

*Anna Gąsiorek-Kowalewicz*¹

*Andrzej Zarębski*²

*Oskar Suchodolski*³

Ekoinnowacje: przykład inwestycji w bezemisyjny transport w Miejskim Zakładzie Komunikacji Sp. z o.o. w Zielonej Górze

Abstrakt

W artykule omówiono zagadnienia związane z wprowadzeniem pojazdów elektrycznych w transporcie publicznym. Przedstawiono wybrane aspekty prawne zawarte w dokumentach unijnych oraz krajowych dotyczące wdrożenia autobusów z napędem alternatywnym w systemie miejskiej komunikacji. Opisano korzyści wynikające bezpośrednio z eksploatacji tych pojazdów, jak również omówiono wyzwania stojące przed jednostkami wdrażającymi elektryczny tabor, w tym m.in. kwestia potrzeby rozbudowy infrastruktury elektroenergetycznej do ładowania akumulatorów tego typu pojazdów. W artykule zaprezentowano innowacyjne inwestycje oraz zmiany w formie zarządzania w Miejskim Zakładzie Komunikacji Sp. z o.o. w Zielonej Górze (dalej: MZK), które przyczyniły się do znacznego udoskonalenia funkcjonowania przedsiębiorstwa oraz podniesienia standardu świadczonych

¹ Uniwersytet Zielonogórski, e-mail: a.kowalewicz@wez.uz.zgora.pl, <https://orcid.org/0000-0002-3340-9318>

² Politechnika Morska w Szczecinie, e-mail: a.zarebski@pm.szczecin.pl, <https://orcid.org/0000-0003-1702-5442>

³ MZK Sp. z o.o. w Zielonej Górze, Główny specjalista ds. rozkładu jazdy, e-mail: o.suchodolski@mzk.zgora.pl

usług na światowym poziomie, szczególnie pod kątem promowania niskoemisyjnego transportu publicznego oraz koncepcji rozwoju zrównoważonego.

Słowa kluczowe: elektromobilność, transport miejski, autobusy elektryczne, poprawa jakości usług transportowych, niskoemisyjny transport

Kody klasyfikacji JEL: O18, R42, R40

Eco-Innovations as Exemplified by Investments in Emission-Free Transport at Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o. o. in Zielona Góra

Abstract

The article discusses issues related to the introduction of electric vehicles in public transport. It presents selected legal aspects included in the EU and national documents regarding the inclusion of buses with an alternative drive in the public transport system. It describes the benefits resulting directly from the operation of these vehicles as well as the challenges faced by entities using electric rolling stock, including the issue of the need to expand the electricity infrastructure for charging the batteries of this type of vehicles. The article presents innovative investments and changes in the form of management in Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o. o. in Zielona Góra (hereinafter referred to as MZK), which contributed to a significant improvement in the operation of the company and a rise in the standard of services provided at a world-class level, especially in terms of the promotion of low-emission public transport and the concept of sustainable development.

Keywords: electromobility, urban transport, electric buses, improving the quality of transport services, low-emission transport

JEL Classification Codes: O18, R42, R40

Wprowadzenie

Transport publiczny ma istotny wpływ na funkcjonowanie i rozwój miast oraz jakość życia ich mieszkańców. Systemy transportu miejskiego powinny gwarantować łatwość, efektywność i bezpieczeństwo podróży, a rozwój tych systemów powinien być zrównoważony. Według danych udostępnionych przez Wydział Ludności Departamentu Spraw Gospodarczych i Społecznych Organizacji Narodów Zjednoczonych, obecnie 55% światowej populacji mieszka w obszarach miejskich, a prognozy mówią,

że ten odsetek wzrośnie do 68% do roku 2050. Rosnąca liczba ludności w miastach powoduje wzmożony ruch związany z dostawami towarów oraz świadczeniem usług w miastach (Iwan *et al.*, 2021). Coraz większe zapotrzebowanie na transport skutkuje przeludnieniem ulic, większym zużyciem energii oraz zwiększoną emisją szkodliwych substancji do atmosfery.

Emisja szkodliwych substancji przez środki transportu używane w podróżach miejskich przyczynia się do efektu cieplarnianego na Ziemi, zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez Bohdal *et al.* (2011, 2015). Miasta w Europie, podobnie jak wiele innych regionów, stoją przed wieloma wyzwaniami związanymi z redukcją emisji szkodliwych substancji. W 2020 r. europejski sektor transportu odpowiadał za 28% całkowitej emisji CO₂ w UE, z czego 73% pochodziło z transportu samochodowego (Greenhouse Gas..., 2023). Wpływ transportu na środowisko nie ogranicza się jedynie do emitowania zanieczyszczeń do atmosfery w wyniku spalania konwencjonalnych paliw, ale obejmuje również emisję substancji szkodliwych do gleby, wody i generowanie hałasu.

Rozpowszechnienie masowej motoryzacji, związanej z postrzeganiem samochodu jako dostępnego dla wszystkich dobra, prowadzi również do spowolnienia prędkości poruszania się w miastach. Ważnym aspektem jest również zajmowanie deficytowej miejskiej przestrzeni przez parkujące samochody. Wyzwaniem dla mobilności jest zatem dążenie do redukcji liczby podróży, zwłaszcza realizowanych indywidualnym transportem (Kauf, 2018). Zrównoważona mobilność miejska umożliwia podróżowanie do celu w sposób łatwy, wygodny, ekonomiczny i dostępny przestrzennie, minimalizując jednocześnie negatywny wpływ na środowisko i innych ludzi (Lam, Head, 2012: 359).

W celu zwiększenia poziomu zrównoważenia w komunikacji miejskiej niezbędne jest rozwijanie infrastruktury oraz wprowadzenie różnorodnych opcji transportowych wewnątrz miasta. Zmiany dotyczące sposobu poruszania się powinny być skierowane na uczynienie go bardziej płynnym, innowacyjnym, efektywnym i przyjaznym dla środowiska (Giagnorio *et al.*, 2024).

W ramach „Europejskiej strategii dla mobilności niskoemisyjnej” z 2016 roku zidentyfikowano trzy kluczowe obszary działań w transporcie: usprawnienie i podniesienie efektywności systemu transportowego, zwiększenie wykorzystania energii o niskiej emisji oraz promowanie pojazdów nieemitujących zanieczyszczeń wśród wszystkich typów pojazdów (European Commission, 2016a). Warto podkreślić, że przyjęcie technologii nieemitujących zanieczyszczeń, szczególnie w przypadku autobusów miejskich, jest kluczowym elementem tych działań.

Przegląd literatury

Zrównoważony transport, który nie stanowi zagrożenia dla zdrowia publicznego ani ekosystemów, zaspokaja potrzeby dostępu, jest zgodny z wykorzystaniem odnawialnych zasobów na poziomie nieprzekraczającym ich zdolności regeneracji, a także korzysta z zasobów nieodnawialnych, nie przewyższając możliwości rozwoju odnawialnych alternatyw, jest kluczowym składnikiem zrównoważonej mobilności (Zou et al., 2021). Elementy nowoczesnej polityki zrównoważonej mobilności miejskiej mogą obejmować (Kowalski et al., 2017; Połom, 2020; Bielińska-Dusza et al., 2020; Russo i Comi, 2012; Ebenezer et al., 2021; Bielski i Bednarczyk, 2020; Netzer et al., 2022): efektywne zarządzanie przestrzenią miejską, promowanie transportu publicznego, rozwój infrastruktury dla ruchu pieszego i rowerowego, a także wsparcie dla nowych technologii i innowacji, w tym rozwój transportu elektrycznego.

Obecnie priorytetem polityki transportowej Unii Europejskiej jest promowanie transportu miejskiego o napędzie alternatywnym jako skutecznego środka w walce z problemami kongestii i zanieczyszczenia środowiska.

Zagadnienia te są poruszane od wielu lat i odzwierciedlane w dokumentach politycznych Unii Europejskiej. Wśród najistotniejszych dokumentów UE można wymienić (Zawieska, Pieriegud, 2018):

- „Pakiet klimatyczno-energetyczny” oraz strategia „Europa 2020” na rzecz inteligentnego, zrównoważonego rozwoju gospodarczego, który sprzyja integracji społecznej, zostały przyjęte w 2010 roku (European Commission, 2010).
- „Plan działania mający na celu stworzenie konkurencyjnej, niskoemisyjnej gospodarki do roku 2050”, jak również Biała Księga dotycząca transportu, która zakłada zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 80–95% do 2050 roku i cel 60% redukcji emisji z transportu w stosunku do 1990 roku (European Commission, 2011; Kallas, 2011).
- „Europejska Strategia na rzecz Mobilności Niskoemisyjnej” wyróżnia trzy kluczowe obszary działania, promując rozwój alternatywnych, niskoemisyjnych źródeł energii w transporcie, eliminację przeszkód dla elektromobilności oraz przejście na pojazdy elektryczne (European Commission, 2016a).
- Inicjatywa „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków” Komisji Europejskiej podkreśla potrzebę tworzenia unii energetycznej i infrastruktury elektroenergetycznej w UE (European Commission, 2016b).
- „Pakiet mobilności miejskiej” z grudnia 2013 roku oraz Plany Zrównoważonej Mobilności Miejskiej (SUMP) proponują istotne zmiany w planowaniu i zarzą-

dzaniu mobilnością miejską, z naciskiem na inteligentne strategie ograniczenia ruchu do centrów miast (Tundys i Wiśniewski, 2023).

Wśród polskich regulacji prawnych za najistotniejsze w rozwoju elektromobilności należy uznać: Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce „Energia do przyszłości” (*Electromobility Development...*) wydany przez Ministerstwo Energii, przyjęty przez rząd 16 marca 2017 r., oraz Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z 11 stycznia 2018 r. (Ustawa..., 2018).

Zgodnie z „Polityką Energetyczną Polski do 2040 roku” od 2025 roku wszystkie przetargi na autobusy w miastach liczących ponad 100 tysięcy mieszkańców będą dotyczyć jedynie pojazdów zeroemisyjnych i niskoemisyjnych, takich jak autobusy elektryczne i na wodór. Pierwszym krokiem w kierunku rozwijania publicznego transportu zbiorowego bez emisji w Polsce, poprzez wprowadzenie specyficznych regulacji prawnych, była Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych, która weszła w życie 22 lutego 2018 roku. Na mocy art. 36 ust. 1 tej ustawy, od 1 stycznia 2028 roku, samorządy terytorialne, z wyjątkiem tych, w których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000, muszą świadczyć lub zlecać usługi komunikacji miejskiej takim operatorom, którzy zapewniają, że przynajmniej 30% ich floty stanowią autobusy zeroemisyjne lub napędzane biometanem (Ustawa..., 2018).

Zważywszy na fakt, że ponad 60% populacji Unii Europejskiej zamieszkuje w miastach, które generują niemal 85% PKB, oraz że około 40% całkowitej emisji CO₂ związanej z transportem drogowym ma miejsce w obszarach miejskich, a co trzeci śmiertelny wypadek drogowy również ma miejsce w tych regionach, zrównoważona mobilność miejska stała się kluczowym elementem zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej. Według wyliczeń British Petroleum, jeśli wydobycie ropy naftowej utrzyma się na dotychczasowym poziomie, jej zasoby skończą się ok. 2050 roku (BP Energy Outlook, 2017). Obecnie energia elektryczna uchodzi za najbardziej przyjazne dla środowiska źródło energii. Przy podróży samochodem elektrycznym w Unii Europejskiej średnia emisja dwutlenku węgla wynosi około 78 gramów na kilometr, w przeciwieństwie do pojazdów spalinowych, gdzie średnia to 185 gramów na kilometr (Gao i Zhu, 2022).

Miejskie przedsiębiorstwa transportowe ustalają strategie rozwoju, które obejmują działania ekologiczne. Do takich działań zalicza się odnowienie floty pojazdów na takie, które odpowiadają najnowszym normom emisyjnym, oraz wprowadzanie metod zmniejszających zużycie energii i surowców. Wzrost liczby pojazdów elektrycznych i rozwój wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, takich jak wiatr czy słońce, może przyczynić się do jeszcze większego zmniejszenia emisji CO₂. Zastosowanie napędu elektrycznego prowadzi do uniezależnienia

transportu publicznego od konieczności korzystania z tradycyjnych paliw, takich jak olej napędowy czy gaz ziemny.

Metropolie uznają rozwój ekologicznego transportu jako główny instrument w walce z zanieczyszczeniem powietrza. W Unii Europejskiej autobusy miejskie i podmiejskie odpowiadają za 55,7% wszystkich podróży realizowanych za pomocą transportu publicznego, co przekłada się na 32,1 miliarda pasażerskich podróży rocznie (ACEA, 2022). Autobusy pełnią kluczową rolę w systemie transportu multimodalnego i są istotnym elementem w dążeniu do zrównoważonego rozwoju polityki transportowej. Według raportu Bloomberg New Energy Finance (Liebreich, 2013) liczba autobusów z napędem elektrycznym wzrosła z 386 tysięcy sztuk w 2017 roku do około 1,2 miliona w 2025 roku. Według prognoz udział zelektryfikowanych autobusów w globalnej flocie powinien osiągnąć 47%.

Autobusy o napędzie elektrycznym cechują się wysoką efektywnością, brakiem emisji szkodliwych substancji w miejscu eksploatacji, małą emisją hałasu oraz niższymi kosztami eksploatacji (dzięki niższym cenom energii elektrycznej w porównaniu z cenami oleju napędowego). Z drugiej strony do ich głównych wad należą (Markusik et al., 2015):

- wyższe koszty zakupu w porównaniu z pojazdami konwencjonalnymi;
- potrzeba budowy dodatkowej infrastruktury, takiej jak stacje ładowania czy punkty wymiany baterii w zajezdniach i na wybranych przystankach;
- ograniczony zasięg działania, który może nie wystarczać do wykonania wszystkich zadań transportowych w różnych warunkach pogodowych i terenowych;
- ograniczenia związane z dostępnością mocy w sieci energetycznej.

Metodologia badań

Niniejszy artykuł dotyka tematyki niezwykle ważnej i aktualnej. Jego głównym założeniem jest zbadanie oraz omówienie wpływu, jaki niesie za sobą wprowadzenie autobusów o zerowej emisji w miejskim transporcie publicznym, na przykładzie miasta Zielona Góra.

Z określonego zakresu tematycznego badań wyłoniły się następujące pytania badawcze:

- W jakim zakresie Miejski Zakład Komunikacji (MZK) w Zielonej Górze spełnia cele określone w ustawie o elektromobilności?
- Jaka jest jakość programów rządowych wspierających zakup taboru dla transportu publicznego, szczególnie autobusów elektrycznych, w kontekście rozwoju systemu transportu elektrycznego?

- Czy ekoinnowacje wprowadzone przez MZK w Zielonej Górze mogą być z powodzeniem implementowane w innych częściach Polski?

W artykule sformułowano dwie hipotezy:

Hipoteza 1: Autobusy elektryczne stanowią kluczowe narzędzie do zmniejszania zewnętrznych kosztów generowanych przez miejski transport publiczny.

Hipoteza 2: Pełne korzyści z elektromobilności w Polsce, wynikające z wdrożenia autobusów zeroemisyjnych w miejskim transporcie, zależą od równoczesnych działań na rzecz dywersyfikacji źródeł energii w Polsce, w tym od zwiększenia wykorzystania Odnawialnych Źródeł Energii (OZE).

Programy rządowe wspierające zakup taboru zero- i niskoemisyjnego

Wprowadzenie elektromobilności w zbiorowym transporcie wymaga wspólnego zaangażowania administracji państwowej, firm, jednostek samorządowych, ponieważ w obecnej fazie rozwoju tej technologii jej koszty są na tyle wysokie, że nie można jej efektywnie regulować wyłącznie za pomocą mechanizmów rynkowych.

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych nie przewiduje bezpośredniego wsparcia finansowego dla jednostek samorządu terytorialnego na zakup pojazdów elektrycznych. Jednakże, samorządy mogą korzystać z dostępnych środków unijnych oferowanych przez programy operacyjne oraz z krajowych funduszy w formie dotacji, które są przeznaczone na rozwój infrastruktury ładowania dla publicznego transportu drogowego i stacji ładowania pojazdów elektrycznych (Lissoń, 2019). Zakup taboru niskoemisyjnego jest wspierany przez bezzwrotne dopłaty, które zwiększają rentowność inwestowania w nowe technologie.

Operatorzy i organizatorzy publicznego transportu zbiorowego (PTZ) mogą pozyskiwać środki finansowe na wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, w tym zakup taboru niskoemisyjnego. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) od 2021 roku realizuje priorytetowy program „Zielony transport publiczny”, którego celem jest uniknięcie emisji zanieczyszczeń powietrza poprzez dofinansowanie przedsięwzięć polegających na obniżeniu wykorzystania paliw emisyjnych w transporcie. Fundusz udziela wsparcia finansowego m.in. na zakup taboru autobusowego oraz trolejbusowego i modernizację infrastruktury, budowę punktów ładowania i sieci trakcyjnych.

Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT) realizuje nabory wniosków o dofinansowanie w ramach Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO) w komponencie E: Zielona, inteligentna mobilność dla inwestycji

„Zeroemisyjny transport zbiorowy w miastach”. Maksymalny poziom wsparcia dla przedsięwzięcia, udzielanego w formie dotacji bezzwrotnej, wynosi 85% wydatków kwalifikowalnych. Programy rządowe wspierające zakup taboru dla transportu publicznego, w tym autobusów elektrycznych, mają kluczowe znaczenie dla rozwoju elektromobilności i transformacji transportu w Polsce. W wielu przypadkach dotacje pokrywają znaczną część kosztów inwestycji, co umożliwia miastom, zwłaszcza mniejszym, unowocześnianie floty.

Wskazane źródła finansowania, które miały zrekompenzować wyższe koszty zakupu pojazdów zeroemisyjnych⁴, okazały się niewystarczające w stosunku do rzeczywistych potrzeb. Potwierdzają to badania Najwyższej Izby Kontroli (2023), z których wynika, że mniej niż jedna czwarta skontrolowanych jednostek samorządu terytorialnego (JST) osiągnęła ustawowe cele dotyczące proporcji pojazdów elektrycznych we flotach samochodowych. Wśród głównych problemów wdrażania transportu niskoemisyjnego przedstawiciele JST wskazują: brak finansowych korzyści płynących z przejścia na transport zeroemisyjny, ze względu na wysokie koszty zakupu pojazdów; ograniczoną dostępność wsparcia finansowego dla rozwoju elektromobilności; wysokie koszty kredytowania zakupów tego rodzaju; oraz szybko rosnące ceny energii elektrycznej, co prowadzi do wzrostu kosztów operacyjnych dla przewoźników miejskich (NIK, 2023: 61).

Inwestycje w transport bezemisyjny – przykład miasta Zielona Góra

Jednym z wielu polskich miast, które doświadczają rosnącego zainteresowania autobusami elektrycznymi, jest Zielona Góra. Zapewnienie najwyższej jakości miejskiej komunikacji wymaga ciągłych inwestycji oraz adaptacji pojazdów i infrastruktury do aktualnych wymagań (Korneć, 2018).

Kluczowe inwestycje ekologiczne przeprowadzone przez Miasto Zielona Góra w zakresie transportu publicznego zostały zrealizowane w ramach projektu pn. „Poprawa efektywności komunikacji miejskiej w Zielonej Górze”, finansowanego ze środków unijnego Funduszu Spójności w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2004–2020 i obejmowały m.in.: odnowienie floty autobusowej, modernizację infrastruktury elektrycznej, rekonstrukcję pętli autobusowych,

⁴ Zakup autobusu elektrycznego zasilanego baterią jest średnio od 2 do 2,5 razy droższy niż odpowiednik z silnikiem spalinowym (napędzanym olejem napędowym lub gazem ziemnym) oraz od 1,5 do 2 razy droższy niż autobus z napędem hybrydowym. Ta struktura cenowa nie uległa znacznym zmianom w ciągu ostatnich kilku lat (NIK, 2023: 64).

stworzenie centrum przesiadkowego oraz zakup specjalistycznego oprogramowania do wsparcia zarządzania. Celem tych przedsięwzięć było: zredukowanie negatywnego wpływu transportu publicznego na środowisko, obniżenie emisji CO₂ i poziomu hałasu, zmniejszenie kosztów funkcjonowania autobusów, a także podniesienie poziomu bezpieczeństwa i komfortu korzystania z komunikacji miejskiej (MZK, 2023).

Od roku 2018 Przedsiębiorstwo Komunikacji Miejskiej (MZK) systematycznie przeprowadza proces wymiany swojego taboru na autobusy elektryczne. Zakup autobusów o napędzie elektrycznym został zrealizowany w trzech etapach.

W pierwszym przetargu w 2017 roku jako wykonawcę wyłoniono firmę Ursus Bus SA, która dostarczyła 43 z 47 zamówionych pojazdów elektrycznych. Te autobusy wyposażono w baterie o pojemności 90 kWh, umożliwiające przejazd około 50 kilometrów według standardu SORT-2. Posiadają one również klimatyzację oraz hybrydowy system ogrzewania, który może być zasilany zarówno olejem opałowym, jak i energią elektryczną, w zależności od stanu naładowania baterii i temperatury zewnętrznej. W tym samym okresie zrealizowano również przetarg na 17 spaliniowych autobusów przegubowych o dużej pojemności, spełniających normę emisyjną EURO6, dostarczonych przez Evobus Polska Sp. z o.o. pod marką Mercedes-Benz.

W 2022 roku kolejne zakupy autobusów elektrycznych obejmowały osiem 12-metrowych autobusów od Solaris Bus & Coach Sp. z o.o. oraz cztery elektryczne autobusy przegubowe od Evobus Polska Sp. z o.o. Te nowsze pojazdy mają baterie o większej pojemności, odpowiednio 120 kWh i 258 kWh, co pozwala na przejechanie około 100 km na jednym ładowaniu. Dodatkowo, zainstalowano w nich pompy ciepła, które są bardziej efektywne energetycznie niż tradycyjne systemy klimatyzacji.

W ramach kolejnego, trzeciego, projektu zakupiono pięć 10-metrowych autobusów ARP Pilea. Charakteryzują się one innowacyjną konstrukcją, bowiem jest to pierwszy na rynku europejskim autobus, który posiada baterie w podłodze, w przeciwieństwie do konkurencyjnych modeli, a sam pojazd został zaprojektowany wyłącznie jako autobus elektryczny.

Obecnie flota MZK liczy 91 pojazdów, z czego 69 to autobusy elektryczne, obsługujące łącznie 27 tras komunikacyjnych. Zatem ponad 75% taboru stanowią autobusy zeroemisyjne. MZK Zielona Góra w pełni spełnia cel określony w Ustawie o elektromobilności. Tak znaczna elektryfikacja taboru miejskiego przyczyniła się do znaczącego ograniczenia emitowania spalin do powietrza i hałasu do środowiska ze strony transportu publicznego. W planach MZK jest zwiększenie udziału pojazdów zeroemisyjnych do 100% całej floty do roku 2028 (MZK, 2023).

Konwencjonalnie zasilany autobus może operować przez cały dzień bez konieczności tankowania. W przypadku pojazdów elektrycznych stacje ładowania wymagają dużych i kosztownych baterii oraz nie zawsze gwarantują wystarczający zasięg

(Bakker i Konings, 2018). Co więcej, ładowanie pojazdów na trasie może pomóc w zniwelowaniu ograniczeń zasięgu, ale towarzyszą mu pewne trudności techniczne, takie jak problemy z wydajnością sieci i brak standardów (Bakker i Konings, 2018; Bloomberg New Energy Finance, 2018). Dodatkowo, infrastruktura ładowania i podstacje transformatorowe wymagają przestrzeni, co stanowi wyzwanie szczególnie w obszarach miejskich. Dlatego konieczne jest dostosowanie wyboru technologii ładowania do trasy i lokalnych warunków. Inne podejścia do rozwiązania problemów związanych z ładowaniem i przepustowością sieci obejmują strategiczne rozmieszczenie magazynów, chociaż może to być trudne w obszarach miejskich (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

Sposób ładowania autobusu elektrycznego jest kluczowy dla efektywnej operacyjności pojazdu. Wszystkie dostarczone autobusy posiadają pantograf, który umożliwia ładowanie pojazdu podczas jazdy, oraz złącze typu plug-in, służące do ładowania autobusu w nocy.

Najczęściej do ładowania taboru autobusów w Zielonej Górze wykorzystuje się pantografy, które również umożliwiają zautomatyzowany proces ładowania autobusu podczas postoju (rysunek 1). Na terenie miasta rozmieszczonych jest 12 stacji. Ładowarki posiadają moc 200–400 kW, co pozwala na całkowite naładowanie w czasie nieprzekraczającym 20 minut.

Rysunek 1. Ładowanie autobusów na terenie jednej z zajezdni



Źródło: materiały MZK Zielona Góra.

Autobusy mogą być również ładowane za pomocą metody plug-in (rysunek 2), która polega na podłączeniu za pomocą przewodu z wtyczką gniazda baterii z ładowarką. MZK w zajezdni autobusowej posiada 25 dwustanowiskowych ładowarek o mocy 80 kW. Ten proces ładowania jest niezbędny do zachowania właściwości baterii poprzez ich balansowanie – tj. wyrównania stanu naładowania poszczególnych ogniw w baterii. Oba sposoby ładowania są zgodne ze standardem OCPP (*Open Charge Point Protocol*).

Rysunek 2. Ładowarka wolnego ładowania



Źródło: materiały MZK Zielona Góra.

W ramach inwestycji w transport bezemisyjny przebudowano zajezdnię i postawiono nowe obiekty kubaturowe (halę obsługi autobusów, wiatę do garażowania). Nowa zajezdnia jest całkowicie zasilana z prądu produkowanego przez zlokalizowaną bezpośrednio przy zajezdni Elektrociepłownię „Zielona Góra” SA, wytwarzającą ciepło i energię elektryczną w oparciu o krajowy gaz ziemny (Zarębska et al., 2019: 6). Na konstrukcji wiaty dla autobusów zainstalowano farmę fotowoltaiczną o mocy 504 kWp. Instalacja pozwala na wytworzenie energii, która pokrywa zapotrzebowanie zajezdni w około 65% (rysunek 3).

Realizacja inwestycji w postaci farmy fotowoltaicznej znacząco zwiększyła efektywność energetyczną miejskiego transportu publicznego. Umożliwienie ładowania autobusów energią pozyskaną z alternatywnych źródeł, takich jak energia słoneczna, w porównaniu do tradycyjnego zasilania z elektrociepłowni, przyczynia się do redukcji globalnego zapotrzebowania na energię wykorzystywaną w transporcie. W zakresie

OZE plany miejskiego operatora transportu zbiorowego zakładają również budowę farm fotowoltaicznych w obrębie wszystkich pętli, na których zlokalizowane są stacje ładowania, a także budowę magazynów energii. W zajezdni wykorzystuje się również wodę opadową do mycia autobusów w obiegu zamkniętym.

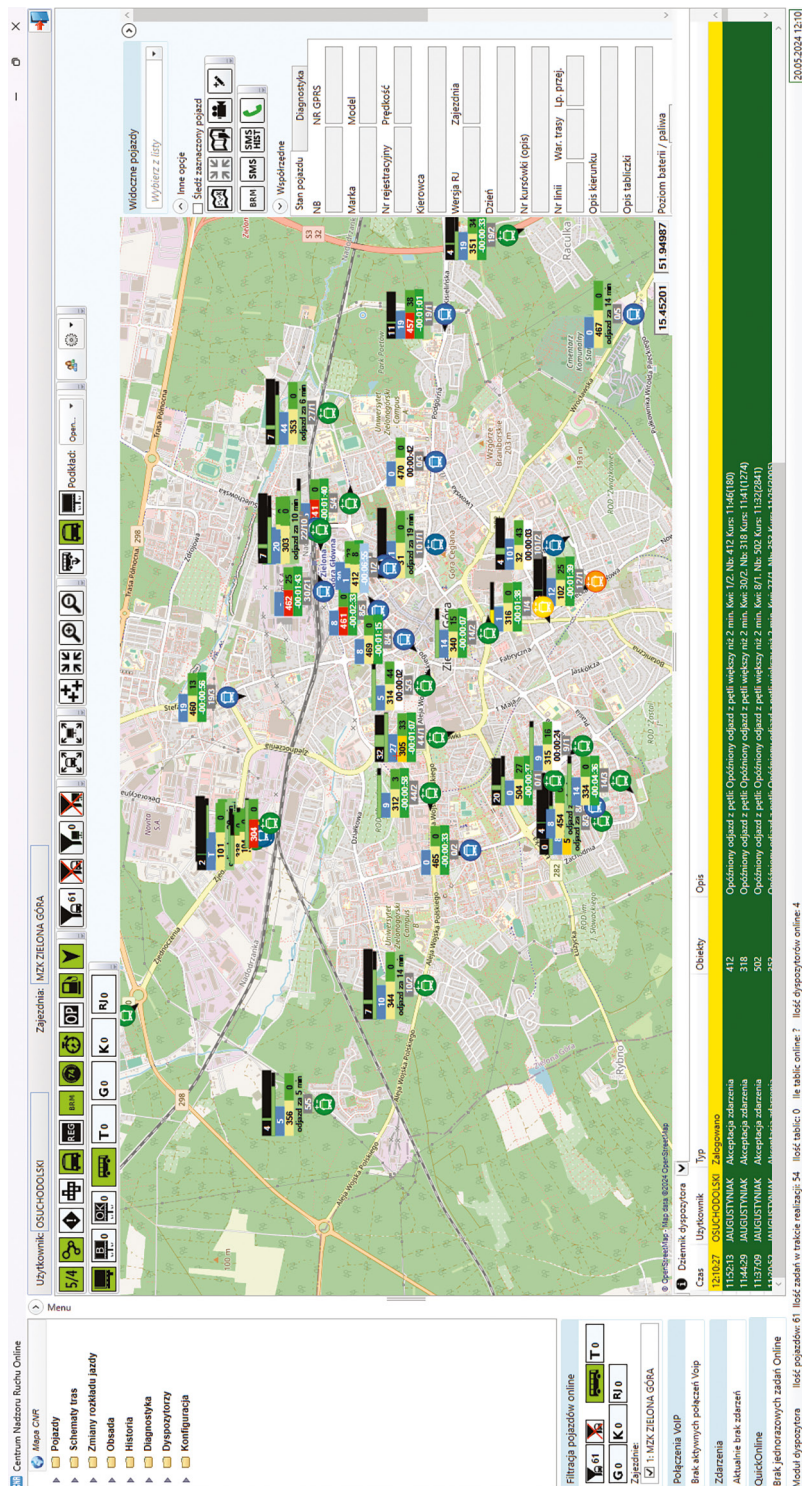
Rysunek 3. Wiata z panelami słonecznymi na placu postojowym



Źródło: materiały MZK Zielona Góra.

We wdrożeniu transportu bezemisyjnego wykorzystywane jest również specjalistyczne oprogramowanie stosowane do zarządzania flotą autobusów elektrycznych i monitorowania stanu naładowania ich baterii trakcyjnych. Umożliwia ono kontrolę mocy ładowania, nadzór nad stanem ładowarek, zdalną diagnostykę oraz przegląd danych dotyczących zakończonych sesji ładowania. Bardzo przydatnym narzędziem w zarządzaniu flotą jest mapa (rysunek 4), która pokazuje nie tylko aktualną lokalizację pojazdu, ale również informacje o stanie naładowania baterii i ewentualnych opóźnieniach w stosunku do planowanego rozkładu jazdy. Operator w centrali nadzoru ruchu MZK może dzięki temu efektywnie monitorować sytuację i podejmować działania zapobiegawcze, takie jak wysłanie autobusu zastępczego lub regulację mocy ładowania, aby zapewnić płynność rozkładu jazdy.

Rysunek 4. Mapa w Centrum Nadzoru Ruchu MZK



Źródło: materiały MZK Zielona Góra.

Tworzenie rozkładów jazdy to skomplikowany proces obejmujący kilka etapów. Kluczowe elementy obejmują kompleksową koordynację czasów odjazdów w różnych częściach sieci komunikacyjnej, jednolite interwały między kursami, dobór wielkości pojazdów do liczby korzystających z nich pasażerów oraz maksymalizację udziału autobusów elektrycznych w realizacji przewozów. Ważnym aspektem jest również uwzględnienie przepisów dotyczących czasu pracy kierowców. Stacje ładowania rozmieszczone są na 12 pętlach autobusowych. Projekt rozkładu jazdy i tras linii uwzględnia, aby przerwy w pracy kierowców miały miejsce głównie na pętlach z ładowarkami, co umożliwia efektywne ładowanie baterii trakcyjnych. Od kierowców wymaga się wykorzystywania każdej, nawet krótkiej przerwy na doładowanie baterii. W procesie projektowania rozkładu jazdy wykorzystywane jest wyspecjalizowane oprogramowanie do zarządzania siecią komunikacji miejskiej BusMan w najnowszej wersji 240 uwzględniającej eksploatację autobusów elektrycznych. Dane w programie dzielą się na: topograficzne (przystanki, zespoły przystankowe, odcinki), sieciowe (połączenia między przystankami, odległości, czasy międzyprzystankowe w podziale na rodzaje i pory dnia) i liniowe (trasy, rozkłady jazdy, zadania, zmiany). Przyjęcie przez operatora części obowiązków organizacyjnych, szczególnie w zakresie tworzenia rozkładów jazdy, umożliwiło wprowadzenie w Zielonej Górze „Zintegrowanego systemu niskoemisyjnego transportu publicznego” na skalę dotąd nieobserwowaną w Polsce. Projekt ten obejmuje cały system autobusów elektrycznych, zamiast pojedynczej linii czy obszaru. Połączenie wiedzy technicznej dotyczącej eksploatacji autobusów elektrycznych, elastyczność w rozwiązywaniu pojawiających się wyzwań oraz uwzględnienie potrzeb mieszkańców, wsparte wieloletnim doświadczeniem w planowaniu transportu w mieście, przyczyniły się do zrealizowania tego innowacyjnego projektu.

Kolejnymi ważnymi elementami infrastruktury komunikacyjnej są centrum przesiadkowe Zielona Góra oraz dworzec kolejowy. W roku 2022 zostały zakończone prace mające na celu połączenie tych dwóch obiektów w jeden nowoczesny i funkcjonalny dworzec.

Centrum umożliwia łatwe przesiadki między różnymi liniami autobusowymi oraz na pociągi regionalne i długodystansowe. Kompleks zawiera cztery perony z ośmioma stanowiskami przystankowymi, jest całkowicie zadaszony i bezpośrednio połączony z peronami na stacji Zielona Góra Główna. Centrum przesiadkowe codziennie obsługuje około 16 tysięcy pasażerów. Od momentu wprowadzenia do eksploatacji autobusy elektryczne pokonały ponad 16 milionów kilometrów. Są one wyposażone w szereg czujników i urządzeń elektronicznych, jednak ich niezawodność nie odbiega od pojazdów spalinyowych. W weekendy po ulicach Zielonej Góry kursują wyłącznie autobusy elektryczne.

W 2022 roku władze Zielonej Góry zdecydowały się również na poszerzenie taboru o trzy małe elektryczne autobusy miejskie typu Karsan e-Jest. Te pojazdy, o długości 5,8 metra, są w stanie przewieźć 21 pasażerów. Dodanie nowych jednostek do systemu transportu publicznego jest odpowiedzią na istniejące wyzwania komunikacyjne, które nasiliły się wraz z finalizacją rozbudowy miejskiego parkingu z 180 do 433 miejsc oraz utworzeniem na jego dachu przestrzeni rekreacyjnej. Antycypacja wzrostu ruchu samochodowego w rejonie nowego, większego parkingu była głównym motywatorem do rozważenia alternatywnych środków komunikacji, mających na celu usprawnienie przepływu ruchu w mieście.

Niewielkie gabaryty tego środka transportu pozwalają na dotarcie do miejsc, które dotąd były niedostępne dla konwencjonalnej komunikacji miejskiej. Stare Miasto Zielonej Góry, z jego siecią wąskich uliczek, obecnie doświadcza intensywnego ruchu samochodowego, głównie ze strony turystów szukających miejsc parkingowych jak najbliżej centrum. Wprowadzenie linii „Parkuj i Jedź” (P+R), umożliwiającej dojazd bezpośrednio do starówki, znacząco przyczyniło się do ograniczenia ruchu samochodowego w tych rejonach. Ponadto trasa linii minibusowej została poprowadzona przez wykluczone dotąd (pod względem dostępności do transportu publicznego) osiedla. Inną zaletą wykorzystania „minibusów” jest ich zastosowanie na liniach nocnych, które cieszą się mniejszym zainteresowaniem w porównaniu do linii dziennych.

Wykorzystanie taboru elektrycznego przyczynia się do redukcji kosztów eksploatacyjnych. Na podstawie przeprowadzonych analiz MZK (2023) można stwierdzić, że niższe (o około 30%) są koszty części i materiałów. Wynika to z faktu, że nowe pojazdy rzadziej ulegają awariom, ale także posiadają mniej podzespołów, które wymagają kosztownych napraw, bo paradoksalnie są prostsze w budowie. W efekcie liczba roboczogodzin napraw jest proporcjonalnie mniejsza. Koszt zużycia energii elektrycznej do przejechania jednego kilometra to kwota 1,10 zł, natomiast oleju napędowego 1,55 zł.

Zewnętrzne koszty generowane przez transport można rozpatrywać w wielu aspektach, z których nie każdy jest mierzalny. Zeroemisyjny transport z pewnością ogranicza hałas i emisję szkodliwych zanieczyszczeń (w miejscu eksploatacji), ale powoduje konieczność wykorzystania energii elektrycznej, która powinna być także wyprodukowana w sposób zrównoważony i najlepiej z odnawialnych źródeł energii. Dotychczas eksploatowane autobusy spalinowe emitowały hałas na poziomie 92 dB, wprowadzone autobusy elektryczne – 70 dB (MZK, 2023). Obecnie stosowane silniki elektryczne, w porównaniu do silników spalinowych, niemal nie emitują słyszalnego hałasu, natomiast pozostaje emisja hałasu wynikająca z toczenia się kół, pracy różnorodnych urządzeń pokładowych – szczególnie wentylatorów w układach

chłodzenia – oraz pracy konstrukcji nadwozia. Ze względu na zmniejszony poziom hałasu cichsze autobusy elektryczne przyczyniają się do spokojniejszego życia w środowisku miejskim, zwłaszcza na obszarach gęsto zaludnionych.

Ograniczenie tych czynników wpływa na stan zdrowia mieszkańców danego obszaru i jakość ich życia. W cyklu życia autobusów elektrycznych należy mieć na uwadze konieczność wymiany baterii. Ewentualna utylizacja z pewnością będzie miała koszt środowiskowy, ale pojawiają się takie możliwości jak wykorzystanie jej jako magazynu energii dla energii elektrycznej wyprodukowanej z paneli fotowoltaicznych.

Autobusy elektryczne same w sobie nie emitują zanieczyszczeń w miejscu użytkowania (tzw. „emisje lokalne”), jednak pełna korzyść z ich wdrożenia zależy od tego, jak „czysta” jest energia elektryczna używana do ich ładowania. MZK Zielona Góra w perspektywie kilku najbliższych lat ma w planach całkowite uniezależnienie się od zewnętrznych źródeł energii. Farma fotowoltaiczna na terenie zajezdni jest już użytkowana, a spółka jest w przededniu ogłoszenia przetargu na budowę farm fotowoltaicznych wraz z magazynami energii w pobliżu pętli autobusowych. Docelowo cały tabor ma składać się z autobusów zeroemisyjnych i być zasilany „zieloną energią”. Dywersyfikacja źródeł energii zwiększa także bezpieczeństwo energetyczne miasta, które nie jest uzależnione od ewentualnych dostaw paliw kopalnych służących zasilaniu elektrowni, co jest ważne w czasach zmieniających się warunków geopolitycznych. Uniezależnienie od dostaw energii od zewnętrznych podmiotów ogranicza także ryzyko gwałtownego wzrostu kosztów eksploatacji w przypadku wahań cen energii elektrycznej. To ważne w kontekście stabilności ekonomicznej przedsiębiorstwa oraz miasta.

Inwestycje proekologiczne przynoszą wymierne korzyści nie tylko w aspekcie ekonomicznym, poprzez efektywniejsze wykorzystanie taboru, ale także w sferze ekologicznej, poprzez redukcję emisji CO₂, oraz społecznej, zwiększając zadowolenie pasażerów. Wzrost liczby pasażerów o 25% w porównaniu do lat 2013–2023 (MZK, 2023), a także oszczędności w zużyciu wody i energii, to jedne z wielu pozytywnych rezultatów tych działań.

Podsumowanie

Innowacje mogą przyspieszyć wprowadzanie idei elektromobilności, zerowej emisji i dekarbonizacji, jednak wymaga to równoczesnego rozwoju różnych aspektów infrastruktury. Ochrona środowiska stanowi kluczowy cel globalnych strategii miejskich, przy czym mobilność o niskiej emisji odgrywa istotną rolę w przejściu do gospodarki cyrkularnej. Taka gospodarka nie tylko realizuje założenia polityczne,

ale również w pełni odpowiada na ludzkie potrzeby mobilności i transportu towarów w sposób holistyczny, systemowy i zintegrowany.

Wydaje się nieuniknionym, że cały publiczny transport miejski zostanie zelektryfikowany, co prowadzi do konieczności wymiany konwencjonalnych autobusów na pojazdy zasilane elektrycznie. To ogromne wyzwanie, przed którym stanie wiele miast w Polsce i Europie, które będą musiały podjąć działania w celu wprowadzenia taboru elektrycznego do systemu transportu publicznego. Pod koniec maja 2024 roku rząd przyjął przygotowany przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska projekt ustawy o zmianie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Zgodnie z projektem miasta powyżej 100 tys. mieszkańców mają być zobligowane, od 1 stycznia 2025 r., do nabywania wyłącznie autobusów lub trolejbusów zeroemisyjnych do komunikacji miejskiej (Kancelaria Prezesa Rady Ministrów, 2024).

Zielona Góra była jednym z miast, które zapoczątkowały ewolucję elektromobilności drugiej generacji w transporcie publicznym w polskich miastach (Taczanowski et al., 2018). Efektem tych działań jest nie tylko poprawa jakości świadczonych usług, ale także redukcja emisji szkodliwych substancji do atmosfery oraz zmniejszenie negatywnego wpływu transportu publicznego na środowisko naturalne. MZK w Zielonej Górze stało się pionierem w dziedzinie niskoemisyjnego transportu publicznego, jednocześnie promując zrównoważony rozwój miasta i regionu. W Polsce w 2022 roku, zgodnie z badaniami BGK (2023), przeprowadzonymi wśród samorządów objętych Ustawą o elektromobilności oraz kilkudziesięciu samorządów, które, choć nieobjęte ustawą, wcześniej podejmowały działania na rzecz modernizacji transportu publicznego (uczestniczyły w programie Zielonego Transportu), udział zeroemisyjnych autobusów wyniósł 6,6% we flotach wszystkich badanych samorządów. W Zielonej Górze aż 76% floty transportu publicznego stanowią autobusy elektryczne.

Przykład miasta Zielona Góra może stanowić wzór dobrej praktyki dla miast, w których rozwój elektromobilności w transporcie publicznym nie postępuje w równie szybkim tempie. Lokalny przewoźnik dzieli się swoją wiedzą z innymi podmiotami – zarówno organizatorami publicznego transportu zbiorowego, jak i operatorami w innych miastach i krajach. Pionierem elektromobilności jest zielonogórska spółka Ekoenergetyka-Polska SA, która produkuje infrastrukturę ładowania wysokiej mocy i tworzy innowacyjne rozwiązania w tej dziedzinie. We współpracy z zielonogórskim MZK prowadzi ona spotkania dla zainteresowanych podmiotów, chcących wkroczyć w nowoczesne technologie. Często gośćmi są Czesi, którzy inspirowani są zielonogóorskimi inwestycjami, ale nie brakuje także uczestników z Niemiec, Słowacji czy Rumunii.

Dostęp do wiarygodnych i aktualnych danych na temat wdrażanych innowacji w transporcie miejskim umożliwi zidentyfikowanie przeszkód w realizacji

tej koncepcji oraz dostarczy wskazówek na temat skutecznych rozwiązań. Będzie to korzystne dla organizatorów transportu publicznego, pasażerów, lokalnych społeczności, a także pomoże określić potrzebne instrumenty prawne i finansowe wspierające rozwój niskoemisyjnych inicjatyw transportowych, zwłaszcza w mniejszych miejscowościach.

Jedną z wad jest potrzeba organizacji systemu ładowania baterii, co oznacza konieczność reorganizacji zarządzania flotą autobusów oraz budowy odpowiedniej infrastruktury (np. ładowanie standardowe, szybkie ładowanie przy zastosowaniu pantografu zewnętrznego lub w wersji odwróconej). Baterie, będące modułowymi i wymiennymi elementami, mogą ograniczać liczbę miejsc dla pasażerów i zwiększać masę pojazdu w zależności od ich liczby. Ponadto trzeba uwzględnić, że autobusy elektryczne nie są w pełni bezemisyjne, co jest spowodowane używaniem energii elektrycznej wytwarzanej głównie w elektrowniach węglowych, a część z nich wykorzystuje także olej opałowy do zasilania urządzeń grzewczych.

Inne przeszkody dla szybszego wdrażania nowych rozwiązań w Polsce i Europie to problemy z infrastrukturą, wysokie koszty inwestycyjne oraz przestarzałe procesy dziedziczone po autobusach z napędem diesla. Kluczowe dla przezwyciężenia tych wyzwań będzie długoterminowe partnerstwo między wszystkimi stronami zaangażowanymi w transport publiczny, w tym władzami lokalnymi, operatorami, producentami, dostawcami energii i regulatorami. Strategie mogą zawierać aktualizację szkoleń, elastyczniejsze umowy operacyjne dla nowych technologii oraz zapewnienie finansowania, aby ułatwić przejście na innowacyjne modele biznesowe.

Oświadczenie o wkładzie poszczególnych autorów

Wszyscy wymienieni autorzy wnieśli znaczący, bezpośredni i intelektualny wkład w artykuł i zatwierdzili go do publikacji.

Oświadczenie o konflikcie interesów

Autorzy deklarują, że badanie zostało przeprowadzone przy braku jakichkolwiek powiązań komercyjnych lub finansowych, które można by zinterpretować jako potencjalny konflikt interesów.

Oświadczenie o etyce badawczej

Autorzy poświadczają, że opublikowane w tekście badania zostały przeprowadzone zgodnie z etyką badawczą afiliowanej uczelni.

Bibliografia

- ACEA (2022). *Raport ACEA – Pojazdy w użyciu, Europa 2022*. ACEA: Bruksela, Belgia, 2022.
- Bakker, S., Konings, R. (2018). The Transition to Zero-Emission Buses in Public Transport – The Need for Institutional Innovation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64: 204–215.
- Bielińska-Dusza, E., Hamerska, M., Żak, A. (2021). Sustainable Mobility and the Smart City: A Vision of the City of the Future: The Case Study of Cracow (Poland), *Energies*, 14(23): 7936.
- Bielski, B., Bednarczyk, M. (2020). Whether the Development of Electromobility Positively Influences the Quality of Transport Services in Cities-Critical Analysis, *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie*, 47(1): 7–17.
- Bohdal, T., Charun, H., Sikora, M. (2015). Selected Aspects of Legal, Technical and Ecological Use of Compression Heat Pumps, *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 17: 461–484.
- Bohdal, T., Charun, H., Sikora, M. (2011). Comparative Investigations of the Condensation of R134a and R404A Refrigerants in Pipe Minichannels, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54: 1963–1974.
- BP (2017). *BP Energy Outlook 2017 – BP Global*. London: Energy Economics, UK, 9.
- Electromobility Development Plan in Poland “Energy for the future”*. (2014). https://climate-laws.org/documents/electromobility-development-plan-in-poland_8db6?id=electromobility-development-plan_14da (dostęp: 10.06.2024).
- Elektromobilność w Polsce. Inwestycje, trendy, zatrudnienie. Raport 2021*. (2021). Polska Agencja Inwestycji i Handlu, Polska Izba Rozwoju Elektromobilności, Bergman Engineering, <https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/11753-elektromobilnosc-w-Polsce-inwestycje-trendy-zatrudnienie.pdf> (dostęp: 09.06.2024).
- European Commission. (2010). *Communication from the commission Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2011). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Youth Opportunities Initiative*. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2016a). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A European Strategy for Low-Emission Mobility*. Luxembourg: European Commission.
- European Commission. (2016b). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee the Committee of the Regions and the European Investment Bank. Clean Energy for All Europeans*. Luxembourg: European Commission.
- Ebenezer, N., Dalkmann, H., Haq, G., Cervantes Barron, K., Brand, C., Dixon, J., Welsby, D. (2021). *Electromobility in the Global South: An Equitable Transition toward Road Passenger Transport Decarbonization*. Sustainable Mobility for All Partnership and the Climate Compatible Growth (CCG) Programme. Washington.

- Gao, Y., Zhu, J. (2022). Characteristics, Impacts and Trends of Urban Transportation, *Encyclopedia*, 2(2): 1168–1182.
- Giagnorio, M., Börjesson, M., D'Alfonso, T. (2024). Introducing Electric Buses in Urban Areas: Effects on Welfare, Pricing, Frequency, and Public Subsidies, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 185: 104103. <https://doi.org/10.1016/j.TRA.2024.104103>
- PZPM (2023). <https://www.pzpm.org.pl/> (dostęp: 08.05.2024).
- Huo, M. Q., Sato, K., Ohizumi, T., Akimoto, H., Takahashi, K. (2016). Characteristics of Carbonaceous Components in Precipitation and Atmospheric Particle at Japanese Sites. *Atmospheric Environment*, 146: 164–173.
- International Energy Agency. (2022). *Global EV Outlook 2022: Securing Supplies for an Electric Future*. OECD Publishing.
- Iwan, S., Nürnberg, M., Beijer, A., Kijewska, K., Małeck, K. (2021). Unloading Bays as Charging Stations for EFV-Based Urban Freight Delivery System – Example of Szczecin, *Energies*, 14: 5677. <https://doi.org/10.3390/en14185677>.
- Kallas, S. (2011). *White Paper on Transport: Roadmap to a Single European Transport Area: Towards a Competitive and Resource-efficient Transport System*. Office for Official Publications of the European Communities.
- Kancelaria Prezesa Rady Ministrów (2024). <https://www.gov.pl/web/premier/projekt-ustawy-o-zmianie-ustawy-o-elektromobilnosci-i-paliwach-alternatywnych-oraz-niektorych-innych-ustaw5> (dostęp: 6.06.2024).
- Kauf, S. (2018). Ekonomia współdzielenia (sharing economy) jako narzędzie kreowania smart city, *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, (120): 141–151.
- Korneć, R. (2018). System transportu miejskiego wobec zrównoważonego rozwoju, *Studia miejskie*, 30: 71–84.
- Lam, D., Head, P. (2012). Sustainable Urban Mobility, *Energy, Transport & the Environment: Addressing the Sustainable Mobility Paradigm*, 359–371.
- Lissoń, P. (2019). Zadania gmin w dziedzinie elektromobilności. W: *Prawne i ekonomiczne aspekty rozwoju elektromobilności* (57–83), K. Kokocińska, J. Kola (red.). Warszawa: SIP Legalis.
- Liebreich, M. (2013). Bloomberg New Energy Finance Summit. *London: Bloomberg New Energy Finance*, 1–10.
- Markusik, S., Krawiec, S., Łazarz, B., Karoń, G., Janecki, R., Sierpiński, G., Krawiec, K. (2015). The Technical and Operational Aspects of the Introduction of Electric – Powered Buses to the Public Transportation System, *Logistics and Transport*, 27: 41–50.
- MZK (2023). <https://www.mzk.zgora.pl/zielona-komunikacja/projekt> (dostęp: 05.06.2024).
- Netzer, L., Wöss, D., Märzinger, T., Müller, W., Pröll, T. (2022). Impact of an E-highway on the Required Battery Capacities and Charging Infrastructure for Cargo Transport with E-trucks on the Basis of a Real Use Case, *Energies*, 15(19): 7102.
- NIK (2023). *Informacja o wynikach kontroli. Finansowanie przedsięwzięć służących rozwojowi elektromobilności w Polsce*, LLO.430.003.2022. Warszawa.
- PIRE (2023). <https://pire.pl/rynek-autobusow-elektrycznych-w-polsce-w-i-polowie-2023-roku/> (dostęp: 27.02.2024).

- Pourbaix, J. (2024). *Deployment of Electric Buses in Europe*, www.busworldacademy.org (dostęp: 07.06.2024).
- Połom, M. (2021). E-revolution in Post-Communist country? A Critical Review of Electric Public Transport Development in Poland, *Energy Research & Social Science*, 80: 102227.
- Russo, F., Comi, A. (2012). City Characteristics and Urban Goods Movements: A Way to Environmental Transportation System in a Sustainable City, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39: 61–73.
- Taczanowski, J. (2016). Koncepcja zrównoważonego transportu. Przypadek komunikacji tramwajowej w wybranych miastach Europy Środkowej i Zachodniej, *Prace Geograficzne*, 144: 105–125.
- Tundys, B., Wiśniewski, T. (2023). Smart Mobility for Smart Cities – Electromobility Solution Analysis and Development Directions, *Energies*, 16: 1958. <https://doi.org/10.3390/en16041958>.
- Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. z 2023 r., poz. 875).
- Zarębska, J., Żabińska, I., Zarębski, A. (2019). Eco-Innovations in Poland – The Extent of Changes, Development and Barriers, *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Poli-technika Śląska*, 135: 245–256.
- Zawieska, J., Pieriegud, J. (2018). Smart City as a Tool for Sustainable Mobility and Transport Decarbonization, *Transport policy*, 63: 39–50.
- Zou, Y., Zhao, J., Ding, D., Miao, F., Sobhani, B. (2021). Solving Dynamic Economic and Emission Dispatch in Power System Integrated Electric Vehicle and Wind Turbine Using Multi-Objective Virus Colony Search Algorithm, *Sustainable Cities and Society*, 67: 102722.