznie korzystniej. Nadal jednak dominującym napędem dla wszystkich pojazdów ciężarowych jest olej napędowy.

W 2023 r. wielkość przewozów ładunków transportem samochodowym wykonanym przez polskich przewoźników, wyrażona w tonokilometrach, stanowiła 20,3% ogólnych przewozów krajów UE. Wynik ten plasował Polskę na pierwszej pozycji wśród 27 krajów UE. W przewozach międzynarodowych udział Polski także był najwyższy i odpowiadał za jedną trzecią przewozów w krajach UE ogółem [GUS, 2024]. Wolumen przewozów transportem samochodowym i jego dynamika jest znaczna, dlatego aby utrzymać pozytywne efekty rozwojowe, uwzględniając również ograniczanie kosztów zewnętrznych transportu samochodowego należy dążyć do coraz szerszego wykorzystania napędów zero lub niskoemisyjnych.

Analiza możliwości wykorzystania napędów alternatywnych i ich potencjału w transporcie samochodowym towarowym, przegląd literatury i wybranych badań

Prowadząc rozważania teoretyczne dokonano przeglądu literatury związanej z transportem samochodowym ładunków i oceną potencjału wykorzystania pojazdów z napędami alternatywnymi. Jedną z analizowanych pozycji była książka pt. *Polski transport samochodowy ładunków* [Kordel, 2019], w której autorzy zaprezentowali informacje o danych statystycznych dotyczących stanu liczbowego transportu towarowego, wielkości przewozów, kosztów w przedsiębiorstwach transportu samochodowego, prognozowania tendencji rozwojowych, kształtu obsługi transportowej współczesnych miast oraz zagadnień ekologii w transporcie. *Innowacje w transporcie* [Wojewódzka-Król, 2024] to pozycja, w której przedstawiono innowacje transportowe na przykładach. Dotyczyły one zmian w transporcie w sferze technicznej, technologicznej i zarządczej. Podobną tematykę porusza książka pt. *Transport drogowy. Wyzwania i innowacje* [Ziółko, Dziedzic, 2024]. Przedstawione zostały takie zagadnienia jak m.in.: kongestia transportowa, bezpieczeństwo w transporcie, czas pracy kierowców, pojazdy elektryczne, pojazdy autonomiczne czy wykorzystanie sztucznej inteligencji w transporcie. Książka pt. *Elektromobilność. Środowisko infrastrukturalne i techniczne wyzwania polityki intraregionalnej* [Kwiatkiewicz, Szczerbowski, Śledzik, 2020] stanowi z kolei przegląd rozwoju elektromobilności w Polsce. Przedstawiono analizę stanu obecnego, prognozy rozwoju elektromobilności oraz wyzwania i możliwe scenariusze dla całego systemu elektroenergetycznego. Książka pt. *Samochody elektryczne* [Fic, 2019] zawiera zagadnienia, które dotyczą procesu zastępowania samochodów z silnikami spalinowymi przez samochody z napędem elektrycznym lub hybrydowym. W ramach analizy napędów alternatywnych

warto również zająć się wodorem, który został opisany w książce pt. *Stan i kierunki rozwoju wodoryzacji gospodarki ze szczególnym uwzględnieniem transportu* [Menes, 2021]. Opracowanie to opisuje plany wykorzystania wodoru, jak również wodoryzację środków transportu i technologie napędu wodorowego.

Dokonano także analizy prowadzonych badań związanych z możliwością wdrażania pojazdów z napędami alternatywnymi w różnych regionach świata. Badania miały na celu ocenę dostępnych rozwiązań z wykorzystaniem alternatywnych napędów dla transportu samochodowego, z naciskiem na transport towarowy. Pojazdy ciężarowe zasilane akumulatorowo są obecnie uważane za potencjalne rozwiązanie umożliwiające redukcję emisji w transporcie towarowym i zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego. Jedną z najistotniejszych kwestii jest adaptacja tych pojazdów do warunków drogowych. Ciężarówki zasilane akumulatorowo nie zawsze są rozwiązaniem uniwersalnym ze względu na ograniczenia technologii akumulatorowej i ogromną różnorodność operacji przewozowych oraz kategorii pojazdów. Na potencjał tych pojazdów wpływają zmiany wydajności, które można zaobserwować w niekorzystnych warunkach klimatycznych i technicznych oraz zwiększona masa pojazdu, ze względu na konieczność zastosowania ciężkiej baterii. Wzorce zapotrzebowania na podróże dla pojazdów średnich i ciężkich mają bardziej zróżnicowany i rygorystyczny zestaw wymagań w porównaniu z pojazdami lekkimi. Jednak postępujący rozwój technologii akumulatorowej sprawia, że wykorzystanie akumulatorowych ciężarówek o dużej ładowności zaczyna być technicznie i komercyjnie coraz bardziej opłacalne, a dostępność tych pojazdów większa. Różnice w opłacalności operacji transportu towarowego z użyciem takich pojazdów wynikają przede wszystkim ze względu na położenie geograficzne i przepisy krajowe. Jednym z przeprowadzonych badań było szacowanie wykorzystania potencjału elektrycznych ciężarówek w Szwajcarii i Finlandii. Wykazano, że w Szwajcarii nawet 71% tonokilometrów transportu drogowego towarów może być zelektryfikowanych przy użyciu akumulatorowych ciężarówek elektrycznych, w przeciwieństwie do Finlandii, która ma bardzo ograniczony potencjał elektryfikacji transportu towarowego – 35% tonokilometrów (stosowanie długich i ciężkich kombinacji ciężarówka-przyczepa, ciągnik-naczepa). Potencjał elektryfikacji tych krajów znacznie się różni. Towary, których ograniczenia wynikają z objętości ładunku, a nie masy i które są w dużej mierze przewożone przy użyciu ciężarówek bez przyczep o średniej ładowności do 26 ton, wydają się zapewniać wysoki potencjał elektryfikacji nawet przy obecnej technologii. Wykazano, że ciężarówki elektryczne zwiększają roczne zużycie energii elektrycznej tylko o 1–3%, jednak ładowanie ciężarówek prawdopodobnie będzie miało duży wpływ na lokalne sieci w pobliżu centrów logistycznych i stacji obsługi wzdłuż głównych szlaków drogowych [Liimatainen, van Vliet, Aplyn, 2019]. W Szwajcarii przeprowadzono również badania technicznych możliwości elektryfikacji transportu samochodowego przy wykorzystaniu rzeczywistych danych dla szwajcarskiej floty ciężarówek. Pełna elektryfikacja zwiększyłaby całkowite zapotrzebowanie na energię

elektryczną w Szwajcarii o 5% w stosunku do obecnego poziomu i pozwoliła uniknąć ok. 1 megatony emisji CO₂ rocznie. Wykorzystanie tego potencjału wymaga uwzględnienia przekroczenia obecnych przepisów dotyczących maksymalnej dopuszczalnej masy pojazdu ciężarowego, dostępu do sieci o dużej przepustowości w celu ładowania w bazie macierzystej (przynajmniej 50 kW) i stworzenia wspierającej infrastruktury energetycznej. Wyniki wykazały, że obecnie elektryczne ciężarówki akumulatorowe nie są bezpośrednimi zamiennikami dla swoich odpowiedników z silnikiem o zapłonie samoczynnym. Aby umożliwić ich szerokie wykorzystanie, sektor transportu drogowego musiałby się przekształcić w szerszym zakresie, znacznie poza wymianą floty pojazdów. Praca nad elektrycznymi ciężarówkami zasługuje na dalsze badania, zwłaszcza pod kątem ich kosztów, wpływu na cykl życia, wariantów technologicznych i porównania z konkurencyjnymi technologiami [Çabukoglu i in., 2018]. Podobne badania prowadzono także w USA. Opracowano oraz zastosowano reprezentatywny zbiór danych dotyczących podróży pojazdów średnich i ciężkich w stanie Kalifornia w celu oceny potencjalnego zapotrzebowania na energię dla pojazdów zasilanych całkowicie elektrycznie. Z technicznego punktu widzenia pojazdy elektryczne mogą obsługiwać od 62 do 76% przejechanych mil pojazdów komercyjnych przy użyciu technologii będących obecnie w fazie rozwoju. Dalsze wzrosty będą wymagały zwiększenia zasięgu pojazdu, poprawy ich efektywności i/lub rozszerzenia dostępnych lokalizacji ładowania. Wyniki wskazują, że pojazdy elektryczne mogą znacząco przyczynić się do redukcji emisji tych pojazdów, ale nie mogą w pełni zaspokoić popytu w rozważanych konfiguracjach [Forrest i in., 2020]. Badania prowadzone w Kalifornii mają jednak inną charakterystykę ze względu na panujący tam klimat. W niektórych regionach świata należy uwzględnić w większym stopniu wpływ niskich temperatur czy wiatru czołowego oddziałującego na pojazdy ciężarowe, co zostało uwzględnione w badaniach floty pojazdów ciężarowych w ramach studium przypadku przeprowadzonego na Islandii. Przeprowadzone badania udowodniły, że zasięg analizowanych pojazdów może ulec zmniejszeniu o 41–47% w niekorzystnych warunkach atmosferycznych, w porównaniu z szacowanym zasięgiem do warunków idealnych. Trasy krótkodystansowe mogą być zelektryfikowane nawet w najtrudniejszych warunkach, podczas gdy trasy regionalne mogą wymagać pewnych dostosowań planowania, aby osiągnąć całkowitą elektryfikację [Alonso-Villar i in., 2023]. Ciężarówki elektryczne zapewniają największe korzyści środowiskowe i ekonomiczne, chociaż ograniczony zakres obecnej technologii oznacza możliwości dużego udziału tych pojazdów tylko w odniesieniu do samochodów dostawczych. W przypadku napędu wodowego i sprężonego gazu ziemnego rezultaty są atrakcyjne dla ciężarówek operujących na większych dystansach, chociaż ich wdrożenie jest ograniczone ze względu na wysokie koszty cyklu życia i niewystarczającą pojemność surowca [Alonso-Villar i in., 2022].

Ograniczone obecnie możliwości technologiczne, a także konieczność ograniczania kosztów zewnętrznych transportu samochodowego (oprócz emisji spalin dotyczy to

również ograniczania hałasu transportu samochodowego), wskazują, że należy w pierwszej kolejności skupić się na wykorzystaniu pojazdów z alternatywnymi źródłami napędu na obszarach miejskich. Prognozowanie zapotrzebowania na moc ładowania pojazdów elektrycznych w czasie i przestrzeni na obszarach miejskich jest istotnym zagadnieniem związanym z wdrażaniem pojazdów o napędzie elektrycznym. Jedno z takich badań odbyło się na terenie sieci dróg wewnątrz obszaru metropolitalnego Seulu. Wyniki pozwoliły na sformułowanie modelu zapotrzebowania na moc ładowania pojazdów elektrycznych. Po pierwsze uwzględniono czas dojazdu pojazdów elektrycznych na stacje ładowania zlokalizowane w pobliżu odcinków miejskiej sieci drogowej, a następnie określono zapotrzebowanie na moc ładowania pojazdów elektrycznych na publicznych stacjach szybkiego ładowania. Przedstawiono przykłady zapotrzebowania na moc ładowania pojazdów elektrycznych o poranku, po południu i wieczorem. Proponowany model czasowo-przestrzenny może przyczynić się do planów inwestycyjnych i operacyjnych dla adaptacyjnej infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych z odnawialnymi źródłami energii i jej magazynowaniem w zależności od zapotrzebowania na moc ładowania pojazdów na obszarach miejskich. Model ten może wspomóc operatorów usług przy planowaniu systemów dystrybucji w przyszłych systemach energetycznych [Arias, Kim, Bae, 2017]. Celem kolejnego analizowanego badania było uzyskanie dogłębnego zrozumienia czynników wpływających na wdrażanie elektrycznych pojazdów ciężarowych (EFV – Electric Freight Vehicles) we flotach miejskiego transportu towarowego w Turcji. Analiza opierała się na przeglądzie literatury i opinii zebranych podczas warsztatów z wyselekcjonowanymi interesariuszami, jako części działań realizowanych w ramach projektu EUFAL (Electric urban freight and logistics). Ocena wyników pokazała, że w Turcji istnieje szerokie zainteresowanie elektrycznymi pojazdami towarowymi ze strony wszelkiego rodzaju interesariuszy. Nadal jednak występuje wiele niepewności dotyczących wdrażania pojazdów EFV. Główne zalety tych pojazdów są związane z niskimi kosztami ładowania, zmniejszonym hałasem i mniejszym wpływem na środowisko. Wadami są kwestie ekonomiczne, zwłaszcza wysokie początkowe koszty zakupu EFV i zagadnienia dotyczące wydajności technicznej oraz operacyjnej [İmre, Çelebi, Koca, 2021].

Kwestie wdrażania zrównoważonego samochodowego transportu towarowego nie wiążą się tylko z elektryfikacją transportu, która jest oczywiście obecnie najpopularniejszym kierunkiem rozwoju motoryzacji, ale także z wodoryzacją oraz wykorzystaniem biogazu w transporcie samochodowym. Pojazdy, które są zasilane wodorem nie są nowością technologiczną, jednakże liczba dostępnych modeli jest obecnie ograniczona. Bariere stanowi również słaba dostępność infrastruktury, zwłaszcza stacji tankowania wodorem, które przeważnie są na etapie planowania, inwestycji lub budowy. Zgodnie z informacjami zawartymi w raporcie pt. *3W: woda, wodór, węgiel* w 2023 roku w całej UE było 177 stacji tankowania wodorem. Dla przykładu w Niemczech zlokalizowa-

nych było 91 stacji, a w Polsce funkcjonowała tylko jedna komercyjna stacja. Obecnie w Polsce funkcjonuje 6 stacji tankowania wodorem [Neso, b.d.]. Oczywiście zakłada się dalszy rozwój sieci stacji tankowania wodorem na terenie UE, w samej Polsce za kilka lat ma być około 50 stacji, a w Europie ponad 650 [Łukasiewicz ITECH, 2023]. Jednym z pionierów napędów wodorowych w pojazdach jest Toyota. Producent ten oprócz rozwoju samochodów elektrycznych pracuje również nad układami hybrydowymi czy wodorem. Na początku 2025 roku zaprezentowano wodorowe ogniwa paliwowe trzeciej generacji. Nowa generacja ogniw jest dwa razy bardziej niezawodna, tańsza, a zasięg pojazdów większy o 20%. Zgodnie z założeniami samochody ciężarowe wyposażone w takie ogniwa mają być niezawodne tak jak pojazdy z silnikami o zapłonie samoczynnym [Olesiuk, 2025; Toyota, 2025]. Dalszy rozwój pojazdów z napędem wodorowym pozwoli zwiększać liczbę samochodów, które są neutralnie klimatyczne.

Kolejną z metod dekarbonizacji transportu samochodowego jest zastosowanie paliw gazowych. Wykorzystanie LNG¹ i bioLNG² może wpływać na obniżanie emisyjności łańcuchów dostaw przez pracę zeroemisyjnego oraz niskoemisyjnego parku pojazdów opierającego się na tych paliwach. Biopaliwa mogą stanowić alternatywę dla elektryfikacji transportu, a LNG stanowić alternatywę dla oleju napędowego w transporcie długodystansowym. Dane zamieszczone w raporcie *Transport drogowy w Polsce 2024/2025* wskazują, że 37% ankietowanych przedsiębiorstw zamierza inwestować i rozwijać park samochodów napędzanych bio olejem napędowym, 20% paliwami syntetycznymi, 17% paliwami gazowymi, a 13% firm ma zamiar rozwijać flotę pojazdów zelektryfikowanych [TLP, ZP, SpotData, 2025]. We wrześniu 2024 roku przeprowadzono pierwsze tankowanie paliwa bioLNG na komercyjnej stacji paliw dla samochodów ciężarowych w Rzepinie [Motoryzacja dla profesjonalistów 40 ton.net, 2024]. Rok 2025 może przynieść wzrost zainteresowania paliwami LNG i bioLNG, co będzie oddziaływać na dekarbonizację transportu. Będzie na to wpływać sytuacja na rynku paliw oraz zamiar uniezależnianie się od dostaw paliw z krajów spoza UE. Obecnie w Polsce działa 26 stacji LNG, natomiast w Niemczech jest ich już 189. LNG jest tańszy od oleju napędowego, a silniki na gaz generują mniej hałasu. Paliwo bioLNG pozwala na znaczną redukcję emisji CO₂ i emisji substancji szkodliwych oraz stwarza możliwość uzyskania większego bezpieczeństwa energetycznego, niezawodności dostaw, a także wdrażania założeń gospodarki o obiegu zamkniętym, ponieważ do wytworzenia tego paliwa korzysta się z odpadów organicznych, a przejście na to paliwo nie wymaga modernizacji pojazdów [Executive Magazine.pl, 2025].

¹ LNG (Liquefied Natural Gas) – gaz ziemny, składający się głównie z metanu, w ciekłym stanie skupienia. W transporcie drogowym LNG jest wykorzystywane przede wszystkim do napędzania samochodów ciężarowych oraz autobusów.

² Gaz pochodzący z przetwarzania odnawialnych źródeł energii, głównie odpadów produkcji rolniczej.

Wnioski

Prowadzone obecnie analizy charakteryzują się ograniczeniami ze względu na małą liczbę pojazdów zero lub niskoemisyjnych wykorzystywanych w transporcie samochodowym towarowym. W związku z tym liczba i zakres badań nad tą tematyką są mniej liczne. Nie zmienia to faktu, że jest to bardzo ważna tematyka, biorąc pod uwagę konieczność redukcji kosztów zewnętrznych transportu samochodowego.

Wyniki przeanalizowanych badań pokazują, że wdrażanie pojazdów elektrycznych może się przyczynić do redukcji emisji CO₂. Obecnie pojazdy te mogą obsługiwać nawet od 60% do 76% przejazdów, a dla krajów z ograniczonym potencjałem elektryfikacji może to być wartość do ok. 35%. Elektryczne ciężarówki nie podwyższają znacznie rocznego zużycia energii, jednak ich zwiększona obecność ma wpływ na lokalne sieci, zwłaszcza w pobliżu głównych szlaków drogowych i centrów logistycznych. Inną przeszkodą do optymalnego wykorzystania elektryfikacji transportu ciężarowego mogą być warunki atmosferyczne. Zasięg pojazdów o napędzie elektrycznym może ulec zmniejszeniu nawet o 41–47% w niekorzystnych warunkach. Na chwilę obecną krótkie trasy mogą zostać zelektryfikowane nawet w trudnych warunkach, podczas gdy dłuższe trasy wymagają odpowiedniej infrastruktury i planowania, aby osiągnąć całkowitą elektryfikacji tych tras. Uznaje się, że obecnie możliwość wprowadzenia na szeroką skalę pojazdów zasilanych akumulatorowo w transporcie towarowym dotyczy samochodów dostawczych, a w mniejszym stopniu pojazdów ciężkich.

Przewiduje się, że dla ciężarówek, które mają operować na większych dystansach, lepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie napędu wodorowego i sprężonego gazu ziemnego. Jednakże wdrożenie tych rozwiązań jest ograniczone ze względu na wysokie koszty cyklu życia, niewystarczającą pojemność surowca i ograniczoną infrastrukturę tankowania. Zakłada się, że sytuacja ta będzie się z czasem zmieniać, zwłaszcza przy coraz bardziej powszechnej i tańszej produkcji wodoru z odnawialnych źródeł energii.

Kolejnym rozwiązaniem jest wykorzystanie biopaliw oraz LNG, które mogą wypełnić lukę dla ciężarówek operujących na większych dystansach. Rozwiązanie to daje ogólnie zadowalające rezultaty we wszystkich uwzględnionych wymiarach. Ponad 70% polskich przewoźników deklaruje rozwój floty opartej na biopaliwach, paliwach syntetycznych czy paliwach gazowych.

Podsumowanie

Podsumowując, w pierwszej kolejności należy się skupić na wykorzystaniu pojazdów z alternatywnymi źródłami napędu na obszarach miejskich, gdzie najłatwiej będzie wdrożyć takie samochody, a korzyści dla środowiska naturalnego człowieka będą największe.

Niezbędne jest planowanie odpowiednich kanałów dystrybucji w przyszłych systemach energetycznych i wsparcie operatorów energetycznych przy uwzględnieniu wykorzystania pojazdów akumulatorowych. W przypadku sieci ładowania pojazdów elektrycznych następuję znaczna poprawa sytuacji i pod koniec 2024 r. liczba lokalizacji stacji ładowania samochodów elektrycznych w Polsce zwiększyła się o 53% w porównaniu z rokiem poprzednim, co odpowiadało 10,6 tys. punktów ładowania [Elektromobilni.pl, 2025]. Wprowadzenie tych pojazdów zmniejszy emisję CO₂, a także poziom hałasu. Liczba pojazdów nie ulegnie zmniejszeniu, jednak pojazdy bardziej ekologiczne, nawet stojąc w zatorach drogowych, będą przyjazne dla środowiska i człowieka.

W przypadku tras na dłuższych dystansach wydaje się, że wdrażanie pojazdów o napędzie wodorowym i zasilanych paliwami gazowymi ma szanse na osiągnięcie większej efektywności. Powinno się dążyć do wsparcia operatorów przy budowie infrastruktury tankowania wodoru, LNG oraz biopaliw.

Oczywiście oprócz wprowadzania coraz bardziej ekologicznych i zrównoważonych rozwiązań w napędach samochodów ciężarowych należy zadbać także o rozwój infrastruktury drogowej, który pozwala zmniejszać koszty zewnętrzne transportu samochodowego [Brdulak i in., 2014]. Koszt zwrotu inwestycji drogowych w Polsce jest o wiele szybszy niż w rozwiniętych krajach, co pokazuje problemy, z jakimi zmagają się polski transport samochodowy [Brdulak i in., 2017]. Dla rozwoju polskiej gospodarki bardzo istotny jest transport samochodowy towarów [Frączyk, 2025], dlatego należy się przystosować do nowych, ekologicznych wymogów. Pozycja geograficzna Polski jest korzystna dla rozwoju transportu samochodowego towarowego, dlatego tym bardziej przedsiębiorstwa transportowe muszą się dostosować do wszelkich nowych regulacji, aby nie stracić swojej pozycji i dalej się rozwijać.

Sytuacja związana z wykorzystaniem alternatywnych napędów będzie się zmieniać dynamicznie w najbliższych latach. W nadchodzącej dekadzie producenci samochodów na całym świecie będą konkurować o szybkie przejście na pojazdy bezemisyjne (ZEV – Zero Emission Vehicle), ponieważ napędy te staną się tańsze i atrakcyjniejsze niż silniki spalinowe [Shen i in., 2025]. Kierunki przyszłych badań nadal będą się skupiały na efektywności poszczególnych pojazdów nisko i zeroemisyjnych, a także na rozwoju infrastruktury niezbędnej do ich obsługi. Dzięki badaniom prowadzonym w różnych państwach łatwiej będzie dokonać porównania uzyskanych wyników, co dotyczy również realizacji badań własnych autora dotyczących m.in. wodoryzacji transportu samochodowego.

Bibliografia

- Alonso-Villar A., Davíðsdóttir B., Stefánsson H., Ásgeirsson E.I., Kristjánsson R. [2023], *Electrication potential for heavy-duty vehicles in harsh climate conditions: A case study based technical feasibility assessment*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 417.
- Alonso-Villar A., Davíðsdóttir B., Stefánsson H., Ásgeirsson E.I., Kristjánsson R. [2022], *Technical, economic, and environmental feasibility of alternative fuel heavy-duty vehicles in Iceland*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 369.
- Arias M.B., Kim M., Bae S. [2017], *Prediction of electric vehicle charging-power demand in realistic urban traffic networks*, „Applied Energy”, vol. 195, s. 738–753.
- Brdulak J., Pawlak P., Krysiuk C., Zakrzewski B. [2014], *Domykanie sieci dróg ekspresowych i autostrad czynnikiem mnożnikowym gospodarczego rozwoju regionów*, „Logistyka”, nr 3, s. 716–722.
- Brdulak J., Florczak E., Krysiuk C., Pawlak P., Zakrzewski B. [2017], *Analiza wpływu zbudowanej infrastruktury drogowej na poziom aktywności ekonomicznej w otaczających jednostkach terytorialnych*, Praca badawcza realizowana w ramach Programu Operacyjnego Pomoc Techniczna nr POPT.02.01.00-00-0021/15-00, pt. *Wsparcie instytucji ds. koordynacji strategicznej Umowy Partnerstwa w latach 2015–2016*, realizowanego dla Ministerstwa Rozwoju.
- Brdulak J., Pawlak P. [2021], *Elektromobilność czynnikiem zmian jakościowych polskiego transportu samochodowego*, „Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie”, nr 58(1).
- Brdulak J., Pawlak P. [2022a], *Międzynarodowe aspekty jakościowych zmian transportu samochodowego związane z elektromobilnością*, „Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie”, nr 66(4).
- Brdulak J., Pawlak P. [2022b], *Zmiany jakościowe infrastruktury drogowej w odniesieniu do modeli ruchu i korzyści lokalizacyjno-ekonomicznych przedsiębiorstw*, „Myśl Ekonomiczna i Polityczna”, nr 74(3).
- Çabukoglu E., Georges G., Küng L., Pareschi G., Boulouchos K. [2018], *Battery electric propulsion: An option for heavy-duty vehicles? Results from a Swiss case-study*, „Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, vol. 88, s. 107–123.
- Elektromobilni.pl [2025], *W 2024 roku liczba stacji ładowania w Polsce wzrosła o ponad połowę*, <https://elektromobilni.pl/w-2024-roku-liczba-stacji-ladowania-w-polsce-wzroslo-o-ponad-polowe/> (dostęp: 10.03.2025).
- EU [2024], *Statistical Pocketbook 2024, EU Transport in figures*, European Union.
- Eurostat [2024], *Stock of passenger cars at regional level*, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Stock_of_vehicles_at_regional_level#Stock_of_passenger_cars_at_regional_level (dostęp: 5.06.2024).
- Executive Magazine.pl [2025], *Rok 2025 będzie należał do LNG i BioLNG? 20 stycznia*, <https://executivemagazine.pl/komentarz-eksperta/rok-2025-bedzie-nalezal-do-lng-i-biolng/> (dostęp: 5.03.2025).
- Fic B. [2019], *Samochody elektryczne*, Kabe.
- Forrest K., Mac Kinnon M., Tarroja B., Samuelson S. [2020], *Estimating the technical feasibility of fuel cell and battery electric vehicles for the medium and heavy duty sectors in California*, „Applied Energy”, vol. 276.
- Frączyk J. [2025], *Już nie przemysł. Mamy inny główny motor polskiej gospodarki*, Business Insider Polska, 25 stycznia, <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/juz-nie-przemysl-mamy-inny-glowny-motor-polskiej-gospodarki/2vc00v7> (dostęp: 10.03.2025).

- GUS [2024], *Transport – wyniki działalności w 2023 r.*, Główny Urząd Statystyczny.
- İmre Ş., Çelebi D., Koca F. [2021], *Understanding barriers and enablers of electric vehicles in urban freight transport: Addressing stakeholder needs in Turkey*, „Sustainable Cities and Society”, vol. 68.
- Kołodko G.W. (red.) [2001], „*Nowa gospodarka*” i jej implikacje dla długookresowego wzrostu w krajach posocjalistycznych, WszPiZ im. Leona Koźmińskiego.
- Kordel Z. (red.) [2019], *Polski transport samochodowy ładunków*, CeDeWu, Warszawa.
- Kwiatkiewicz P., Szczerbowski R., Śledzik W. [2020], *Elektromobilność. Środowisko infrastrukturalne i techniczne wyzwania polityki intraregionalnej*, FNCE.
- Liimatainen H., van Vliet O., Aplyn D. [2019], *The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis*, „Applied Energy”, vol. 236, s. 804–814.
- Łukasiewicz ITECH [2023], *3W: woda, wodór, węgiel. Raport analityczny przedstawiający stan i perspektywy rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce, państwach Trójmorza i na świecie*, Warszawa.
- Menes M. [2021], *Stan i kierunki rozwoju wodoryzacji gospodarki ze szczególnym uwzględnieniem transportu*, WKiŁ.
- Ministerstwo Infrastruktury, projekt zmiany ustawy o drogach publicznych oraz ustawa o autostradach płatnych oraz o Krajowym Funduszu Drogowym (KFD), wdrażającej do polskiego systemu prawnego przepisy dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/362 z dnia 24 lutego 2022 r. w sprawie zmiany dyrektyw 1999/62/WE, 1999/37/WE i (UE) 2019/520 w odniesieniu do pobierania opłat za użytkowanie niektórych typów infrastruktury przez pojazdy.
- Motoryzacja dla profesjonalistów 40 ton.net [2024], *Bio-LNG już na polskiej stacji dla ciężarówek – to alternatywa dla elektryków*, 9 września, <https://40ton.net/bio-lng-juz-na-polskiej-stacji-dla-ciezarowek-to-alternatywa-dla-elektrykow/> (dostęp: 20.02.2025).
- Neso [b.d.], <https://stacjeneso.pl/> (dostęp: 6.08.2025).
- Olesiuk M. [2025], *Toyota wprowadzi nowy napęd. Zastąpi diesla nawet w ciężarówkach*, Interia Motoryzacja, 18 lutego, <https://motoryzacja.interia.pl/wiadomosci/news-toyota-wprowadzi-nowy-naped-zastapi-diesla-nawet-w-ciezarowk,nId,20948572> (dostęp: 20.02.2025).
- Shen C., Fadhil I., Yang Z., Bui A., Negri M., Searle S. [2025], *The global automaker rating 2024/2025. Who is leading the transition to electric vehicles?* International Council on Clean Transportation.
- TLP, ZP, SpotData [2025], *Transport drogowy w Polsce 2024–2025*, Transport Logistyka Polska, Związek Pracodawców „Transport i Logistyka Polska”, Centrum Analiz SpotData, https://tlp.org.pl/wp-content/uploads/2025/01/transport_drogowy_w_polsce_2024_2025-1.pdf (dostęp: 5.03.2025).
- Toyota [2025], *Światowa premiera 3. generacji wodorowych ogniw paliwowych Toyoty*, 18 lutego, <https://www.toyota.pl/swiat-toyoty/nowosci/swiatowa-premiera-trzeciej-generacji-wodorowych-ogniw-paliwowych-toyoty> (dostęp: 5.08.2025).
- Wojewódzka-Król K. [2024], *Innowacje w transporcie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ziółko M., Dziedzic D. (red.) [2024], *Transport drogowy. Wyzwania i innowacje*, CeDeWu, Warszawa.
- ZMPD [2024], *Im wyższe koszty, tym krótsze życie firm transportowych – za nami debata ZMPD podczas targów TransLogistica Poland*, Zrzeszenie Międzynarodowych Przewoźników Drogowych, 15 listopada, https://zmpd.pl/aktualnosc.php?akt_id=2561 (dostęp: 6.03.2025).

