



Analiza kosztów i korzyści



Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, zgodnie z wymogami art. 37 ust. 1 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych



Opracowanie pt.

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, zgodnie z wymogami art. 37 ust. 1 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych

zostało przygotowane na zlecenie Gminy Wrocław przez:



Lider konsorcjum:

Zespół Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o.

ul. Sielecka 45
00-738 Warszawa
www.zdgtor.pl

Partner:

K o m p l e k s o w e

U s ł u g i

D o r a d c z e

Kompleksowe Usługi Doradcze Maciej Gabory

ul. Świebodska 2B
50-046 Wrocław
www.kud-doradztwo.pl

na podstawie umowy nr 4/WIM/2021 pomiędzy Zamawiającym a Wykonawcą z 28.07.2021 r.

Skład autorski i redakcyjny:

Maciej Gabory – kierownik projektu

Bartłomiej Kasiuk

Maciej Mysona – kierownik konsorcjum projektowego

Krzysztof Ruciński

Marcin Wojtówic

Natalia Jamróz – skład i opracowanie graficzne

i inni

Spis treści

WYKAZ POJĘĆ I SKRÓTÓW	4
STRESZCZENIE	5
WPROWADZENIE	9
1 ANALIZA STANU OBECNEGO	11
1.1 STAN ŚRODOWISKA W GMINIE WROCŁAW	11
1.2 POWIĄZANIA Z DOKUMENTAMI O CHARAKTERZE PLANISTYCZNYM	13
1.3 FUNKCJONUJĄCY SYSTEM TRANSPORTU ZBIOROWEGO WE WROCŁAWIU	24
1.4 PRZEGLĄD FLOTY AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ.....	27
1.5 PRACA EKSPLOATACYJNA AUTOBUSÓW	33
1.6 WPŁYW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ NA JAKOŚĆ ŚRODOWISKA	36
1.7 ANALIZA OBECNEJ INFRASTRUKTURY W ASPEKcie WDROŻENIA AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH	39
2 PRZEGLĄD ŚRODKÓW TRANSPORTU MOŻLIWYCH DO ZASTOSOWANIA W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ Z UWZGLĘDNIENIEM KOSZTÓW ZAKUPU I EKSPLOATACJI ORAZ BUDOWY INFRASTRUKTURY	41
2.1 ANALIZA RYNKU AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH.....	41
2.2 LINIE WYBRANE DO OBSŁUGI TABOREM ZEROEMISYJNYM	57
3 ANALIZA FINANSOWO-EKONOMICZNA	62
3.1 WARIANTY INWESTYCJI TABOROWYCH I ZAŁOŻENIA ANALIZY FINANSOWEJ	62
3.2 NAKŁADY INWESTYCYJNE	64
3.3 NAKŁADY ODTWORZENIOWE	67
3.4 KOSZTY OPERACYJNE I WARTOŚĆ REZYDUALNA	68
3.5 EFEKTYWNOŚĆ FINANSOWA	71
4 OSZACOWANIE EFEKTÓW ŚRODOWISKOWYCH ZWIĄZANYCH Z EMISJĄ SZKODLIWYCH SUBSTANCJI DLA POSZCZEGÓLNYCH KOMPONENTÓW ŚRODOWISKA NATURALNEGO ORAZ ZDROWIA LUDZI.....	72
5 ANALIZA SPOŁECZNO-EKONOMICZNA UWZGLĘDNIAJĄCA WYCENĘ KOSZTÓW ZWIĄZANYCH Z EMISJĄ SZKODLIWYCH SUBSTANCJI.....	75
5.1 WYCENA KOSZTÓW EMISJI SZKODLIWYCH SUBSTANCJI	75
5.2 WYCENA KOSZTÓW EMISJI HAŁASU	76
5.3 EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA	78
6 ANALIZA RYZYKA I WRAŻLIWOŚCI	80
6.1 ANALIZA WRAŻLIWOŚCI	80
6.2 ANALIZA RYZYKA.....	81
PODSUMOWANIE	89
SPIS TABEL, WYKRESÓW, RYSUNKÓW I ZDJĘĆ	91

Wykaz pojęć i skrótów

Autobus zeroemisyjny – autobus w rozumieniu art. 2 pkt 41 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. z 2020 r., poz. 110 z późn. zm.), wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w autobusie ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów

B/C – wskaźnik zdyskontowanych korzyści do zdyskontowanych kosztów

CUPT – Centrum Unijnych Projektów Transportowych

ENPV – ekonomiczna wartość bieżąca projektu. Stanowi sumę zdyskontowanych różnic między całkowitymi korzyściami i kosztami, przy czym całkowite koszty obejmują wycenione w wartościach pieniężnych koszty zewnętrzne (np. zanieczyszczenie, hałas, emisja spalin) i wydatki, a całkowite korzyści – wycenione w wartościach pieniężnych korzyści zewnętrzne i wpływy.

FNPV – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji

FRR – finansowa stopa zwrotu

ERR – ekonomiczna stopa zwrotu. Określa efektywność ekonomiczną danego projektu, tj. uwzględniającą nie tylko koszty i przychody finansowe, ale także korzyści i koszty ekonomiczne (efekty zewnętrzne)

MIDI – autobus o długości ok. 7,9-10,65 metra

MAXI – autobus o długości ok. 10,65-12,2 metra

MEGA18 – autobus przegubowy o długości ok. 18 metrów

MPK Wrocław – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. we Wrocławiu

Niebieska Księga – *Niebieska księga. Nowe wydanie 2014-2020, Infrastruktura Drogowa*, Jaspers, 2015

Organizator – właściwa jednostka samorządu terytorialnego zapewniająca funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze

Operator – przedsiębiorca uprawniony do prowadzenia działalności gospodarczej w zakresie przewozu osób, który zawarł z organizatorem publicznego transportu zbiorowego umowę o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego, na linii komunikacyjnej określonej w umowie

OZE – odnawialne źródła energii

Wzkm – wozokilometr – odpowiada jednemu kilometrowi drogi wykonanej przez środek transportu

Streszczenie

Niniejszy dokument stanowi analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych. W ramach opracowania, zgodnie z art. 37 ust. 2 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.) wykonano:

- analizę finansowo-ekonomiczną,
- oszacowanie efektów środowiskowych,
- analizę społeczno-ekonomiczną.

W pierwszych rozdziałach przedstawiono zagadnienia związane ze stanem obecnym, między innymi pod względem stanu środowiska, powiązania z innymi dokumentami o charakterze planistycznym i strategicznym, przeanalizowano sieć komunikacyjną w mieście oraz flotę autobusów komunikacji miejskiej i międzygminnej, oraz oceniono obecną infrastrukturę pod kątem wdrożenia autobusów zeroemisyjnych. Na tym etapie odrzucono wprowadzenie trolejbusów ze względu na wysokie nakłady finansowe i czasowe. Kolejnym etapem było wykonanie przeglądu możliwych do zastosowania w komunikacji miejskiej zeroemisyjnych środków transportu. Wykonano rozeznanie rynku pod względem dostępnych marek wraz z oszacowaniem kosztów zakupu pojazdów i budowy stosownej infrastruktury. W przypadku stacji tankowania wodoru szacuje się koszt na około 6-8 mln zł. Koszt 12-metrowego autobusu elektrycznego z wodorowymi ogniwami paliwowymi wynosi około 713 tys. euro netto (bez wydłużonej gwarancji) a w przypadku 18-metrowego około 1,25 mln euro netto. Średnia ważona cena jednego autobusu elektrycznego akumulatorowego klasy MAXI w przypadku zamówienia bez infrastruktury ładowania w pakiecie wyniosła 2,33 mln zł, a klasy MEGA18 – 2,9 mln zł netto za pojazd (3,1 mln zł netto bez przetargu w Krakowie¹). Średnia ważona cena ładowarki mobilnej o mocy 40-60 kW wyniosła 70 686,84 zł netto, w przypadku stacjonarnej ładowarki dwustanowiskowej o mocy 80-120 kW średnia ważona cena wynosiła 116 406,40 zł netto. Średnia cena budowy ładowarki pantografowej o mocy 400 kW to ok. 340 tys. zł netto.

Następnie określono plan wymiany taboru zgodnie z wymogami ustawy o elektromobilności i w oparciu o flotę eksploatowaną w ramach świadczenia usług komunikacji miejskiej. Wzięto pod uwagę łączną flotę obsługującą komunikację miejską i międzygminną (496 pojazdów).

Zgodnie z wielkością floty i zapisami ustawowymi liczba autobusów zeroemisyjnych powinna wynosić minimum:

- od 1 stycznia 2023 – 50 pojazdów (tj. udział 10%),
- od 1 stycznia 2025 roku – 99 pojazdów (tj. udział 20%),
- od 1 stycznia 2028 roku – 149 pojazdów (tj. udział 30%).

Zaproponowano również linie autobusowe przeznaczone do elektryfikacji w poszczególnych etapach inwestycyjnych. Są to:

¹ Szczegółowe informacje umieszczono w tabeli 22.

- do roku 2023 – linie: K, 101, 106, 116, 122, 129, 142, 143,
- do roku 2025 – linie: A, 107, 110, 114, 124 (częściowo), 126, 127, 134,
- do roku 2028 – linie: 124, 140, 144, 148, 151.

Wybranie linii komunikacyjnych pozwoliło na określenie minimalnej wielkości akumulatorów w autobusach oraz mocy ładowarek. Optymalna wielkość akumulatora w autobusach MAXI powinna wynosić minimum 170 kWh oraz 220 kWh w autobusach klasy MEGA18. Do ładowania wolnego powinny zostać wykorzystane ładowarki jednostanowiskowe o mocy min. 50 kW lub dwustanowiskowe o mocy min. 100 kW. Przy sprawności energetycznej na poziomie 90% i wykorzystaniu mocy na poziomie 50 kW ładowanie powinno trwać maksymalnie około 4-5 godzin, co pozwala na swobodne doładowanie autobusu w godzinach nocnych. W przypadku ładowarek pantografowych moc powinna wynieść około 400-450 kW.

Następnie przeprowadzono analizę finansowo-ekonomiczną, w której przyjęto następujące warianty inwestycyjne:

- W0 – wariant bazowy zakładający ponoszenie nakładów odtworzeniowych z wykorzystaniem pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi o normie emisji Euro 6 oraz zakup pojazdów 11 autobusów elektrycznych w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu,
- W1 – zakup autobusów elektrycznych akumulatorowych ładowanych z wykorzystaniem metody plug-in i poprzez pantograf, w tym 11 pojazdów w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu,
- W2 – zakup autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz zakup 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu.

W wariantcie W1 zakres prac inwestycyjnych dotyczy wymiany autobusów na pojazdy elektryczne akumulatorowe razem z budową i montażem infrastruktury towarzyszącej związanej z ładowaniem pojazdów z wykorzystaniem metody plug-in oraz pantografu. Nakłady inwestycyjne w poszczególnych latach wyniosą: w 2022 roku – 141,9 mln zł netto, w 2023 roku – 46,2 mln zł netto, w 2024 roku – 193,0 mln zł netto, a w 2027 roku – 86,9 mln zł netto. Łącznie nakłady inwestycyjne w tym wariantcie wyniosą 468 mln zł netto. W wariantcie W2 zakres prac inwestycyjnych dotyczy wymiany autobusów na pojazdy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi razem z budową stacji tankowania wodoru na obszarze Wrocławia. Nakłady inwestycyjne w poszczególnych latach wyniosą: w 2022 roku – 190,4 mln zł netto, w 2023 roku – 46,2 mln zł netto, w 2024 roku – 275,3 mln zł netto, a w 2027 roku – 130,9 mln zł netto. Łącznie nakłady inwestycyjne w tym wariantcie wyniosą 642,8 mln zł netto. Pod względem nakładów odtworzeniowych wartości wyniosły w wariantcie W0 – 618,2 mln zł netto, a w wariantcie W1 i W2 – 409,1 mln zł netto. Ponadto inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe generuje w ciągu całego okresu analizy 45,1 mln zł oszczędności. Wynika to z niższych kosztów zużytej energii elektrycznej w wariantcie W1 względem kosztów poniesionych na zużyty olej napędowy w wariantcie W0 oraz niższych kosztów materiałów i części oraz napraw w wariantcie W1. Najmniej korzystny wynik pod

względem kosztów eksploatacji osiągnął wariant z autobusami elektrycznymi z wodorowymi ogniwami paliwowymi, co wynika między innymi z wysokiej ceny paliwa wodorowego. Wynikiem analizy finansowej były wskaźniki efektywności finansowej FNPV i FRR, które wyniosły odpowiednio -172,3 mln zł i -22,77% dla wariantu W1 oraz -504,3 mln zł dla wariantu W2. Ujemna wartość wskaźnika FNPV w obu wariantach oznacza, że inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe oraz elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi jest nieopłacalna pod względem finansowym. W przypadku wskaźnika FRR jego wartość nie przekroczyła założonej stopy dyskontowej, co oznacza brak opłacalności finansowej inwestycji. Warto podkreślić, że projekty z zakresu transportu publicznego zwykle nie odnotowują dodatnich wyników FNPV oraz FRR. Ujemna wartość wskaźników wskazuje też, że aktualna wartość przyszłych dochodów nie pokrywa poniesionych kosztów na wymianę taboru (wysoki koszt zakupu pojazdu elektrycznego i infrastruktury względem autobusu z silnikiem napędzanym olejem napędowym).

W drugim etapie analizy kosztów i korzyści przeprowadzono analizę ekonomiczną, na którą składała się wycena kosztów emisji szkodliwych substancji oraz kosztów emisji hałasu. Wariant z wykorzystaniem autobusów elektrycznych akumulatorowych okazał się mniej ekologiczny pod względem emisji SO_2 i ze względu na duży udział wykorzystania węgla przy produkcji energii elektrycznej. Największą poprawę zanotowano pod względem tlenków azotu oraz dwutlenku węgla. Ostatecznie wykorzystanie autobusów elektrycznych akumulatorowych generowało stratę w kosztach emisji w kwocie 2,2 mln zł, a w przypadku autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi – oszczędność 34,5 mln zł. W zakresie kosztów emisji hałasu wprowadzenie autobusów elektrycznych (emitują o ok. 15-20% mniejszy hałas niż autobusy konwencjonalne) wygenerowało korzyści w kwocie 15,3 mln zł. Ostatecznym wynikiem analizy kosztów i korzyści było sprawdzenie efektywności ekonomicznej projektu na podstawie skorygowanych przepływów finansowych oraz wycenionej emisji szkodliwych substancji do atmosfery oraz hałasu. Wskaźniki efektywności ekonomicznej wykazały ujemne wyniki dla obu wariantów (ENPV: -141,6 mln zł oraz -381,9 mln zł, ERR: -21,38% oraz nieobliczalne, B/C: 0,61 oraz 0,36). Oznacza to, że inwestycja w autobusy zeroemisyjne jest nieopłacalna pod względem ekonomicznym, a poniesione koszty finansowe nie przewyższają korzyści.

Negatywny wynik analizy wskazuje, że nie musi zostać spełniony ustawowy obowiązek dotyczący udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie obsługującej komunikację publiczną przez najbliższe 36 miesięcy, tj. do sporządzenia następnej analizy.

Osiągnięcie dodatniego wyniku efektywności ekonomicznej w wariantcie W1 będzie możliwe przy obniżeniu ceny autobusów o około 49% do poziomu 1,14 mln zł za autobus elektryczny akumulatorowy 12-metrowy oraz 1,55 mln zł za autobus elektryczny akumulatorowy przegubowy (obecnie odpowiednio 2,32 mln zł i 3,16 mln zł). W przypadku wariantu W2 osiągnięcie zerowej wartości wskaźnika efektywności ekonomicznej jest możliwe przy spadku cen autobusów i paliwa wodorowego o 63% do wartości 1,17 mln zł za 12-metrowy autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi, 2,06 mln zł za autobus przegubowy (obecnie odpowiednio 3,17 mln zł i 5,55 mln zł) a paliwa do kwoty 15,62 zł za kg (obecnie wyceniane na 42,21 zł za kg). Osiągnięcie takich kwot skutkowałoby koniecznością spełnienia obowiązków ustawowych w zakresie udziału autobusów zeroemisyjnych.

Pomimo tego **Gmina Wrocław, zważając na korzyści ekologiczne i eksploatacyjne autobusów elektrycznych, powinni podjąć się zakupu takich pojazdów przy uzyskaniu odpowiedniego**

wsparcia zewnętrznego (środków unijnych w ramach programów Funduszy Europejskich na Infrastrukturę, Klimat i Środowisko, Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności, Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego oraz krajowych środków pochodzących z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej). W nowej perspektywie unijnej 2021-2027 Gmina Wrocław będzie mogło się ubiegać o maksymalne dofinansowanie na poziomie 70%. Oznacza to, że będzie istniała możliwość obniżenia ceny autobusu zeroemisyjnego do poziomu niższego niż koszt zakupu pojazdu o napędzie spalinowym (klasy MAXI – 1,07 mln zł netto, klasy MEGA18 – 1,32 mln zł netto) nieobjętego programami wsparcia. W tym celu powinna zostać przeprowadzona odrębna analiza kosztów i korzyści dla danego projektu inwestycyjnego, przykładowo wymiany pojazdów z normą Euro 5 na nowe, która uzyska pozytywne wyniki wskaźników efektywności ekonomicznej wymagane do uzyskania funduszy unijnych i krajowych.

Na podstawie art. 37 ust. 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.) dokument został poddany do konsultacji społecznych w terminie od 26.10.2021 r. do 16.11.2021 r.. Konsultacje zostały przeprowadzone zgodnie z zasadami określonymi w dziale III w rozdziałach 1 i 3 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (t.j. Dz.U. z 2021 r., poz. 247 z późn. zm.). Do treści dokumentu zgłoszono 12 uwag i wniosków, w tym 6 zostało uwzględnionych częściowo. Pozostałe uwagi zostały nieuwzględnione. Pełna treść raportu z przeprowadzonych konsultacji społecznych stanowi załącznik 1 do dokumentu.

Wprowadzenie

Celem dokumentu jest przeprowadzenie analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gminie Wrocław, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu zgodnie z art. 37 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.) i Ustawą z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (t.j. Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.).

Wynik analizy jest podstawą do stwierdzenia, czy eksploatacja autobusów zeroemisyjnych jest korzystna pod względem społeczno-ekonomicznym. W przypadku wykazania braku korzyści jednostka samorządu terytorialnego nie musi realizować ustawowego obowiązku osiągnięcia poziomu udziału autobusów zeroemisyjnych przez następne 36 miesięcy do czasu sporządzenia następnej analizy kosztów i korzyści.

Poprzednia analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej została wykonana w grudniu 2018 roku. Dokument rekomendował wdrażanie autobusów zeroemisyjnych w mieście zgodnie z zaproponowanym harmonogramem przy uzyskaniu stosowanego dofinansowania zewnętrznego. W przypadku braku dofinansowania – zaniechanie inwestycji w autobusy zeroemisyjne ze względu na wyższe koszty inwestycyjne i operacyjne.

W maju 2020 r. została opublikowana aktualizacja opracowania, ze względu na zmiany warunków rynkowych (do najistotniejszych należą: zmiana cen energii elektrycznej, zmiana cen autobusów elektrycznych, a także zmiany w zasadach dofinansowania zakupu autobusów elektrycznych). Ponadto poprawiła się sytuacja taborowa MPK Wrocław (liczba autobusów, spełniających normę Euro 6 wzrosła do 167 sztuk, co oznacza udział 50,8% w całej flocie, w porównaniu do 117 sztuk – 36,1% – w 2018 r.) oraz weszła w życie umowa z nowym podwykonawcą – firmą Mobilis sp. z o.o., która dysponuje flotą 30 nowych autobusów, spełniających normę Euro 6. Ponadto analizę uzupełniono o wskaźniki efektywności finansowej i ekonomicznej (FNPV, ENPV, FRR, ERR, B/C), których zabrakło we wcześniejszej analizie. Końcowe wnioski z przeprowadzanych analiz były następujące:

- ze względu na wzrost cen energii elektrycznej planowane koszty operacyjne dla floty autobusów elektrycznych są znacznie wyższe w każdym analizowanym okresie inwestycyjnym niż w założeniach z 2018 r., ponadto te koszty są wyższe niż dla floty autobusów z napędem konwencjonalnym spełniającym normę Euro 6,
- wzrost kosztów inwestycyjnych dla wariantu W2 jest większy niż dla wariantu W0, co tym bardziej uzasadnia wybór autobusów z napędem konwencjonalnym,
- wskaźniki efektywności finansowej i ekonomicznej dowodzą, że realizacja wariantu W2 nie jest opłacalna po uwzględnieniu czynników finansowych i społeczno-ekonomicznych – szczególnie bez zewnętrznego wsparcia.

Oznacza to, że argumenty przemawiające za wymianą pojazdów na autobusy spalinowe z normą Euro 6 zostały dodatkowo wzmocnione zwiększonymi kosztami zakupu pojazdów elektrycznych oraz wzrostem kosztów eksploatacji tych pojazdów, wynikającym ze zmian cen energii elektrycznej.

Ze względu na częściową aktualizację dokumentu w 2020 roku podjęto decyzję o wykonaniu pełnej analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych przed upływem 36 miesięcy od pierwszej wersji analizy, które upływa w grudniu 2021 roku. Dokument stanowi także narzędzie do wprowadzenia zmian w Planie Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego Wrocławia. Analiza kosztów i korzyści została przeprowadzana zgodnie z wytycznymi realizacyjnymi w zakresie zawartym w umowie i ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych, a także w oparciu o poniższe pozycje:

- M. Gromadzki, *Zasady opracowania wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej. Praktyczny przewodnik dla samorządów*, Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, Warszawa, czerwiec 2018 r.,
- *Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach. Nowa edycja*, Jaspers, sierpień 2015 r.,
- *Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej. Vademecum Beneficjenta*, CUPT, 2016 r.

Na podstawie art. 37 ust. 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.) dokument został poddany do konsultacji społecznych w terminie od 26.10.2021 r. do 16.11.2021 r.. Konsultacje zostały przeprowadzone zgodnie z zasadami określonymi w dziale III w rozdziałach 1 i 3 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (t.j. Dz.U. z 2021 r., poz. 247 z późn. zm.). Do treści dokumentu zgłoszono 12 uwag i wniosków, w tym 6 zostało uwzględnionych częściowo. Pozostałe uwagi zostały nieuwzględnione. Pełna treść raportu z przeprowadzonych konsultacji społecznych stanowi załącznik 1 do dokumentu.

1 Analiza stanu obecnego

1.1 STAN ŚRODOWISKA W GMINIE WROCŁAW

1.1.1 STAN JAKOŚCI POWIETRZA

Stan jakości powietrza stanowi jeden z wyznaczników jakości życia w mieście. Jednym z czynników pogarszających jakość powietrza jest transport będący źródłem emisji liniowej. Rozwój zeroemisyjnego transportu publicznego może być jednym z elementów przyczyniających się do ograniczenia emisji pyłów i zanieczyszczeń do atmosfery. Na obszarze Wrocławia znajduje się 5 stacji Głównej Inspekcji Ochrony Środowiska z pomiarem zanieczyszczeń powietrza.

Tabela 1. Zestawienie stanowisk pomiarowych GIOŚ na obszarze Gminy Wrocław w 2020 roku

Nazwa stacji i typ lokalizacji	Substancje, metoda pomiarowa											
	Zanieczyszczenie gazowe					Zanieczyszczenie pyłowe						
	CO	NO ₂	O ₃	C ₆ H ₆	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀	BaP	As	Cd	Ni	Pb
al. Wiśniowa (komunikacyjna)	A	A				A						
ul. Bartnicza (podmiejska)		A	A									
ul. Na Grobli (miejska)						M						
ul. Orzechowa (miejska)							M	M				
Wyb. J. Conrada-Korzeniowskiego (miejska)	A	A	A	A	A	A	M	M	M	M	M	M

Oznaczenia:

A – pomiary automatyczne: 1-godzinne

M – pomiary manualne: 24-godzinne (PM₁₀, PM_{2,5}) lub tygodniowe (As, Cd, Ni, Pb, B(a)P)

Źródło: Roczna ocena jakości powietrza w województwie dolnośląskim. Raport wojewódzki za rok 2020

Według *Rocznej ocena jakości powietrza w województwie dolnośląskim. Raportu wojewódzkiego za rok 2020* głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza w województwie dolnośląskim jest emisja antropogeniczna pochodząca z sektora komunalno-bytowego (emisja powierzchniowa), z komunikacji (emisja liniowa) oraz z działalności przemysłowej (emisja punktowa). Dominującym źródłem emisji tlenków azotu oraz, obok sektora komunalno-bytowego, pyłu zawieszonego PM_{2,5} i PM₁₀, jest emisja związana z ruchem

pojazdów, szczególnie widoczna w dużych miastach i na obszarach bezpośrednio sąsiadujących z drogami o znacznym natężeniu ruchu. Zanieczyszczenia komunikacyjne w postaci pyłów powstają głównie w wyniku ścierania się opon i nawierzchni dróg oraz unosu zanieczyszczeń z powierzchni dróg, natomiast tlenki azotu są emitowane z rur wydechowych. Według danych KOBIZE transport drogowy w Aglomeracji Wrocławskiej odpowiada za 0,3% emisji SO_x, 55,35% NO_x, 14,4% emisji PM₁₀, 12,1% emisji PM_{2,5} i 0,4% emisji B(a)P w całej Aglomeracji. W ocenie rocznej w Aglomeracji odnotowano przekroczenie norm powietrza dla ozonu oraz benzo(a)pirenu. Jako główne przyczyny przekraczania poziomu docelowego i długoterminowego ozonu wskazuje się występowanie w okresie wiosenno-letnim warunków meteorologicznych sprzyjających formowaniu się ozonu w powietrzu (wysoka temperatura i duże nasłonecznienie) oraz emisję prekursorów ozonu, zwłaszcza z sektora transportu samochodowego. W przypadku benzo(a)pirenu do przekroczeń najczęściej dochodzi w okresie zimowym i wynikają one ze spalania paliw stałych do celów grzewczych ze źródeł bytowo-komunalnych, cechuje je też wyraźna zmienność sezonowa. Najwyższe stężenia NO₂ oraz stężenia średnioroczne zarejestrowała stacja komunikacyjna przy ul. Wiśniowej. Warto odnotować, że w 2020 r. po raz pierwszy od rozpoczęcia pomiarów w 2005 r. poziom stężenia średniorocznego dwutlenku azotu mierzony w tej stacji nie przekroczył poziomu dopuszczalnego. Podobnie jak w poprzednich latach, stacja ta również nie zarejestrowała wystąpienia ponadnormatywnych stężeń 1-godzinnych. Maksymalne stężenie 1-godzinne zarejestrowano na poziomie 73% normy.

1.1.2 HAŁAS AKUSTYCZNY

Zgodnie z art. 117 ustawy Prawo Ochrony Środowiska ocena stanu akustycznego środowiska dla aglomeracji o liczbie mieszkańców większej niż 100 tysięcy dokonywana jest obowiązkowo w ramach państwowego monitoringu środowiska. W tym celu sporządzane są mapy akustyczne z częstotliwością co 5 lat. Na obszarze Gminy Wrocław ostatnia mapa akustyczna sporządzona została w roku 2017. Istotnym elementem mapy akustycznej jest wyodrębnienie hałasu drogowego (komunikacyjnego) z podziałem na dwa wskaźniki:

- L_{DWN} – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach (dB), wyznaczony w ciągu wszystkich dób w roku, z uwzględnieniem pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 6:00 do godz. 18:00), pory wieczoru (rozumianej jako przedział czasu od godz. 18:00 do godz. 22:00) oraz pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godz. 22:00 do godz. 6:00),
- L_N – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach (dB), wyznaczony w ciągu wszystkich pór nocy w roku (rozumianych jako przedział czasu od godz. 22:00 do godz. 6:00).

W poniższej tabeli podano wartości dopuszczalnych poziomów hałasu wyrażonych wskaźnikami L_{DWN} i L_N dla poszczególnych terenów powodowanego przez drogi., które mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem.

Tabela 2. Dopuszczalne poziomy hałas w środowisku powodowanego przez drogi lub linie kolejowe

Rodzaj terenu	Dopuszczalny poziom hałasu [dB]	
	L _{AeqD} – pora dzienna	L _{AeqN} – pora nocna
a. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b. Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży c. Tereny domów opieki społecznej d. Tereny szpitali w miastach	64	59
a. Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b. Tereny zabudowy zagrodowej c. Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d. Tereny mieszkaniowo-usługowe	68	59

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. 2014, poz. 112)

Jak wynika z mapy akustycznej Wrocławia z 2017 roku, dominującym źródłem hałasu kształtującym klimat akustyczny we Wrocławiu jest transport, szczególnie transport drogowy. W dokumencie podsumowującym 5-letni cykl monitoringu hałasu na terenie województwa dolnośląskiego w latach 2012-2016 wskazano, że na hałas drogowy na poziomie wskaźnika L_{DWN} powyżej 55 dB wyeksponowanych jest około 40% mieszkańców, natomiast na poziomie wskaźnika L_N powyżej 50 dB 27,2% mieszkańców Aglomeracji. Najwięcej przekroczeń dopuszczalnych poziomów hałasu powodowanego przez transport drogowy występuje na poziomie do 5 dB lub w przedziale 5-10 dB zarówno dla wskaźnika L_{DWN}, jak i L_N. Większość obszarów, na których dopuszczalne poziomy hałas są przekroczone, to tereny położone w strefie śródmiejskiej wzdłuż największych arterii, trasy przebiegu dróg krajowych nr 5, 94 oraz 98. Niewielkie przekroczenia rejestrowane są również wzdłuż Autostradowej Obwodnicy Wrocławia².

1.2 POWIĄZANIA Z DOKUMENTAMI O CHARAKTERZE PLANISTYCZNYM

1.2.1 POZIOM KRAJOWY

1.2.1.1 Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju

Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju jest dokumentem strategicznym rozwoju kraju w obszarze średnio- i długoterminowym. W kierunku dotyczącym pełniejszego wykorzystania potencjału największych polskich aglomeracji określono, że jednym z działań po 2020 roku

² Podrozdział przygotowany w oparciu o analizę kosztów i korzyści z grudnia 2018 roku.

będzie wspieranie miast w wymianie taboru transportu miejskiego na ekologiczny i niskoemisyjny (np. autobusy elektryczne we wszystkich miastach wojewódzkich). W kierunku „zmiany w indywidualnej i zbiorowej mobilności”, jako jedno z działań do 2030 roku ujęto stopniową wymianę taboru wykorzystywanego do świadczenia usług publicznego transportu na ekologiczny, niskoemisyjny, przystosowany do potrzeb osób starszych i niepełnosprawnych, a także dokończenie budowy linii tramwajowych w miastach dysponujących takim środkiem transportu. Działania mają przełożyć się na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych. Projektem strategicznym w tym obszarze jest „Ekologiczny transport” – będący przeglądem działań (prawnych, organizacyjnych oraz inwestycyjnych) niezbędnych dla rozwoju transportu niskoemisyjnego, w tym publicznego, obejmującego m.in. rozwiązania umożliwiające przechodzenie na tabor niskoemisyjny w transporcie publicznym oraz niskoemisyjne pojazdy samochodowe; rozbudowę infrastruktury transportu niskoemisyjnego (w tym punkty ładowania pojazdów elektrycznych, tabor dla transportu publicznego, samochody elektryczne) do roku 2030. Realizacja wymiany autobusów na zeroemisyjne wpisuje się w działania zawarte w dokumencie.

1.2.1.2 Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku

Polityka energetyczna Polski do 2040 r. jest dokumentem strategicznym wyznaczającym ramy transformacji energetycznej w Polsce w zakresie doboru technologii służących budowie niskoemisyjnego systemu energetycznego. Polityka stanowi wkład w realizację Porozumienia paryskiego zawartego w grudniu 2015 roku podczas 21. Konferencji stron Ramowej konwencji Organizacji Narodów Zjednoczonych w sprawie klimatu (COP21) z uwzględnieniem konieczności przeprowadzenia transformacji w sposób sprawiedliwy i solidarny. Dokument wpisuje się także w politykę klimatyczno-energetyczną UE, m.in. w Europejski Zielony Ład. Niskoemisyjna transformacja energetyczna przewidziana w Polityce będzie wpisywać się w zmiany modernizacyjne całej gospodarki, gwarantując bezpieczeństwo energetyczne i sprawiedliwy podział kosztów i ochrony najbardziej wrażliwych grup społecznych. PEP2040 jest jedną z dziewięciu zintegrowanych strategii sektorowych, wynikających ze Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju. PEP2040 jest spójna z Krajowym planem na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Polityka opiera się na 3 filarach:

- I. Sprawiedliwa transformacja
- II. Zeroemisyjny system energetyczny
- III. Dobra jakość powietrza

Cele związane z elektromobilnością ujęto w ramach III filaru dotyczącego dobrej jakości powietrza w ramach celu szczegółowego 4. Rozwój rynków energii, Projekt strategiczny 4C Rozwój elektromobilności. Realizacja projektu strategicznego powinna przyczynić się do rozwoju transportu niskoemisyjnego, w szczególności do dążenia do zeroemisyjnej komunikacji publicznej do 2030 r. w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców. Ponadto zakłada się wzrost udziału OZE do poziomu co najmniej 14% w transporcie. Polityka zakłada również rozwój rynku wodoru na potrzeby sektora transportu, który jest postrzegany atrakcyjnie ze względu na brak konieczności kilkugodzinnego ładowania, jako paliwo do napędu pojazdów m.in. w transporcie zbiorowym. W obszarze elektromobilności jako cel kierunkowy wskazano, aby w 2030 r. było zarejestrowane 600 tys. pojazdów elektrycznych

i hybrydowych. W celu redukcji zjawiska „niskiej emisji” określono dodatkowe cele dla miast o ludności powyżej 100 tys. mieszkańców:

- od 2025 r. – 100% nowej floty kupowanej na cele świadczenia usług komunikacji miejskiej będzie zeroemisyjna (autobusy elektryczne i na wodór),
- od 2030 r. – pełna zeroemisyjność floty komunikacji miejskiej.

Realizacja wymiany autobusów na zeroemisyjne wpisuje się w działania zawarte w dokumencie.

1.2.1.3 Polityka transportowa państwa na lata 2006-2025

Polityka transportowa państwa na lata 2006-2025 jest dokumentem przygotowanym w związku z uwzględnieniem warunków wynikających z przystąpienia Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku. W rozdziale dotyczącym zasad polityki transportowej określono jako jedną z zasad – zasadę wspierania energooszczędnych i mniej obciążających środowisko gałęzi i form transportu poprzez wsparcie przyjaznych dla środowiska technologii, konsekwentne poprawianie jakości transportu publicznego. Jako jeden z priorytetów ustalono poprawę jakości transportu w miastach, w tym poprzez poprawienie konkurencyjności transportu publicznego wobec indywidualnego, poprawę warunków ruchu pieszego i rowerowego, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb osób niepełnosprawnych. W kierunkach rozwoju dotyczącego transportu w miastach wpisano m.in. wspieranie i upowszechnianie działań prowadzących do zarządzania mobilnością w sensie skłaniania do rezygnacji z niekoniecznych podróży samochodowych i wykonywania ich „przyjaznymi” środowisku środkami podróżowania lub do odbywania podróży poza godzinami szczytów przewozowych. Promowanie poprzez edukację społeczną, w tym kampanię informacyjno-reklamową „kultury mobilności”, tj. postaw skłaniających do ruchu pieszego oraz korzystania z rowerów i transportu publicznego, oraz postawy odpowiedzialnego, samoograniczania korzystania z samochodu osobowego. Realizacja wymiany autobusów na zeroemisyjne wpisuje się w działania zawarte w dokumencie w zakresie poprawy jakości transportu w miastach.

1.2.1.4 Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030

Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 jest dokumentem, który wypełnia obowiązek nałożony na Polskę przez Parlament Europejski i Radę UE rozporządzeniem nr 2018/1999 z dnia 11 grudnia 2018 r. (w sprawie zarządzania unią energetyczną i działaniami w dziedzinie klimatu). Omawiany dokument przedstawia założenia, cele oraz polityki i działania na rzecz realizacji 5 wymiarów unii energetycznej, m.in. obniżenia emisyjności. W rozdziale „Krajowe założenia i cele” rozwój elektromobilności oraz popularyzacja innych paliw alternatywnych są wspomniane jako kierunek działania w zakresie bezpieczeństwa energetycznego (ze względu na niezależnienie od importu ropy naftowej z innych krajów, głównie spoza UE), a także w wymiarze obniżenia emisyjności. W dokumencie elektromobilność jest wspomniana także jako jeden z głównych sposobów na poprawę jakości powietrza. Realizacja tego celu odbędzie się poprzez kierunek „finansowanie likwidacji zjawiska tzw. niskiej emisji”, w ramach którego zaplanowano finansowanie inwestycji dotyczących rozwoju niskoemisyjnego transportu.

Kwestie dotyczące niskoemisyjnego transportu poruszono także w celu pt. „Inne elementy wymiaru obniżenia emisyjności”, w ramach którego ujęto kierunek „Rozwój efektywnego energetycznie i niskoemisyjnego transportu”. Kierunek ma być realizowany poprzez interwencje o charakterze:

- organizacyjno-systemowym (zmniejszanie kongestii transportu poprzez zwiększanie udziału transportu zbiorowego w przewozie osób oraz realizację przewozów z wykorzystaniem różnych gałęzi transportu, zwłaszcza mniej uciążliwych dla środowiska),
- inwestycyjnym (modernizacja i rozbudowa infrastruktury transportowej, unowocześnianie taboru wszystkich gałęzi transportu – pojazdów oraz innych niezbędnych urządzeń i wyposażenia – w celu doprowadzenia go do stanu odpowiadającego unijnym oraz krajowym standardom i wymogom ochrony środowiska, a także poprawy jego efektywności energetycznej),
- innowacyjno-technicznym (coraz szersze zastosowanie przyjaznych środowisku środków transportu: niskoemisyjnych i efektywnych energetycznie samochodów oraz pojazdów miejskich (np. wykorzystujących ogniwa paliwowe i wodór, napędy: elektryczny, gazowy, hybrydowy, sprężonym powietrzem).

Analiza kosztów i korzyści wpisuje się w założenia niniejszego Planu poprzez realizację wymiany autobusów na zeroemisyjne.

1.2.1.5 Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku

Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku jest dokumentem strategicznym wskazującym cel oraz kierunki rozwoju transportu tak, aby etapowo do 2030 roku możliwe było osiągnięcie celów założonych w Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). Głównym celem krajowej polityki transportowej jest zwiększenie dostępności transportowej oraz poprawa bezpieczeństwa uczestników ruchu i efektywności sektora transportowego poprzez tworzenie spójnego, zrównoważonego, innowacyjnego i przyjaznego użytkownikowi systemu transportowego w wymiarze krajowym, europejskim i globalnym. Realizacja celu głównego w perspektywie do 2030 r. wiąże się z wdrażaniem 6 kierunków interwencji. W kontekście transportu miejskiego za najważniejszy kierunek należy uznać budowę zintegrowanej, wzajemnie powiązanej sieci transportowej służącej konkurencyjnej gospodarce oraz ograniczeniu negatywnego wpływu transportu na środowisko. W ramach kierunku związanego z budową zintegrowanej sieci transportowej jednym z działań do 2030 r. jest budowa systemów ładowania i tankowania pojazdów niskoemisyjnych oraz rozbudowę linii tramwajowych w miastach posiadających ten środek transportu. W przypadku kierunku dotyczącego ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko będą wspierane:

- rozwiązania w zakresie promocji użytkowania niskoemisyjnych środków transportu, w tym elektromobilności,
- działania dotyczące unowocześniania taboru wszystkich gałęzi transportu (pojazdów oraz innych niezbędnych urządzeń i wyposażenia, w tym infrastruktury paliw alternatywnych,
- działania związane ze zwiększaniem udziału transportu zbiorowego i jednoczesnym ograniczeniu używania indywidualnych pojazdów z napędem spalinowym,

- działania związane z maksymalizacją udziału zero- oraz niskoemisyjnych gałęzi transportu,
- inwestycje promujące niskoemisyjne i efektywne energetycznie środki transportu zasilane alternatywnymi źródłami energii.

Stwarzane będą także zachęty dla samorządów do wymiany taboru na autobusy z napędem alternatywnym, w tym elektrycznym lub hybrydowym. Realizacja wymiany autobusów na zeroemisyjne wpisuje się w działania zawarte w dokumencie.

1.2.2 POZIOM WOJEWÓDZKI

1.2.2.1 Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego

Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego została uchwalona we wrześniu 2018 roku przez Sejmik Województwa Dolnośląskiego. Nowa Strategia Rozwoju Dolnego Śląska odpowiada na podstawowe wyzwania polityki spójności Unii Europejskiej, a także wpisuje się w istniejące krajowe dokumenty strategiczne. Wizję przyszłościowego rozwoju regionu określono jako: Dolny Śląsk 2030 regionem równomiernego rozwoju, regionem przyjaznym, nowoczesnym i konkurencyjnym. Jej osiągnięciu służyć będzie realizacja celu nadrzędnego, którym są harmonijny rozwój regionu i wysoka jakość życia dolnośląskiej społeczności oraz przyporządkowanych mu pięciu celów strategicznych:

1. efektywne wykorzystanie gospodarczego potencjału regionu,
2. poprawa jakości i dostępności usług publicznych,
3. wzmocnienie regionalnego kapitału ludzkiego i społecznego,
4. odpowiedzialne wykorzystanie zasobów i ochrona walorów środowiska naturalnego i dziedzictwa kulturowego,
5. wzmocnienie przestrzennej spójności regionu.

Realizacji tychże celów strategicznych służyć zaś będą różnorodne inicjatywy ujęte w 94 przedsięwzięciach strategicznych – grupach zadań strategicznych. Realizacja wymiany autobusów na zeroemisyjne wpisuje się w działania zawarte w:

- celu strategicznym 2. Poprawa jakości i dostępności usług publicznych w ramach celu operacyjnego:
 - 2.3 Rozwój i doskonalenie usług publicznych
 - Przedsięwzięcie strategiczne 2.3.6: Podejmowanie działań służących poprawie jakości usług publicznego transportu zbiorowego,
- celu strategicznym 5. Wzmacnianie przestrzennej spójności regionu:
 - 5.1 Rozwój regionalnej sieci transportowej
 - Przedsięwzięcie strategiczne 5.1.6: Zakup nowoczesnego taboru na potrzeby regionalnego systemu transportu publicznego
 - Przedsięwzięcie strategiczne 5.1.8: Wsparcie działań na rzecz zwiększenia efektywności transportu w ujęciu proekologicznym (elektromobilność).

1.2.2.2 Program Ochrony Powietrza dla Województwa Dolnośląskiego

Program Ochrony Powietrza dla Województwa Dolnośląskiego został przyjęty przez Sejmik Województwa Dolnośląskiego w lutym 2014 roku. Program składa się z 5 załączników – jeden z nich dotyczy obszaru Wrocławia – załącznik 1: Program ochrony powietrza dla strefy Aglomeracja Wrocławska. Dokument powstał w związku z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego pyłu zawieszonego PM₁₀, pyłu zawieszonego PM_{2,5}, dwutlenku azotu oraz poziomów docelowych benzo(a)pirenu i ozonu w powietrzu w 2011 r. Głównym celem dokumentu jest przywrócenie naruszonych standardów jakości powietrza, a przez to poprawa warunków życia mieszkańców, podwyższenie standardów cywilizacyjnych oraz lepsza jakość życia w mieście. Dokument zawiera także zadania, których wdrożenie spowoduje obniżenie poziomów zanieczyszczeń. W zakresie działań kierunkowych zmierzających do przywrócenia standardów jakości powietrza założono, w zakresie ograniczania emisji liniowej, m.in.: wprowadzenie nowych niskoemisyjnych paliw i technologii, szczególnie w systemie transportu publicznego czy realizację projektu zintegrowanego systemu transportu szynowego

1.2.2.3 Program ochrony powietrza dla stref w województwie dolnośląskim, w których w 2018 r. zostały przekroczone poziomy dopuszczalne i docelowe substancji w powietrzu wraz z planem działań krótkoterminowych

Program ochrony powietrza dla stref w województwie dolnośląskim został przyjęty przez Sejmik Województwa Dolnośląskiego w lipcu 2020 roku. Program opracowano dla stref i substancji zanieczyszczających powietrze, dla których w ocenie rocznej za rok 2018 wskazano przekroczenia norm jakości powietrza i stwierdzono konieczność realizacji działań naprawczych mających na celu poprawę jakości powietrza ze względu na ochronę zdrowia ludzi. Głównym celem dokumentu jest przywrócenie naruszonych standardów jakości powietrza, a przez to poprawa warunków życia mieszkańców, podwyższenie standardów cywilizacyjnych oraz lepsza jakość życia w mieście. W strefie Aglomeracji Wrocławskiej wystąpiły przekroczenia poziomu NO₂, PM₁₀, B(a)P, PM_{2,5}. W zakresie działań kierunkowych dotyczących ograniczania emisji liniowej zapisano m.in.:

- modernizację i wymianę taboru komunikacji miejskiej ze szczególnym uwzględnieniem korelacji ekonomiczno-ekologicznej, tzn. współmierności zaangażowanych środków finansowych do spodziewanych efektów ekologicznych,
- dążenie do wprowadzenia niskoemisyjnych paliw i technologii,
- szkolenia dla prowadzących pojazdy dot. takiego użytkowania pojazdów i sposobu jazdy, aby ograniczać emisję zanieczyszczeń,
- wspieranie rozwiązań prośrodowiskowych w zakresie transportu (np. wspieranie stacji ładowania pojazdów elektrycznych).

1.2.3 POZIOM LOKALNY

1.2.3.1 Strategia Wrocław 2030

Strategia Wrocław 2030 (uchwała nr LI/1193/18 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 15 lutego 2018 r.) jest dokumentem strategicznym określającym kierunki rozwoju Wrocławia.

W zakresie mobilności i komunikacji miejskiej określono, że rozwijanie transportu publicznego powinno być jednym z trzech priorytetów działań miasta, a działania powinny być spójne z Wrocławską Polityką Mobilności, Planem Mobilności Miejskiej oraz Planem zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego Wrocławia z 2016 roku. Powinien zostać rozwinięty cały system transportu publicznego z uwzględnieniem całej Aglomeracji oraz wprowadzony zeroemisyjny transport publiczny. Miasto powinno też zadbać o dobre warunki dla pieszych i rowerzystów i promować zrównoważoną mobilność.

1.2.3.2 Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Wrocławia 2018

Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Wrocławia zostało uchwalone w styczniu 2018 r. przez Radę Miejską Wrocławia. W pierwszej części, dotyczącej uwarunkowań zagospodarowania przestrzennego miasta, we wnioskach z rozważań nt. transportu (podrozdział I.6.16) zawarto stwierdzenie, że system transportowy Wrocławia należy planować zgodnie z hasłem „Wrocław miastem zrównoważonej mobilności” w taki sposób, aby rozwiązania wskazywały wyraźnie na priorytet dla transportu niesamochodowego: komunikacji zbiorowej, ruchu rowerowego i pieszego. Zrównoważona mobilność i rozwój transportu zbiorowego są także wyszczególnione jako jeden z celów operacyjnych rozwoju miasta (rozdział III.2). W części kierunkowej odniesienie do transportu zbiorowego znajduje się w podrozdziale IV.6.6.2 dotyczącym poprawy ochrony powietrza. Studium wskazuje jako kierunki działania m.in. rozwój sieci transportu publicznego oraz stwarzanie warunków do korzystania z pojazdów z silnikami ekologicznymi, w tym rozwój infrastruktury dla paliw alternatywnych. Tematowi zrównoważonej mobilności jest poświęcony cały rozdział IV.11, w którym poruszono w większym stopniu temat transportu szynowego (rozwój sieci tramwajowej, integracja kolei do systemu komunikacji miejskiej). W rozdziale zawarto także temat elektromobilności miejskiej, której rozwój należy wspierać jako alternatywę dla indywidualnego transportu samochodowego. Wpisuje się w to elektryfikacja tras autobusowych.

1.2.3.3 Miejski Plan Adaptacji do zmian klimatu do roku 2030

Miejski Plan Adaptacji do zmian klimatu do roku 2030 ma na celu kształtowanie polityki rozwoju i wizji miasta uwzględniającej nowe warunki klimatyczne i adaptację do nich. Określono w nim działania będące odpowiedzią na zagrożenia w obszarach funkcjonowania miasta. Podsystem miejskiego transportu publicznego jest także zagrożony zmianami klimatycznymi, takimi jak ekstremalne temperatury, wahania temperatury wokół 0 st. Celsjusza, intensywne opady śniegu i deszczu. W kontekście przechodzenia na bardziej ekologiczne i zrównoważone systemy transportowe w miastach za najbardziej istotne należy uznać temperatury maksymalne i fale upałów, które mogą powodować przerwy w dostawie zasilania z powodu możliwych przeciążeń sieci energetycznych czy przegrzewania się silników i innych urządzeń technicznych. Temperatury minimalne i fale zimna także oddziałują na autobusy poprzez większą awaryjność sprzętu i zmniejszoną sprawność działania środków transportu. W przypadku opadów istnieje ryzyko zablokowania odcinków ulic w wyniku zwiększonej liczby kolizji i wypadków czy uszkodzenie taboru. W sytuacji wystąpienia powodzi może dochodzić do uszkodzenia infrastruktury komunikacyjnej a także dezorganizację prac transportu poprzez wyłączenie z ruchu tras komunikacyjnych, spowolnienie ruchu i trudności z dotrzymaniem rozkładu jazdy. W przypadku silnego i bardzo silnego wiatru oraz burz istnieje

niebezpieczeństwo uszkodzenia pojazdów i obiektów infrastruktury, uszkodzenia lub zakłócenia w pracy urządzeń energetycznych (przerwy w zasilaniu energią elektryczną), spowolnienia ruchu lub jego zablokowanie ze względu na trudne warunki komunikacyjne. Wszystkie powyższe negatywne zjawiska klimatyczne mogą wygenerować problemy przy wykorzystywaniu pojazdów ekologicznych. Zjawiska wpływają też negatywnie na energetykę, której system może zostać nadmiernie obciążony; istnieje też ryzyko uszkodzenia napowietrznych sieci energetycznych i słupów energetycznych, uszkodzenia i zalania stacji transformatorowych. Dlatego jednym z działań założonych w planie jest przystosowanie przestrzeni komunikacyjnej do zmian klimatu. Jednym z działań ma być zakup nowoczesnego taboru tramwajowego i autobusowego przystosowanego do ekstremalnych zjawisk pogodowych.

1.2.3.4 Wrocławska Polityka Mobilności

Wrocławska Polityka Mobilności została przyjęta przez Radę Miejską w 2013 roku jako kluczowy dokument kierunkowy będący elementem strategii rozwojowej Miasta, odnoszący się do zjawisk związanych z mobilnością, sposobami korzystnego jej kształtowania oraz rozwiązywaniem problemów transportowych. Generalnym celem Wrocławskiej polityki mobilności jest tworzenie optymalnych warunków do efektywnego i bezpiecznego przemieszczania osób oraz towarów w mieście i obszarze metropolitalnym, przy spełnieniu wymogu ograniczenia uciążliwości transportu dla środowiska. Uzupełnieniem celu generalnego jest 6 celów podstawowych:

- poprawa dostępności transportowej miasta i obszaru metropolitalnego,
- wzmacnianie roli transportu zbiorowego oraz rowerowego i pieszego jako podstawy zrównoważonego funkcjonowania miasta i obszaru metropolitalnego,
- integracja systemów transportowych miasta i obszaru metropolitalnego oraz regionu i kraju,
- poprawa jakości transportu,
- wzrost poziomu bezpieczeństwa przemieszczania się,
- ograniczanie negatywnego oddziaływania transportu na warunki życia mieszkańców i środowisko przyrodnicze.

Środki realizacji celów podstawowych podzielono na 15 obszarów. Za obszary związane z ekologicznym transportem i obsługą transportu zbiorowego autobusami zeroemisyjnymi należy uznać:

- obszar: kształtowanie zrównoważonej mobilności – informowanie mieszkańców o pozytywnym wpływie na zdrowie i jakość życia ekologicznych środków transportu,
- obszar: transport zbiorowy – rozwijanie floty taboru o pojazdy ekologiczne i przyjazne osobom o ograniczonej sprawności,
- obszar: ekonomia i finanse – uwzględnianie w procesie decyzyjnym efektywności ekonomicznej i korzyści społecznych z projektów transportowych, zapewnienie finansowania nakładów odtworzeniowych na infrastrukturę transportową, pozyskiwanie środków finansowych na inwestycje transportowe ze źródeł zewnętrznych, w tym z funduszy Unii Europejskiej, korzystanie z innych niż publiczne

sposobów pozyskiwania funduszy na inwestycje transportowe i ich utrzymanie, m.in. z partnerstwa publiczno-prywatnego, opłat za korzystanie z infrastruktury,

- obszar: ochrona środowiska – działania obniżające energochłonność transportu, działania obniżające emisyjność transportu, wprowadzenie w mieście taboru transportu zbiorowego o wysokich walorach ekologicznych, stosowanie rozwiązań technicznych minimalizujących negatywne oddziaływanie transportu na klimat akustyczny, promowanie pojazdów ekologicznych, prowadzenie edukacji ekologicznej.

Analiza kosztów i korzyści wykorzystania autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej we Wrocławiu, jako dokument dotyczący zakupów taborowych ekologicznych środków transportowych, jest zgodny z Wrocławską Polityką Mobilności.

1.2.3.5 Plan Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego Wrocławia na lata 2016-2022

Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Wrocławia na lata 2016-2022 (Uchwała Nr XXXIV/713/16 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 22 grudnia 2016 r.) to dokument planistyczny, który określa zasady organizacji, funkcjonowania i finansowania transportu zbiorowego na obszarze Wrocławia. W rozdziale dotyczącym standaryzacji oraz zasad organizacji i działania rynku przewozów w zakresie pożądanego standardu usług w 2022 roku wpisano 3%-procentowy udział autobusów elektrycznych i hybrydowych. Ponadto w podrozdziale dotyczącym integracji systemu wpisano preferowanie transportu z napędem elektrycznym lub hybrydowym w obszarach o wysokiej wrażliwości środowiskowej (centrum miasta i tereny zielone).

1.2.3.6 Wrocławska Strategia Rozwoju Elektromobilności

Wrocławska Strategia Rozwoju Elektromobilności (Uchwała nr XXV/675/20 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 23 lipca 2020 r.) jest dokumentem strategicznym określającym kierunki rozwoju elektromobilności we Wrocławiu. W Strategii scharakteryzowano miasto Wrocław pod względem stanu jakości powietrza, systemu transportowego oraz systemu energetycznego. Autorzy dokumentu wskazali też obszary problemowe miasta, jak niedostatecznie zintegrowany system transportu aglomeracyjnego, nadmierny udział samochodów w codziennych dojazdach do pracy, niesatysfakcjonująca prędkość komunikacyjna pojazdów komunikacji miejskiej, niedostateczny stan technicznych torów tramwajowych, mała rola transportu kolejowego w mieście, zmniejszający się udział transportu zbiorowego w podziale zadań przewozowych w mieście, niski poziom wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz przekroczone normy zanieczyszczenia powietrza. W części planistycznej przedstawiono priorytety rozwojowe składające się z czterech celów strategicznych:

- zero- i niskoemisyjna komunikacja miejska poprzez wprowadzenie pojazdów nisko- i zeroemisyjnych do obsługi publicznego transportu zbiorowego, rozbudowę systemu parkingów P+R, zakup taboru tramwajowego,
- elektromobilny samorząd, który zakłada obsługę Urzędu Miejskiego Wrocławia i jednostek pomocniczych przez minimum 30% pojazdów elektrycznych, promocję i wspieranie podmiotów prywatnych w budowie ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów oraz stosowanie wymogu wykorzystania ekologicznych pojazdów w zamówieniach publicznych,

- elektromobilny mieszkaniowiec – cel operacyjny zakłada rozwój publicznych wypożyczalni pojazdów współdzielonych rowerów elektrycznych, samochodów, hulajnóg i skuterów elektrycznych, stworzenie pakietu działań promujących elektromobilność oraz edukację przedszkolną i szkolną na temat wykorzystania energii elektrycznej w transporcie,
- Inteligentne Miasto – zakładające rozszerzenie działania istniejącego już w mieście systemu ITS (montowanie na przystankach tablic dynamicznej informacji pasażerskiej), rozwój zintegrowanego biletu, stworzenie miejskiej mapy punktów ładowania i zajętości miejsc parkingowych, uruchomienie tramwaju wodnego.

Działania mają być realizowane w latach 2020-2030.

1.2.3.7 Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla ZIT WrOF – Gmina Wrocław

Plan Gospodarki Niskoemisyjnej (PGN) dla Zintegrowanych Inwestycji Terytorialnych Wrocławskiego Obszaru Funkcjonalnego – Gmina Wrocław został uchwalony przez Radę Miejską Wrocławia w lipcu 2019 r. i jest aktualizacją poprzedniego planu uchwalonego w 2015 r. PGN wyznacza cele, strategie i kierunki działania dla rozwoju gospodarki niskoemisyjnej w Gminie Wrocław w wielu sektorach, m.in. w transporcie. Struktura dokumentu obejmuje diagnozę obecnego stanu wraz z przeprowadzeniem analizy SWOT, a następnie wskazania dotyczące jego poprawy. W rozdziale V.1.2 planu znajduje się krótki opis obecnego stanu wrocławskiej komunikacji miejskiej. Również w tym rozdziale, w analizie SWOT, wśród słabych stron wymieniono niesatysfakcjonujący udział podróży komunikacją zbiorową. W rozdziale V.2.3 wśród głównych kierunków działań w sektorze transportu wskazano dalszą wymianę taboru autobusowego na pojazdy spełniające bardziej rygorystyczne normy środowiskowe: zasilane paliwami alternatywnymi – CNG, hybrydowe i elektryczne. W rozdziale V.5, omówiono zaplanowane działania pod względem perspektywy ich realizacji. W strategii długoterminowej wskazuje się na działania w sektorze transportu jako drugie w hierarchii ważności, co jest uzasadnione bardzo dużym potencjałem redukcji emisji w tym sektorze, a także istnieniem dużych możliwości realizacji działań w zakresie m.in. transportu zbiorowego. Strategia długoterminowa PGN zakłada (w zakresie transportu, dla miasta jak i dla obszaru metropolitalnego) przede wszystkim:

- rozwój niskoemisyjnego transportu publicznego – zastosowanie niskoemisyjnych pojazdów,
- rozwój sieci transportu publicznego,
- rozwój sieci wypożyczalni i infrastruktury dla pojazdów niskoemisyjnych,
- wdrażanie stref ograniczonego ruchu, stref ograniczonej emisji, mechanizmów preferencji pojazdów niskoemisyjnych.

Jako przykładowe działanie krótko- i średnioterminowe zaproponowano zakup i wymianę pojazdów kołowych na niskoemisyjne (min. norma emisji spalin – Euro 6, hybrydowe, elektryczne, biopaliwa II i III generacji oraz inne paliwa alternatywne). Niniejsza analiza wpisuje się w powyższe cele PGN w każdej perspektywie czasowej.

1.2.3.8 Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla obszaru Gminy Wrocław na lata 2020-2035

Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla obszaru Gminy Wrocław na lata 2020-2035 został uchwalony przez Radę Miejską Wrocławia w listopadzie 2019 r. i jest aktualizacją poprzedniego planu uchwalonego w 2016 r. W dokumencie przeprowadzono ocenę stanu aktualnego, analizy, prognozy, zagrożenia i ryzyka oraz sposoby ich eliminacji dla planowanych działań oraz opisano ekologiczne aspekty realizacji dokumentu. Autorzy Założeń ocenili stan techniczny infrastruktury elektroenergetycznej średniego³ napięcia jako dobry. Pomimo tego operator sieci dystrybucyjnej przewiduje realizację inwestycji koniecznych związanych z przyłączeniem nowych odbiorców, jak również przeprowadzanie niezbędnych modernizacji infrastruktury sieciowej. Ponadto w celu zachowania właściwego poziomu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej wymagane będą działania inwestycyjne w zakresie infrastruktury wysokiego napięcia i trafostacji WN/SN.

W zakresie planów w zakresie przechodzenia na bardziej ekologiczne i zrównoważone systemy transportowe uwzględniono wyniki poprzedniej analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem w komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych. Na podstawie analizy obliczono szacunkowe zapotrzebowanie na moc infrastruktury ładowania⁴, które wyniosło łącznie 11,1 MW oraz zużycie energii autobusów na poziomie 36,2 tys. MWh. W dokumencie przedstawiono także szacunki związane z rozbudową trakcji tramwajowej oraz rozbudową i budową zakładów tramwajowych (zajezdni) związane będzie zwiększenie wykorzystania energii elektrycznej, które spowoduje zwiększenia zapotrzebowania na moc o 2,6 MW oraz wzrost zużycia energii do 2025 roku o ok. 5,6 GWh/rok.

³ Wykorzystywana przy eksploatacji infrastruktury ładowania pojazdów.

⁴ Dla 120 autobusów elektrycznych, 60 ładowarek plug-in o mocy 80 kW oraz 21 ładowarek pantografowych o mocy 300 kW w 2028 roku.

1.3 FUNKCJONUJĄCY SYSTEM TRANSPORTU ZBIOROWEGO WE WROCŁAWIU

Linie komunikacyjne we Wrocławiu oraz w gminach, z którymi zostało zawarte porozumienie międzygminne, obsługuje łącznie 6 operatorów transportu publicznego. Najwięcej zadań przewozowych realizuje spółka Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne we Wrocławiu sp. z o.o. (MPK Wrocław). Oprócz miejskiego przewoźnika, jako jego podwykonawcy, przewozy wykonują firmy:

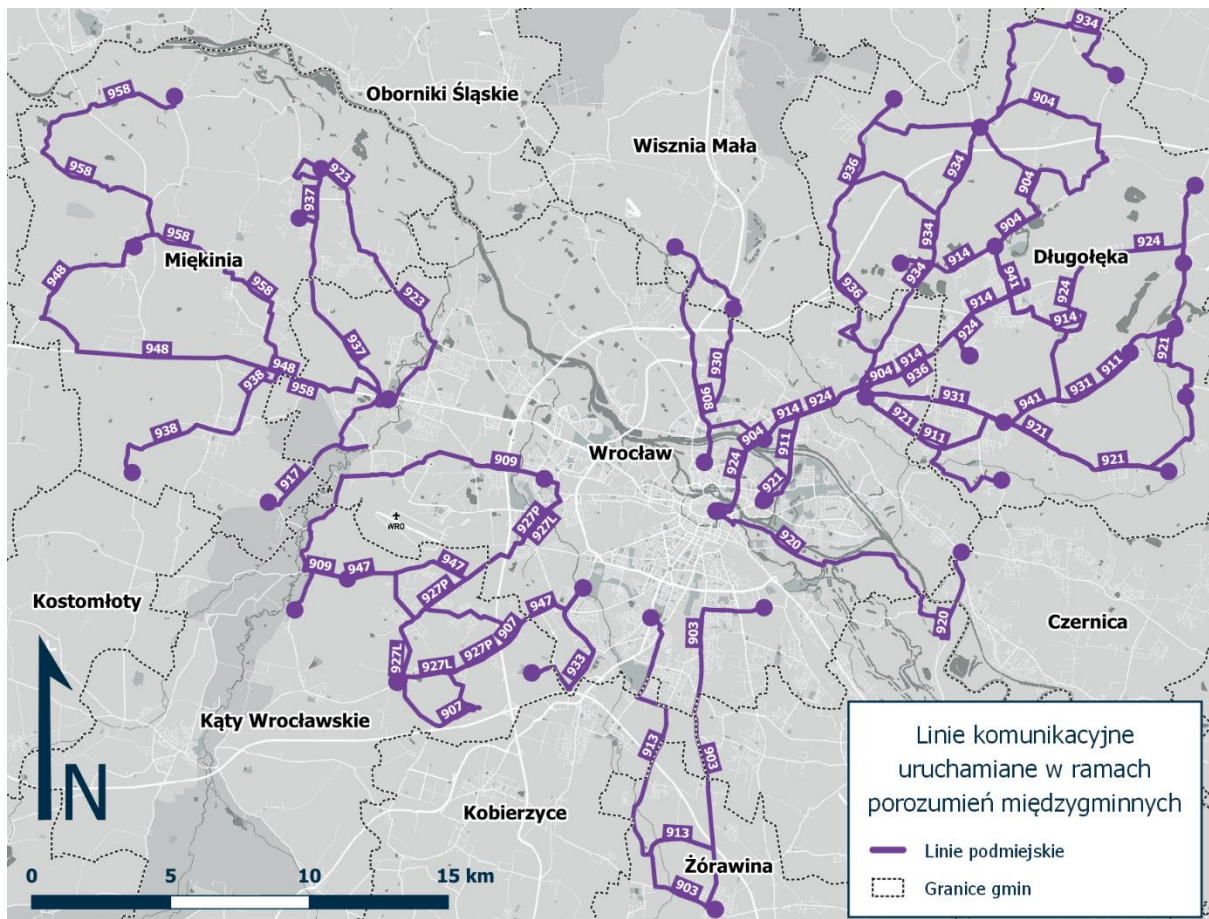
- Michalczewski sp. z o.o. (podwykonawca MPK Wrocław od 2015 roku, obsługuje następujące linie – w dni robocze: 150; w dni weekendowe i święta: 110, 128 i 148; we wszystkie dni tygodnia: 100, 112, 113, 125, 133, 140, 145, 146, 147, 149 i 612),
- Mobilis sp. z o.o. (podwykonawca MPK Wrocław od 2020 roku, obsługuje następujące linie – w dni robocze: 107 i 110; w dni weekendowe i święta: 115, 116, 118 i 119; we wszystkie dni tygodnia: 114).

Zestaw linii obsługiwanych przez poszczególnych podwykonawców może się zmieniać (w ramach zawartych umów), zgodnie z obecnym zapotrzebowaniem MPK Wrocław – powyższe zestawienie jest aktualne na dzień 30.08.2021 r.

Pozostałymi operatorami transportu publicznego na terenie Wrocławia i gmin, z którymi zawarto porozumienie, są:

- Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. (linie wykonujące kursy po osiedlu Leśnica i gm. Miękinia na zlecenie Urzędu Miasta Wrocławia na podstawie porozumienia pomiędzy Gminą Wrocław a Gminą Miękinia – w dni robocze: 937, 948, 958; we wszystkie dni tygodnia: 117, 123, 137, 138, 917, 923, 938; linie wykonujące kursy do gm. Wisznia Mała na zlecenie Urzędu Miasta Wrocławia na podstawie porozumienia pomiędzy Gminą Wrocław a Gminą Wisznia Mała dotyczącego realizacji wspólnej komunikacji miejskiej – we wszystkie dni tygodnia: 908, 930; linie wykonujące kursy do gm. Czernica, Kobierzyce, Kąty Wrocławskie, Siechnice i Żórawina na podstawie porozumień pomiędzy Gminą Wrocław a wyżej wymienionymi gminami – w dni robocze: 903, 907, 913, 920; we wszystkie dni tygodnia: 612, 909, 927L, 927P, 933, 947),
- A21 sp. z o.o. i PKS Południe Sp. z o.o. (linie 904, 911, 914, 921, 924, 931, 934, 936, 941 wykonujące kursy do gm. Długołęka na zlecenie Urzędu Miasta Wrocławia na podstawie porozumienia pomiędzy Gminą Wrocław a Gminą Długołęka dotyczącego realizacji wspólnej komunikacji miejskiej),
- Bus Marco Polo Wroclavia 1992 sp. z o.o. (linie 904, 911, 914, 921, 924 wykonujące kursy do gm. Długołęka na zlecenie Urzędu Miasta Wrocławia na podstawie porozumienia pomiędzy Gminą Wrocław a Gminą Długołęka dotyczącego realizacji wspólnej komunikacji miejskiej).

Rysunek 1. Linie komunikacyjne uruchamiane w ramach porozumień międzygminnych



Źródło: Opracowanie własne

Sieć komunikacji miejskiej we Wrocławiu w układzie stałym składa się ze 125 linii komunikacyjnych (23 tramwajowych i 102 autobusowe):

- 23 linii tramwajowych oznaczonych numerami od 0 do 33,
- 50 linii autobusowych dziennych normalnych oznaczonych numerami od 100 do 151,
- 5 linii autobusowych dziennych pośpiesznych oznaczonych literami A, C, D, K, N,
- 2 linii autobusowych dziennych szczytowych: 315, 319,
- 3 linii autobusowych dziennych podmiejskich: 602, 607, 612,
- 26 linii autobusowych strefowych normalnych oznaczonych numerami 900-958,
- 16 linii autobusowych nocnych normalnych oznaczonych numerami 206 i 240-259.

W przekroju tygodnia funkcjonują:

- przez cały tydzień 23 linie tramwajowe i 89 linie autobusowe (49 dziennych normalnych, 5 dziennych pośpiesznych, 2 dzienne podmiejskie, 17 strefowych normalnych i 16 nocnych),

- 13 linii autobusowych tylko w dni robocze – 150, 315, 319, 607, 903, 907, 913, 920, 936, 937, 941, 948, 958.

W latach 2018-2020 wielkość pracy eksploatacyjnej w przewozach autobusowych komunikacji miejskiej, wykonanej przez MPK Wrocław i podwykonawców, wzrosła z poziomu 25,3 mln wozokilometrów do prawie 29 mln wozokilometrów, tj. 14,6% w ciągu 2 lat. W poniższej tabeli przedstawiono wielkość pracy eksploatacyjnej wykonanej przez MPK Wrocław i podwykonawców oraz jej dynamikę w latach 2018-2020.

Tabela 3. Wielkość pracy eksploatacyjnej wykonanej przez MPK Wrocław i podwykonawcę w tys. wozokilometrów w latach 2018-2020

Rok	MPK Wrocław	Michalczewski	Mobilis	łącznie	Dynamika r/r
2018	20 761,37	4 530,58	-	25 291,95	
2019	22 195,29	4 298,35	-	26 493,64	+4,75%
2020	23 181,05	4 386,63	1 418,65	28 986,32	+9,41%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

Zwiększenie pracy eksploatacyjnej w latach 2018-2020 nastąpiło także w komunikacji międzygminnej z gminami Wisznia Mała, Długołęka i Miękinia. Wyjątkiem jest gmina Siechnice, która w 2019 roku stała się samodzielnym organizatorem komunikacji gminnej. Spowodowało to spadek łącznej wielkości pracy eksploatacyjnej wykonywanej w ramach komunikacji międzygminnej. W poniższej tabeli przedstawiono wielkość pracy eksploatacyjnej wykonanej w ramach komunikacji międzygminnej oraz jej dynamikę w latach 2018-2020.

Tabela 4. Wielkość pracy eksploatacyjnej wykonanej w ramach komunikacji międzygminnej w tys. wozokilometrów w latach 2018-2020

Rok	Wisznia Mała	Długołęka	Miękinia	Siechnice	łącznie
2018	363 664	1 347 815	660 975	1 009 390	3 381 845
2019	365 717	1 389 438	839 835	167 688	2 762 677
2020	385 877	1 525 343	1 038 240	-	2 949 460
Dynamika	6,1%	13,2%	57,1%	-	-12,8%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

W 2018 roku w komunikacji miejskiej we Wrocławiu przewieziono 207 mln pasażerów. W 2019 roku nastąpił wzrost do poziomu 209,6 mln pasażerów (wzrost o 1,3%). W 2020 roku liczba przewiezionych pasażerów wyniosła 121,3 mln pasażerów (spadek o 42,2%), co było wynikiem zmniejszonej mobilności społeczeństwa w wyniku restrykcji wprowadzonych w związku z pandemią COVID-19.

W komunikacji międzygminnej w 2018 roku przewieziono 1,8 mln pasażerów, rok później nastąpił wzrost do wartości 2,31 mln pasażerów (28,3%). W wyniku pandemii COVID-19, w 2020 roku nastąpił spadek do 731 tys. pasażerów (-68,4%).

1.4 PRZEGLĄD FLOTY AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

1.4.1 STRUKTURA WIELKOŚCI I WIEK POJAZDÓW

Na dzień 30 sierpnia 2021 roku komunikację miejską⁵ we Wrocławiu obsługuje łącznie 496 autobusów. W dyspozycji MPK Wrocław znajdowało się 326 pojazdów (66% wszystkich pojazdów), firmy Michalczewski sp. z o.o. 70 pojazdów (14%), firmy Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. 44 pojazdy (9%), firmy Mobilis sp. z o.o. 30 pojazdów (6%), firmy A21 sp. z o.o. 20 pojazdów (4%), firmy Bus Marco Polo sp. z o.o. 6 pojazdów (1%).

Tabela 5. Autobusy eksploatowane w komunikacji miejskiej i międzygminnej we Wrocławiu

Pojazd	Operator	Liczba pojazdów	Typ	Norma emisji spalin	Rok produkcji	Maksymalna l. miejsc
Mercedes-Benz 628 O 530 G Citaro	MPK Wrocław	42	MEGA18	Euro 5	2008-2009	167
Mercedes-Benz 628 O 530 Citaro		57	MAXI	Euro 5	2008-2009	102
Solaris Urbino 12		45	MAXI	Euro 6	2014	81
Solaris Urbino 18		12	MEGA18	Euro 6	2014	146
Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G		119	MEGA18	Euro 6	2017-2020	142
Mercedes-Benz 628 O2 Citaro		51	MAXI	Euro 6	2017-2020	91
Solaris Urbino 8,6	Michalczewski Sp. z o.o.	7	MIDI	Euro 6	2015	44
MAN NL293 Lion's City	Michalczewski Sp. z o.o.	20	MAXI	Euro 6	2015-2017	95
MAN NG323 Lion's City G		43	MEGA18	Euro 6	2015	150
ISUZU CITIPORT	Mobilis Sp. z o.o.	12	MAXI	Euro 6	2020	107
Mercedes-Benz Conecto G		18	MEGA18	Euro 6	2020	140
Mercedes-Benz Conecto	Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. (Wisznia Mała)	8	MAXI	Euro 6d	2019-2020	108
MAN EL283	A21 sp. z o.o. (Długołęka)	1	MAXI	Euro 4	2008	84
Autosan Sancity 12		1	MAXI	Euro 6	2014	106
SOR NB12		1	MAXI	Euro 6	2016	97
SOR BN12		1	MAXI	Euro 6	2016	92
SOR CN12		11	MAXI	Euro 6	2017	83
SOR BN8,5		2	MIDI	Euro 6	2018	57
SOR BN9,5		3	MIDI	Euro 6	2018	68
Solaris Urbino 18	Bus Marco Polo sp. z o.o. (Długołęka)	1	MEGA18	Euro 4	2005	152
Solaris Urbino 18		3	MEGA18	Euro 5	2007-2008	150

⁵ łącznie z komunikacją międzygminną.

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Pojazd	Operator	Liczba pojazdów	Typ	Norma emisji spalin	Rok produkcji	Maksymalna l. miejsc
Solaris Urbino 18		2	MEGA18	Euro 5	2008	163
Solaris Urbino 10,5	Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. (Miękinia)	13	MIDI	Euro 6d	2019	81
Solaris Urbino 12		4	MAXI	Euro 6d	2019	96
ZAZ A10C		1	MIDI	Euro 6d	2019	60
Isuzu Novocity Life	Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. (Czernica, Żórawina, Kąty Wrocławskie, Siechnice i Kobierzyce)	3	MIDI	Euro 6d	2021	60
Mercedes Benz Conecto		12	MAXI	Euro 6d	2021	84
MAN Lion's City		3	MAXI	Euro 6	2017	94

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

Średni wiek pojazdów wyniósł 5,4 roku, w tym dla MPK Wrocław 6,2 roku. 177 pojazdów MPK Wrocław (54% pojazdów MPK) stanowią pojazdy wydierżawione od konsorcjów banków i producentów taboru. 29 pojazdów (5,8%) stanowią pojazdy typu MIDI, 227 pojazdów (45,8%) stanowią autobusy typu MAXI, 240 autobusów (48,4%) to autobusy typu MEGA18. 228 pojazdów (46%) stanowią autobusy w wieku poniżej 3 lat, drugą najliczniejszą grupą były pojazdy w wieku 6-10 lat (127 pojazdów – 26%). Najmniej było pojazdów w wieku 15 lat i więcej (1 – 0,2%). W poniższej tabeli przedstawiono strukturę wielkości i wieku pojazdów obsługujących komunikację miejską we Wrocławiu.

Tabela 6. Struktura wielkości i wieku pojazdów obsługujących komunikację miejską we Wrocławiu

Wiek pojazdu/ typ pojazdu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
poniżej 3 lat	22	80	126	228
4-5 lat	-	24	11	35
6-10 lat	7	65	55	127
11-14 lat	-	58	47	105
15 lat i więcej	-	-	1	1

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

1.4.2 PROJEKTY WYMIANY TABORU – PRZEDSIĘWZIĘCIA REALIZOWANE I PLANOWANE

Duży odsetek autobusów w wieku poniżej 3 lat uzyskano dzięki systematycznej wymianie taboru w ostatnich latach. W latach 2017-2019 realizowano projekt „Modernizacja taboru autobusowego transportu publicznego we Wrocławiu pod względem redukcji emisji spalin”, który zakładał zakup 50 pojazdów niskopodłogowych przegubowych spełniających normę emisji spalin Euro 6. Projekt był współfinansowany ze środków Unii Europejskiej – Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego 2014-2020. W ramach postępowania przetargowego wybrano firmę EvoBus Mercedes-Benz z modelem Mercedes Citaro. W roku 2019 podpisano umowę z podwykonawcą MPK Wrocław – Mobilis, w ramach której spółka obsługuje połączenia 17 pojazdami klasy MAXI – Isuzu Citiport oraz 13 autobusami klasy MEGA18 – Mercedes. W marcu 2020 roku MPK Wrocław podpisało umowę na 10-letnią dzierżawę kolejnych 60 autobusów z normą spalania Euro 6 (31 klasy MAXI oraz 29 klasy MEGA18), które zastąpiły najstarsze pojazdy wrocławskiego przewoźnika. W postępowaniu przetargowym ponownie wygrał EvoBus Mercedes-Benz Polska z modelem Mercedes Citaro. Nowoczesny tabor był także wymagany w postępowaniach przetargowych na obsługę linii międzygminnych w gminie Wisznia Mała, Miękinia oraz linii aglomeracyjnych, które są obsługiwane autobusami firmy Mercedes, Solaris, ZAZ, Isuzu. W poniższej tabeli przedstawiono projekty inwestycyjne związane z zakupem taboru do obsługi komunikacji miejskiej we Wrocławiu.

Tabela 7. Projekty inwestycyjne związane z zakupem taboru do obsługi komunikacji miejskiej we Wrocławiu

Rok zakupu/ rozpoczęcie dzierżawy	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma emisji spalin
2019	Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G	MEGA18	50	2019	Euro 6
	Isuzu Citiport	MAXI	18	2019	
	Mercedes Conecto G	MAXI	1	2019	Euro 6d
	Solaris Urbino 10,5	MIDI	13	2019	
	Solaris Urbino 12	MAXI	4	2019	
	ZAZ A10C	MIDI	1	2019	
2020	Mercedes-Benz Conecto	MEGA18	12	2020	Euro 6
	Mercedes-Benz 628 O2 Citaro	MAXI	31		
	Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G	MEGA18	29		
2021	Isuzu Novocity Life	MIDI	3	2021	Euro 6d
	Mercedes-Benz Conecto	MAXI	12	2021	Euro 6d

Źródło: Opracowanie własne

Ponadto spółka MPK Wrocław sp. z o.o. w styczniu 2021 roku złożyła wniosek o dofinansowanie w formie dotacji oraz pożyczki z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w programie Zielony Transport Publiczny. Przedmiotem przedsięwzięcia miały być zakup i dostawa 28 sztuk autobusów elektrycznych o napędzie zeroemisyjnym. Ponadto, w ramach przedsięwzięcia, miała zostać wykonana niezbędna infrastruktura na terenie Zakładu Autobusowego przy ul. Obornickiej nr 131 i pętlach autobusowych (pętla Kamieńskiego, pętla Rogowska, pętla Port Lotniczy) zlokalizowanych przy trasach, na których będą kursowały zakupione autobusy elektryczne (linie K, 106, 142 i 129.). W wyniku przeprowadzonych negocjacji pod koniec lipca 2021 roku pomiędzy przedstawicielami Spółki MPK Wrocław oraz NFOŚiGW ostatecznie przedmiotem przedsięwzięcia będzie zakup i dostawa 11 sztuk autobusów elektrycznych o napędzie zeroemisyjnym oraz wykonanie niezbędnej infrastruktury na terenie Zakładu Autobusowego przy ul. Obornickiej nr 131 i na pętli autobusowej przy ul. Kamieńskiego (linia K). Koszt przedsięwzięcia wyniesie 46,2 mln zł, w tym 32,5 mln zł zostanie sfinansowane z bezzwrotnej dotacji, natomiast pozostałe środki zostaną pozyskane w ramach pożyczki z NFOŚiGW.

1.4.3 NORMY EMISJI SPALIN

Wszystkie pojazdy obsługujące komunikację miejską we Wrocławiu są niskopodłogowe oraz wyposażone w silniki napędzane olejem napędowym. Najwięcej z nich stanowią pojazdy z normą emisji spalin Euro 6 (346 pojazdów – 70%). Około 0,4% (2 sztuki) stanowią autobusy z najmniej ekologiczną normą emisją spalin Euro 4. W poniższej tabeli przedstawiono strukturę taboru pod względem normy emisji spalin.

Tabela 8. Struktura taboru pod względem normy emisji spalin

Wiek pojazdu/ typ pojazdu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
Euro4	-	1	1	2
Euro 5		57	47	104
Euro 6	12	142	192	346
Euro 6d	14	12	-	26

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

1.4.4 ZUŻYCIE PALIWA I KOSZTY OBSŁUGI TECHNICZNEJ

Finansowanie przewozów komunikacji miejskiej we Wrocławiu odbywa się na podstawie przepisów rozporządzenia 1370/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady dotyczącego usług publicznych w zakresie kolejowego i drogowego transportu pasażerskiego. Określa ono wynagrodzenie przysługujące operatorowi za realizację powierzonego zadania przewozowego oraz sposób kontrolowania i weryfikacji otrzymanego przez operatora wynagrodzenia. Roczne wynagrodzenie stanowi kwota środków finansowych z uwzględnieniem podatku VAT zabezpieczonych w budżecie Gminy Wrocławia i w Wieloletniej Prognozie Finansowej. W budżetach samorządów, z którymi Gmina Wrocław ma podpisane porozumienie na

organizację transportu publicznego na ich obszarze, są zabezpieczone środki na dotację dla Gminy Wrocław. Kwota jest przeznaczona na pokrycie niezbędnych kosztów przy realizacji przewozów, wykorzystaniu i utrzymaniu niezbędnej infrastruktury technicznej oraz kosztów finansowych z uwzględnieniem podatku dochodowego oraz rozsądnego zysku. Jednym z ważnych aspektów są ponoszone koszty związane z eksploatacją taboru:

- koszt paliwa, które jest pochodną średniego zużycia paliwa,
- koszt zużycia materiałów i części zamiennych,
- koszt zużycia płynów eksploatacyjnych,
- koszt napraw autobusów razem z robocizną,
- koszt zużycia ogumienia.

Poniższe zestawienia zostały przedstawione dla grup pojazdów obecnie eksploatowanych w komunikacji miejskiej.

Pod względem zużycia paliwa największymi wartościami cechują się pojazdy firmy Solaris a najmniejszym najnowsze pojazdy firmy Mercedes.

Tabela 9. Średnia ilość zużywanego paliwa i koszt paliwa na 100 km w latach 2019-2020⁶

Nazwa	Norma emisji	Typ	Średnie zużycie paliwa [l/100km]	Koszt paliwa [zł/100km]
Mercedes-Benz 628 O530 Citaro	Euro 5	MAXI	39,79	140,01 zł
Solaris Urbino 12	Euro 6	MAXI	41,54	146,17 zł
Mercedes-Benz 628 O2 Citaro	Euro 6	MAXI	37,05	130,39 zł
Mercedes-Benz 628 O530 G Citaro	Euro 5	MEGA18	53,89	189,64 zł
Solaris Urbino 18	Euro 6	MEGA18	54,35	191,26 zł
Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G	Euro 6	MEGA18	51,04	179,60 zł

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

Analizując poniesione koszty zużycia materiałów i części zamiennych w latach 2019-2020, można stwierdzić, że nastąpił spadek ponoszonych kosztów o 7,4%. Spadły też łączne koszty w przeliczeniu na kilometr z poziomu 0,28 zł za km do 0,26 zł za km. Najwyższe koszty są ponoszone dla najstarszych pojazdów, co wiąże się z wyższą awaryjnością danych pojazdów.

Tabela 10. Koszty zużycia materiałów i części zamiennych w latach 2019-2020

Nazwa	Typ	2019 (zł)	2020 (zł)	2019 (zł/km)	2020 (zł/km)
Mercedes-Benz 628 O530 Citaro	MAXI	2 007 195,11	2 025 805,86	0,41	0,42
Solaris Urbino 12	MAXI	1 161 568,6	1 225 952,66	0,33	0,31
Mercedes-Benz 628	MAXI	187 582,84	295 335,95	0,10	0,13

⁶ Dla porównania: koszt energii na przejechanie 100 km autobusem elektrycznym akumulatorowym klasy MAXI przy zużyciu 150 kWh na 100 km kosztuje 76,14 zł, klasy MEGA18 – 101,53 zł (bez uwzględnienia opłat za dystrybucję i dostarczoną moc). W przypadku autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi klasy MAXI przy zużyciu 9 kg i cenie paliwa wodorowego w Niemczech koszt paliwa na 100 km wynosi 379,88 zł, w przypadku autobusu klasy MEGA18 przy zużyciu 14 kg na 100 km – 590,92 zł.

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Nazwa	Typ	2019 (zł)	2020 (zł)	2019 (zł/km)	2020 (zł/km)
O2 Citaro					
Mercedes-Benz 628 O530 G Citaro	MEGA18	1 434 419,53	1 547 266,5	0,53	0,63
Solaris Urbino 18	MEGA18	279 506,92	410 854,98	0,31	0,48
Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G	MEGA18	559 308,33	538 144,59	0,15	0,08
łącznie		5 629 581,33 zł	6 043 360,54 zł	0,28 zł	0,26 zł

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

W latach 2019-2020 nastąpił wzrost kosztów zużycia płynów eksploatacyjnych o 16,3%. Wiąże się to prawdopodobnie ze wzrostem pracy eksploatacyjnej wykonywanej przez pojazdy. Największymi kosztami w porównaniu do wykonanej pracy eksploatacyjnej charakteryzują się autobusy Mercedes-Benz 628 O 530 G Citaro oraz Solaris Urbino 18.

Tabela 11. Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych w latach 2019-2020

Nazwa	Typ	2019 (zł)	2020 (zł)	2019 (zł/km)	2020 (zł/km)
Mercedes-Benz 628 O530 Citaro	MAXI	125 400,97	124 125,25	0,03	0,03
Solaris Urbino 12	MAXI	126 719,25	101 834,47	0,04	0,03
Mercedes-Benz 628 O2 Citaro	MAXI	29 776,39	57 742,29	0,02	0,03
Mercedes-Benz 628 O530 G Citaro	MEGA18	97 772,52	88 155,94	0,04	0,04
Solaris Urbino 18	MEGA18	33 671,97	29 790,14	0,04	0,04
Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G	MEGA18	94 354,04	189 003,88	0,03	0,03
łącznie		507 695,14	590 651,97	0,03	0,03

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

Pod względem kosztów napraw autobusów, włączając robociznę, nastąpił wzrost o 9,6%. Spadły też łączne koszty w przeliczeniu na kilometr – z poziomu 0,48 zł za km do 0,46 zł za km. Najwyższe koszty są ponoszone dla najstarszych pojazdów, co wiąże się z wyższą awaryjnością danych pojazdów.

Tabela 12. Koszty napraw autobusów, włączając robociznę, w latach 2019-2020

Nazwa	Typ	2019 (zł)	2020 (zł)	2019 (zł/km)	2020 (zł/km)
Mercedes-Benz 628 O530 Citaro	MAXI	3 426 787,10	3 577 325,63	0,70	0,75
Solaris Urbino 12	MAXI	2 011 112,36	2 145 102,34	0,57	0,55
Mercedes-Benz 628 O2 Citaro	MAXI	273 936,00	494 490,33	0,15	0,22
Mercedes-Benz 628 O530 G Citaro	MEGA18	2 531 228,12	2 560 899,85	0,94	1,04
Solaris Urbino 18	MEGA18	535 059,19	694 580,90	0,60	0,82
Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G	MEGA18	889 819,87	1 123 798,23	0,24	0,17
łącznie		9 667 942,64	10 596 197,28	0,48	0,46

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

W latach 2019-2020 nastąpił także wzrost kosztów zużycia ogumienia o 36,6%. Wynika to prawdopodobnie ze wzrostu pracy eksploatacyjnej wykonywanej przez pojazdy.

Tabela 13. Koszty zużycia ogumienia w latach 2019-2020

Nazwa	Typ	2019 (zł)	2020 (zł)	2019 (zł/km)	2020 (zł/km)
Mercedes-Benz 628 O530 Citaro	MAXI	189 798,00	163 274,85	0,04	0,03
Solaris Urbino 12	MAXI	87 000,60	134 021,00	0,02	0,03
Mercedes-Benz 628 O2 Citaro	MAXI	9 276,00	52 750,00	0,01	0,02
Mercedes-Benz 628 O530 G Citaro	MEGA18	149 924,00	133 449,93	0,06	0,05
Solaris Urbino 18	MEGA18	39 651,80	43 132,00	0,04	0,05
Mercedes-Benz 628 O3 Citaro G	MEGA18	2 458,00	126 615,52	0,00	0,02
Łącznie:		478 108,40	653 243,30	0,02	0,03

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

1.5 PRACA EKSPLOATACYJNA AUTOBUSÓW

Zgodnie z otrzymanymi danymi z Urzędu Miejskiego Wrocławia na liniach obsługiwanych przez MPK Wrocław oraz podwykonawców spółki istniało zapotrzebowanie w dzień roboczy na 216 pojazdów przegubowych oraz 168 autobusów klasy MIDI i MAXI (łącznie 384 pojazdy). Wśród linii autobusowych normalnych, pośpiesznych, szczytowych oraz podmiejskich najczęściej autobusów kursuje na liniach D (15 autobusów przegubowych), N (12 autobusów przegubowych) oraz 145 (12 autobusów przegubowych). Najmniej ekspediovanych autobusów było na liniach 100 (1 autobus klasy MIDI), 120 (2 autobusy klasy MIDI) i 140 (2 autobusy klasy MAXI). W dni wolne zapotrzebowanie na autobusy przegubowe spada do 60 pojazdów, a autobusów klasy MIDI i MAXI do poziomu 129 pojazdów. Najwięcej autobusów kursowało na liniach N (7 autobusów przegubowych), 126 (7 autobusów klasy MAXI), 106 (6 autobusów przegubowych) a najmniej na liniach 100, 120, 140, 147 (1 autobus MIDI). Na liniach strefowych największe zapotrzebowanie występowało na liniach 908 (4 pojazdy MAXI) oraz linii 123 (4 pojazdy MAXI i MIDI), a najmniejsze na liniach 937, 958 (po 1 pojeździe MIDI), 940 (1 pojazd MINI), 948 (1 pojazd MAXI lub MIDI).

Pod względem pracy eksploatacyjnej na liniach miejskich w dni robocze najczęściej pracy wykonują autobusy MEGA18 (44,9 tys. wzkm w 2019 roku i 46,7 tys. wzkm w 2020 roku), w przypadku dni wolnych autobusy klasy MAXI (odpowiednio 40,2 tys. wzkm w sobotę oraz 38,4 tys. w niedzielę; w 2020 – 39,4 tys. wzkm i 40,8 tys. wzkm). Znacznie zmniejszone zapotrzebowanie na autobusy przegubowe w dni wolne (odpowiednio 17,5 tys. wzkm w sobotę oraz 16,9 tys. wzkm w niedzielę, w 2020 – 18,0 tys. wzkm i 17,6 tys. wzkm) oraz nieznacznie mniejsze zapotrzebowanie na autobusy klasy MAXI w dni robocze (37,3 tys. wzkm w 2019 i 39,2 tys. wzkm w 2020) powoduje, że w ujęciu miesięcznym autobusy 12-metrowe wykonywały większą pracę eksploatacyjną niż autobusy przegubowe.

W ujęciu linii miejskich dziennych w 2020 w dni robocze największa praca eksploatacyjna była wykonywana na liniach D (3067,9 wzkm), 127 (2886,1 wzkm) oraz 128 (2718,4 wzkm) a najmniejsza na liniach 100 (308,4 wzkm) oraz 147 (317,7 wzkm). Analizując pracę

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

eksploatacyjną w dni wolne, największa praca eksploatacyjna jest wykonywana na liniach 106 (2443,8 wzkm), 127 (2453,8 w sobotę i 2440,7 wzkm w niedzielę), D (2387,9 w sobotę i 2376,0 wzkm w niedzielę) a najmniejsza na liniach 140 (208,5 wzkm), 100 i 147 (231,3 wzkm). W poniższej tabeli przedstawiono pracę eksploatacyjną poszczególnych typów i rodzajów autobusów eksploatowanych na liniach miejskich wykonywanych w latach 2019-2020 z rozróżnieniem na przedziały czasowe.

Tabela 14. Wielkość pracy eksploatacyjnej poszczególnych typów i rodzajów autobusów eksploatowanych na liniach miejskich wykonywanej w latach 2019-2020

Typ taboru/ Rok	Średnia z przedziału czasowego	MIDI [wzkm]	MAXI [wzkm]	MEGA18 [wzkm]
2019	Dzień roboczy	1 475,37	37 342,00	44 944,20
	Sobota	960,00	40 203,09	17 533,87
	Niedziela	938,85	38 353,44	16 783,03
	Miesiąc	38 966,75	1 176 790,09	1 013 653,13
2020	Dzień roboczy	1 510,13	39 423,40	46 694,51
	Sobota	1 013,25	40 829,02	18 003,49
	Niedziela	992,10	39 248,47	17 623,18
	Miesiąc	41 458,38	1 220 302,11	1 130 783,86

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

W przypadku linii strefowych największą pracę eksploatacyjną wykonywały autobusy klasy MAXI. W porównaniu do 2020 roku nastąpił wzrost pracy eksploatacyjnej tego typu autobusów – z 1,3 mln wzkm do 2,0 mln wzkm. W tym samym czasie zmniejszyła się roczna praca eksploatacyjna wykonywana przez autobusy klasy MINI (z 521,4 tys. wzkm do 204,2 tys. wzkm w 2020 roku) i MIDI (z 987,0 tys. wzkm do 783,1 tys. wzkm). Spadek wykonywanej pracy eksploatacyjnej przez te autobusy wynika ze zmiany operatora na liniach obsługujących gm. Miękinie oraz Wisznia Mała. W kolejnej tabeli przedstawiono pracę eksploatacyjną poszczególnych typów i rodzajów autobusów eksploatowanych na liniach strefowych wykonywaną w latach 2019-2020 z rozróżnieniem na okresy miesięczny i roczny.

Tabela 15. Wielkość pracy eksploatacyjnej poszczególnych typów i rodzajów autobusów eksploatowanych na liniach strefowych wykonywanej w latach 2019-2020

Typ taboru/ Rok	Przewoźnik (obszar obsługi)	Średnia z przedziału czasowego	MINI [wzkm]	MIDI [wzkm]	MAXI [wzkm]
2019	A21 sp. z o.o. (Długołęka)	Miesiąc	17 233,17	26 172,02	72 381,27
		Rok	206 798,05	314 064,28	868 575,24

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

Typ taboru/ Rok	Przewoźnik (obszar obsługi)	Średnia z przedziału czasowego	MINI [wzkm]	MIDI [wzkm]	MAXI [wzkm]
	Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. (Siechnice)	Miesiąc	-	11 142,80	72 701,19
		Rok	-	22 285,60	145 402,37
	Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o./ Warbus sp. z o.o. (Miękinia)	Miesiąc	23 945,84	37 064,66	6 703,22
		Rok	314 620,17	444 775,89	80 438,62
	Sevibus sp. z o.o. (Wisznia Mała)	Miesiąc	-	17 153,03	13 323,35
		Rok	-	205 836,35	159 880,18
	Łącznie	Miesiąc	43 451,52	82 246,84	104 524,70
		Rok	521 418,22	986 962,12	1 254 296,37
2020	A21 sp. z o.o. (Długotłęka)	Miesiąc	15 103,2	26 938,9	85 069,9
		Rok	181 238,3	323 266,7	1 020 838,6
	Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. (Miękinia)	Miesiąc	1 917,4	29 661,0	54 941,7
		Rok	23 008,35	355 931,44	659 300,57
	Sevibus sp. z o.o./ Dolnośląskie Linie Autobusowe sp. z o.o. (Wisznia Mała)	Miesiąc	-	8 659,5	23 496,9
		Rok	-	103 914,20	281 963,05
	Łącznie	Miesiąc	17 020,55	65 259,36	163 508,52
		Rok	204 246,65	783 112,33	1 962 102,22

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia

1.6 WPŁYW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ NA JAKOŚĆ ŚRODOWISKA

Zanieczyszczenie powietrza przez autobusy komunikacji miejskiej zależy w dużym stopniu od normy emisji spalin, jaką posiada dany pojazd, średniego zużycia paliwa oraz wykonanego dystansu. Do zanieczyszczeń generowanych przez pojazdy można zaliczyć: tlenki azotu (NO_x), cząstki stałe (PM), dwutlenek węgla (CO_2), niemetanowe węglowodory oraz niemetanowe lotne związki organiczne (NMHC, NMVOC). Do oszacowania rocznej emisji zanieczyszczeń pogrupowano pojazdy według normy emisji spalin oraz marki i modelu autobusu. W przypadku braku danych dotyczących zużycia paliwa dla danego pojazdu przyjmowano wartości dla podobnych pojazdów użytkowanych w MPK Wrocław pod względem normy emisji i wielkości pojazdu. W poniższej tabeli przedstawiono szacowaną emisję zanieczyszczeń powietrza na km w 2020 roku na podstawie kalkulatora Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT).

Tabela 16. Zużycie oleju napędowego przez pojazdy oraz wielkość emisji zanieczyszczeń do atmosfery w przeliczeniu na km

Model pojazdu	Norma emisji spalin	NO_x [g/km]	NMHC, NMVOC [g/km]	CO_2 [g/km]	PM [g/km]
MAN EL283	Euro 4	14,65	1,92	1087	0,08
Mercedes-Benz O530	Euro 5	7,88	1,81	1024	0,08
Mercedes-Benz O530G		10,66	2,45	1385	0,11
Solaris Urbino 12	Euro 6	1,64	0,53	1064	0,04
Solaris Urbino 18		2,14	0,70	1392	0,05
Mercedes-Benz 628 O2		1,46	0,48	951	0,04
Mercedes-Benz 628 O3		2,02	0,66	1312	0,05
Solaris Urbino 8,6		1,16	0,38	754	0,03
MAN NL293 Lion's City		1,57	0,51	1023	0,04
MAN NG323 Lion's City G		2,03	0,66	1321	0,05
Isuzu Citiport		1,57	0,51	1023	0,04
Mercedes-Benz Conecto G		2,03	0,66	1321	0,05
Mercedes-Benz Conecto		1,57	0,51	1023	0,04
Mercedes-Benz Conecto		1,57	0,51	1023	0,04

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

Model pojazdu	Norma emisji spalin	NO _x [g/km]	NMHC, NMVOC [g/km]	CO ₂ [g/km]	PM [g/km]
Autosan Sancity 12		1,57	0,51	1023	0,04
SOR NB12		1,57	0,51	1023	0,04
SOR BN12		1,57	0,51	1023	0,04
SOR CN12		1,57	0,38	1023	0,04
SOR BN8,5		1,16	0,51	754	0,03
SOR BN9,5		1,57	0,51	1023	0,04
Solaris Urbino 10,5		1,57	0,51	1023	0,04
Solaris Urbino 12		1,57	0,51	1023	0,04
ZAZ A10C		1,16	0,38	754	0,03

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK Wrocław i kalkulatora emisji Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT)

Łączna emisja zanieczyszczeń w 2020 roku wyniosła 33,8 tys. ton CO₂, 94,6 ton tlenków azotu, 27,5 ton niemetanowych lotnych związków organicznych oraz 1,6 tony pyłów zawieszonych. W poniższej tabeli przedstawiono szacowaną emisję zanieczyszczeń powietrza w 2020 roku na podstawie kalkulatora Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT).

Tabela 17. Liczba przejechanych kilometrów oraz wielkość rocznej emisji zanieczyszczeń do atmosfery przez obecnie eksploatowane pojazdy

Model pojazdu	Norma emisji spalin	Liczba przejechanych kilometrów	NO _x [t/rok]	NMHC, NMVOC [t/rok]	CO ₂ [t/rok]	PM [t/rok]
MAN EL283	Euro 4	68 056	1,00	0,13	74	0,006
Mercedes-Benz O530	Euro 5	2 445 569	26,07	6,00	3 388	0,261
Mercedes-Benz O530G		4 754 948	37,46	8,62	4 867	0,375
Solaris Urbino 12	Euro 6	3 876 036	6,35	2,06	4 125	0,159
Solaris Urbino 18		841 682	1,80	0,59	1 172	0,045
Mercedes-Benz 628 O3		6 403 864	12,93	4,20	8 401	0,323
Mercedes-Benz 628 O2		2 201 775	3,22	1,05	2 094	0,081

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

Model pojazdu	Norma emisji spalin	Liczba przejechanych kilometrów	NO _x [t/rok]	NMHC, NMVOC [t/rok]	CO ₂ [t/rok]	PM [t/rok]
Solaris Urbino 8,6		476 129	0,55	0,18	359	0,014
MAN NL293 Lion’s City		1 073 974	1,69	0,55	1 099	0,042
MAN NG323 Lion’s City G		2 836 524	5,77	1,87	3 748	0,144
Isuzu Citiport		990 195	1,56	0,51	1 013	0,039
Mercedes-Benz Conecto G		428 453	0,87	0,28	566	0,022
Mercedes-Benz Conecto		48 235	0,08	0,02	49	0,002
Mercedes-Benz Conecto		337 643	0,53	0,17	345	0,013
Autosan Sancity 12		68 056	0,11	0,03	70	0,003
SOR NB12		68 056	0,11	0,03	70	0,003
SOR BN12		68 056	0,11	0,03	70	0,003
SOR CN12		748 615	1,18	0,38	766	0,029
SOR BN8,5		181 238	0,21	0,07	137	0,005
SOR BN9,5		323 267	0,51	0,17	331	0,013
Solaris Urbino 10,5		355 931	0,56	0,18	364	0,014
Solaris Urbino 12		659 301	1,04	0,34	675	0,026
ZAZ A10C		23 008	0,03	0,01	17	0,001
Suma:		29 278 610	94,85	27,48	33 798	1,62

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Miejskiego Wrocławia i kalkulatora emisji Centrum Unijnych Projektów Transportowych

1.7 ANALIZA OBECNEJ INFRASTRUKTURY W ASPEKcie WDROŻENIA AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Biorąc pod uwagę zapisy Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych, za autobus zeroemisyjny uznaje się pojazd jako autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną zmagazynowaną w akumulatorach lub wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniach oraz trolejbus w rozumieniu art. 2 pkt 83 Ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym. W aspekcie wdrożenia autobusów zeroemisyjnych pod względem infrastruktury należy stwierdzić, że:

- aktualnie w Polsce nie funkcjonują stacje tankowania wodoru, jednakże pierwsze przedsiębiorstwa komunikacyjne w Polsce zdecydowały się na wykorzystanie autobusów napędzanych wodorem poprzez zgłoszenie swoich wniosków do NFOŚiGW w programie Zielony Transport Publiczny,
- obecnie funkcjonują 3 systemy trolejbusowe: w Gdyni i Sopocie, Lublinie oraz Tychach. Znaczną wadą systemów trolejbusowych jest konieczność budowy specjalnej infrastruktury do ich eksploatacji – specjalnie dostosowanej zajezdni, podstacji trakcyjnych oraz sieci trakcyjnej zasilanej prądem stałym o napięciu 600 V⁷, zmniejszając też przy tym elastyczność zmiany trasy linii. W miejscach skrzyżowań i rozjazdów podwieszone są dodatkowo zwrotnice, krzyżówki i inne urządzenia, które wpływają negatywnie na estetykę i nie wszędzie są akceptowane. W konsekwencji, do uruchomienia systemu potrzebne są wysokie nakłady finansowe i czasowe. W ostatnich latach producenci taboru trolejbusowego podjęli się zwiększenia elastyczności trolejbusów poprzez zastosowanie akumulatorów LTO o pojemności 40-80 kWh w pojazdach. Zastosowanie zestawu baterijnego pozwala na przejechanie odcinka o długości 10-20 km bez konieczności przejazdu pod siecią trakcyjną. Dzięki takiemu rozwiązaniu nie ma konieczności budowy sieci trakcyjnej na odcinkach peryferyjnych lub zabytkowych, a także umożliwia to swobodne ominięcie utrudnień na trasie przejazdu. Ponadto istnieje możliwość doładowania takiego pojazdu z wykorzystaniem ładowarek plug-in. Z tego względu zaczyna się zacierać różnica pomiędzy trolejbusem a autobusem elektrycznym. Prowadzi to do sytuacji, w której naładowane trolejbusy nie korzystają z sieci trakcyjnej, pomimo takiej możliwości, lub następuje likwidacja systemów trolejbusowych na rzecz elektrobusów,
- w przypadku inwestycji w autobusy elektryczne konieczny jest montaż infrastruktury punktowej w postaci ładowarek.

Obecnie w zajezdni autobusowej przy ul. Obornickiej MPK Sp. z o.o. nie ma dostępnych miejsc dla autobusów elektrycznych, a liczba miejsc postojowych jest ograniczona do obecnej liczby posiadanego taboru. W ramach przeprowadzonej przebudowy w 2015 roku każde z miejsc postojowych autobusów zostało wyposażone w infrastrukturę umożliwiającą montaż ładowarek. Zrealizowana infrastruktura objęła wykonanie specjalnej kanalizacji kablowej dla

⁷ We Wrocławiu funkcjonuje obecnie sieć trakcyjna o takim napięciu wykorzystywana w sieci tramwajowej. Jednak ze względu na odmienną charakterystykę obu środków transportu (trolejbus nie posiada sieci powrotnej w postaci szyn, tylko sieć napowietrzną) nie ma możliwości wykorzystania sieci tramwajowej.

potrzeb rozprawadzenia zasilania do ładowania autobusów elektrycznych. W przypadku rozpoczęcia eksploatacji autobusów elektrycznych konieczna będzie rozbudowa sieci elektroenergetycznej poprzez wymianę transformatorów, dostosowanie układu pomiarowego i szyn zbiorczych zwiększonej mocy oraz montaż ładowarek. Ponadto konieczne będzie wybudowanie dwóch linii zasilających: podstawowej i rezerwowej, połączonych z GPZ (Główny Punkt Zasilający) przy ul. Żmigrodzkiej, zakupienie stacji transformatorowej typu kontenerowego z dwoma transformatorami, rozdzielnicą średniego oraz niskiego napięcia. Na obszarze miasta konieczny będzie także montaż ładowarek pantografowych razem z przyłączem i stacją transformatorową. Konieczne będzie także zwiększenie mocy przyłączeniowej, która wynosi 800 kW, oraz stworzenie łącza zapasowego, które zapewni dostawę prądu. W przypadku zakupu autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi niezbędne będzie stworzenie odpowiedniej infrastruktury do ich obsługi, a także dostosowanie stacji paliw do możliwości tankowania nowego paliwa – wodoru. Na obecnie zajmowanym terenie zajezdni nie ma możliwości stworzenia odpowiedniej infrastruktury do obsługi i tankowania pojazdów napędzanych paliwem wodorowym. Zajezdnie pozostałych operatorów obsługujących komunikację miejską i międzygminną także nie są dostosowane do obsługi pojazdów zeroemisyjnych.

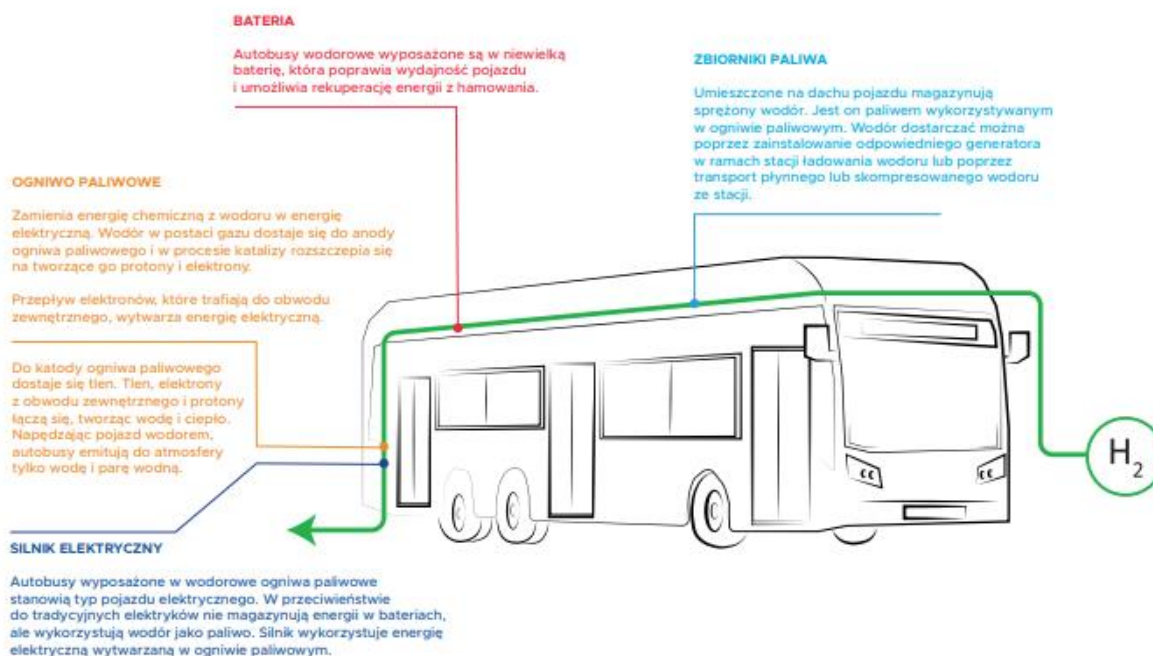
2 Przegląd środków transportu możliwych do zastosowania w komunikacji miejskiej z uwzględnieniem kosztów zakupu i eksploatacji oraz budowy infrastruktury

2.1 ANALIZA RYNKU AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

2.1.1 AUTOBUSY ELEKTRYCZNE Z WODOROWYMI OGNIWAMI PALIWOWYMI

Jednym z napędów zeroemisyjnych, według ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych⁸, jest napęd wykorzystujący energię elektryczną wytworzoną z wodoru (czysty w 99,9999%) w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych oraz magazynowaną w akumulatorach doładowywanych podczas jazdy autobusu. Zaletą autobusu jest całkowity brak emisji szkodliwych substancji do atmosfery – efektem końcowym jest woda (pod warunkiem, że paliwo wodorowe zostanie uzyskane z elektrolizy wody z użyciem prądu wytworzonego ze źródeł odnawialnych, a nie z reformingu parowego gazu ziemnego podczas którego wydziela się tlenek węgla).

Rysunek 2. Funkcjonowanie autobusu zasilanego wodorowymi ogniwami paliwowymi



Źródło: Zespół Doradców Gospodarczych TOR, Transport kluczem do rozwoju technologii wodorowych w Polsce, 2021

Tankowanie autobusu zajmuje około 5-15 minut, co stanowi o wiele krótszy czas niż ładowanie autobusów elektrycznych i jest to wynik podobny do tankowania autobusu o napędzie wysokoprężnym. Tankowanie autobusu wymaga budowy stacji tankowania

⁸ Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.).

wodoru w zajezdni autobusowej, co – w porównaniu do autobusów elektrycznych – nie wymaga budowania dodatkowej infrastruktury na terenie miasta. Zaletą jest także obniżona emisja hałasu względem autobusu spalinowego. Podczas przejazdu autobus wodorowy emituje 69 dB a autobus z napędem Diesla na poziomie 77 dB. W przypadku postoju wartość ta spada do 63 dB. Z doświadczeń operatorów korzystających z autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi średnie zużycie wodoru wynosi 9 kg/100 km w autobusach klasy MAXI oraz około 14 kg/100 km w autobusach klasy MEGA18. Zbiorniki o pojemności 35-38 kg pozwalają na przejechanie od około 270 do 420 km na jednym tankowaniu. Koszt 1 kg na stacjach w Niemczech wynosi 9,5 euro. W poniższej tabeli przedstawiono specyfikację dostępnych autobusów wodorowych na rynku.

Tabela 18. Specyfikacja dostępnych autobusów wodorowych na rynku

Model	Długość	Ogniwa paliwowe	Pojemność baterii	Zasięg
Van Hool A330 FC ⁹	12 metrów	85 kW	24 lub 36 kWh	350 km
Solaris Urbino 12 Hydrogen ¹⁰	12 metrów	70 kW	29,2 kWh	350 km
Van Hool Exqui.City 18 FC ¹¹	18 metrów	100 kW	Brak danych	300 km

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 3. Tankowanie autobusu elektrycznego z wodorowymi ogniwami paliwowymi w Wuppertal



⁹ Autobus wodorowy Van Hool A330 FC, <http://gashd.eu/2018/10/28/autobus-wodorowy-van-hool-a330fc/>, dostęp: 24.08.2021 r.

¹⁰ Solaris Urbino 12 Fuelcell Hydrogen – autobus na wodór (2018) <http://gashd.eu/2018/10/17/solaris-urbino-12-fuelcell-hydrogen-autobus-na-wodor/>, dostęp: 24.08.2021 r.

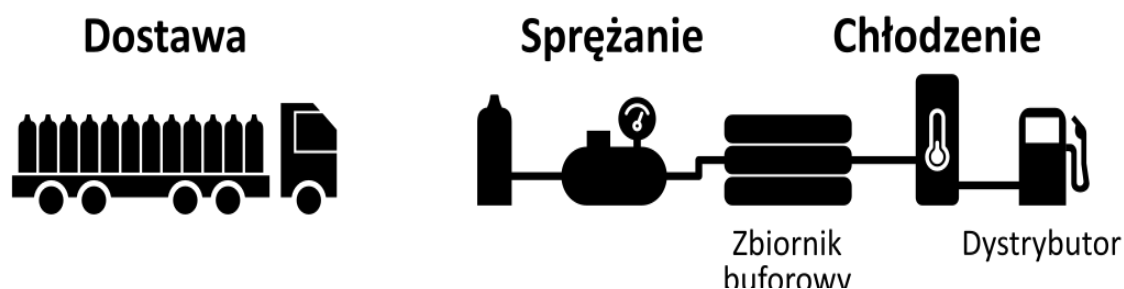
¹¹ Van Hool towards the launch of the new A330 FC and Exqui.City 18 FC. A fuel cell future <https://www.sustainable-bus.com/news/van-hool-launch-new-a330-fc-and-exqui-fuel-cell-future/>, dostęp: 24.08.2021 r.

Źródło: fuelcellworks.com, dostęp: 4.10.2021 r.

Znaczną wadą stosowania napędu elektrycznego z wodorowymi ogniwami paliwowymi jest słabo rozwinięta sieć stacji do tankowania paliwa. W Europie funkcjonuje 150 stacji tankowania wodoru. Dla porównania – na terenie Polski w momencie sporządzania dokumentu nie znajdowała się żadna publiczna stacja umożliwiająca tankowanie takiego paliwa¹². W ostatnich latach zainteresowanie technologią wykazały Gdynia, Płock, Konin, Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia, Kraków, Wałbrzych, Wrocław, które podpisały list intencyjny odpowiednio z Grupą Lotos i PKN Orlen na dostawę paliwa dla autobusów wodorowych. Warto dodać, że PKN Orlen zapowiada do końca 2021 roku uruchomienie hubu wodorowego z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii w Trzebini. Trwają także prace nad budową wytwórni „zielonego” wodoru pozyskiwanego w drodze elektrolizy w Koninie, które są prowadzone przez Zespół Elektrowni Pątnów Adamów Konin (ZEPAK). Koncern zakłada także realizację podobnej inwestycji we Włocławku oraz budowę stacji tankowania w Poznaniu i Katowicach¹³. Na stacjach ma zostać zamontowana instalacja tankowania o ciśnieniu 350 barów, co umożliwi uzupełnienie ok. 28 kg paliwa w 15 minut¹⁴. Ponadto stacja zostanie wyposażona w specjalne magazyny wodoru zapewniające dostawę na dwa dni obsługi.

Najczęściej dostarczanie wodoru na stację tankowania odbywa się podobnie jak paliwa konwencjonalnego – z wykorzystaniem cysterny, na którą można załadować 300-500 kg sprężonego wodoru gazowego (ciśnienie 200-250 barów) a przy wyższym ciśnieniu (500 barów) nawet 900 kg. Następnie dostarczony gaz musi zostać sprężony do odpowiedniego ciśnienia (w przypadku autobusów – 350 barów) i przechowywany w zbiornikach buforowych. Podczas tankowania gaz przechodzi przez instalację wstępnego chłodzenia, która przyspiesza proces tankowania.

Rysunek 4. Proces dostawy wodoru na stację tankowania



Źródło: Opracowanie własne

Z doświadczeń PKN Orlen w Niemczech szacuje się koszt budowy stacji tankowania wodoru na około 6-8 mln zł¹⁵. Dla porównania – infrastruktura do tankowania wybudowana w 2018

¹² W Polsce funkcjonuje 1 stacja tankowania wodoru na potrzeby firmy prywatnej w Warszawie przy ul. Łubinowej.

¹³ Oznacza to, że stacje z reguły są budowane z własnych środków spółek Skarbu Państwa i podmiotów prywatnych, które zawarły stosowne porozumienia z samorządami.

¹⁴ Orlen wybuduje pierwsze stacje wodorowe w Polsce, <https://wodor2030.pl/orlen-wybuduje-pierwsze-stacje-wodorowe-w-polsce/>, dostęp: 24.08.2021 r.

¹⁵ Droga do samochodów wodorowych w Polsce, <https://wysokienapiecie.pl/17436-samochody-wodorowe-w-polsce-ceny-tankowanie/>, dostęp: 24.08.2021 r.

roku przez koncern Shell w Lohlefelden w Niemczech kosztowała 1,4 mln euro¹⁶. Ciekawym rozwiązaniem jest także powstająca w Austrii pierwsza stacja solarna produkująca wodór. Stacja ma produkować 100 kg czystego, ekologicznego wodoru dziennie z wykorzystaniem 5 tysięcy paneli fotowoltaicznych o mocy 1,5 MW na powierzchni 9 tysięcy metrów kwadratowych.¹⁷

Eksploracja autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi wymaga też zainstalowania odpowiednich czujników wodoru oraz wentylacji w halach utrzymaniowych. Koniecznym wyposażeniem są także suwnice, jako niezbędne urządzenia do demontażu głównych elementów autobusów zabudowanych na dachu. Biorąc pod uwagę brak ram regulacyjnych funkcjonowania wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie, należy wziąć pod uwagę konieczność poniesienia dodatkowych nakładów na przystosowanie lub budowę hali do obsługi i naprawy pojazdów wodorowych w celu zapewnienia bezpieczeństwa.

W maju 2020 roku w Europie Zachodniej (głównie w Wielkiej Brytanii oraz Niemczech) eksploatowano około 175 autobusów elektrycznych napędzanych wodorowymi ogniwami paliwowymi. Na rynku najczęściej wybierane są autobusy belgijskiej firmy Van Hool, model A330FC oraz polskiej produkcji firmy Solaris, model Urbino 12 Hydrogen. Warto dodać, że napęd wodorowy cieszył się sporym zainteresowaniem podczas ostatniego naboru związanego z Zielonym Transportem Publicznym, w którym zawnioskowano o 122 pojazdy z takim napędem oraz 2 stacje tankowania wodoru¹⁸. Warto dodać, że Gmina Wrocław jest także zainteresowana pozyskaniem 65 autobusów zasilanych wodorem w ramach programu „Dolnośląski Ład”.

Koszt pojazdu 12-metrowego z takim napędem wynosi około 713 tys. euro (bez wydłużonej gwarancji) a w przypadku 18-metrowego około 1,25 mln euro. Ważnym aspektem jest też konieczność wymiany ogniwa paliwowego, którego żywotność przewiduje się na 7-8 lat, oraz wymianę baterii trakcyjnej, której koszt zależy od pojemności i zastosowanej technologii.

W poniższej tabeli przedstawiono inwestycje w autobusy wodorowe w Europie w ostatnich latach.

Tabela 19. Przykładowe inwestycje w autobusy wodorowe w Europie

Miasto	Rok rozpoczęcia eksploatacji	Liczba autobusów	Producent i model autobusu	Typ	Koszt jednostkowy za pojazd
Pau (Francja)	2019	8	Van Hool Exqui City	MEGA18	1,25 mln euro

¹⁶ Shell setzt auf Wasserstoff, 2018, dostęp: 24.08.2021 r.

¹⁷ First Fronius solhub being implemented, <https://www.fronius.com/en/solar-energy/about-us/press/first-fronius-solhub-being-implemented-29062021>, dostęp: 19.10.2021 r.

¹⁸ O autobusy wodorowe zawnioskowały: MPK Poznań, MPK Włocławek, Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia oraz miasto Chełm.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

Miasto	Rok rozpoczęcia eksploatacji	Liczba autobusów	Producent i model autobusu	Typ	Koszt jednostkowy za pojazd
Wuppertal/ Kolonia (Niemcy) ^{19, 20}	2020	40	Van Hool A330	MAXI	650 tys. euro
Wuppertal/Kolonia (Niemcy) ²¹	2021	25	Solaris Urbino 12 Hydrogen	MAXI	650 tys. euro
Bolzano (Włochy) ^{22, 23}	2020/2021	12	Solaris Urbino 12 Hydrogen	MAXI	1,06 mln euro*
Konin**	2021	1	Solaris Urbino 12 Hydrogen	MAXI	2,37 mln zł

*cena zawiera 8-letnią gwarancję **dzierżawa 4-letnia

Źródło: Opracowanie własne

Ponadto autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi produkują takie firmy, jak CaetanoBus, Rampini, Safran, Wright. Wartym odnotowania jest także eksploatowanie 10 trolejbusów w Rydze, które są wspomagane napędem wodorowym. Wytworzona energia, która jest zmagazynowana w akumulatorze, umożliwia jazdę do 150 km bez zasilania sieci trakcyjnej, przykładowo w dojeździe do zajezdni.

2.1.2 AUTOBUSY ELEKTRYCZNE AKUMULATOROWE

Kolejnym rodzajem pojazdu zeroemisyjnego jest autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną w silniku. Zaletą autobusu jest całkowity brak emisji szkodliwych substancji do atmosfery przy pracy silnika, szybkie uzyskanie maksymalnego momentu obrotowego silnika podczas jazdy (w przeciwieństwie do silników spalinowych), możliwość odzyskania części energii podczas hamowania pojazdu, a także mniejsza awaryjność pojazdów podczas eksploatacji. Pozytywną stroną autobusu elektrycznego jest też niższa emisja hałasu niż w przypadku autobusów o napędzie konwencjonalnym (podczas postoju elektrobuses wytwarza hałas na poziomie około 63 dB, konwencjonalny 80 dB, podczas ruchu autobus elektryczny

¹⁹ First Hydrogen Bus Arrives in Wuppertal: Hydrogen Plant Completed in February 2020, , <https://fuelcellsworld.com/news/first-hydrogen-bus-arrives-in-wuppertal-hydrogen-plant-completed-in-february-2020/>, dostęp: 25.08.2021 r.

²⁰ A fuel cell bus on the RVK line to Cologne airport: Van Hool delivers the first A330 FC, <https://www.sustainable-bus.com/news/a-fuel-cell-bus-on-the-rvk-line-to-cologne-airport-van-hool-delivers-the-first-a330-fc/>, dostęp: 25.08.2021 r.

²¹ Köln and Wuppertal operators order 25 hydrogen buses, <https://www.railwaygazette.com/vehicles/k%C3%B6ln-and-wuppertal-operators-order-25-hydrogen-buses/56012.article>, dostęp: 24.08.2021 r.

²² Solaris wins 12 fuel cell buses in Bolzano. The first order for the Urbino hydrogen, <https://www.sustainable-bus.com/fuel-cell/solaris-wins-12-fuel-cell-buses-in-bolzano-the-first-order-for-the-urbino-hydrogen/>, dostęp: 24.08.2020 r.

²³ Kolejni klienci zamawiają wodorowe autobusy marki Solaris, <https://www.solarisbus.com/pl/busmania/kolejni-klienci-zamawiaja-wodorowe-autobusy-marki-solaris-1028>, dostęp: 24.08.2021 r.

69 dB a spalinowy 77 dB)²⁴. Kontrowersyjną sprawą podczas eksploatacji autobusów jest ich ekologiczność w kontekście wytwarzania energii elektrycznej (szczególnie w Polsce, gdzie udział energii wytworzonej z odnawialnych źródeł energii w 2019 roku wyniósł jedynie 15,5%²⁵, a w przypadku wytwarzania energii ze źródeł konwencjonalnych emitowany jest dwutlenek węgla). Problemem też jest produkcja akumulatorów do pojazdów elektrycznych, do której wykorzystywane są rzadkie pierwiastki chemiczne, a podczas procesu emitowany jest także dwutlenek węgla. Obecnie wśród akumulatorów litowo-jonowych wykorzystywanych w pojazdach elektrycznych można wymienić:

- najbardziej popularne litowo-niklowo-manganowo-kobaltowe (NMC) pozwalające na wykonanie 1000 do 3000 cykli ładowania, charakteryzują się niską masą, na 1 kg zasobnika przypada od 100 do 200 Wh energii, temperatura pracy od -20 do 60 stopni Celsjusza, niski koszt, obecnie montowane moduły bateryjne osiągają pojemność do 640 kWh w autobusach przegubowych gwarantujące rzeczywisty zasięg około 200 km,
- litowo-tytanowe (LTO) – pozwalające na wykonanie od 15 000 do 1 000 000 cykli ładowania, charakteryzują się dwukrotnie większą masą niż baterie NMC, na 1 kg zasobnika przypada od 50 do 90 Wh energii, temperatura pracy od -10 do 40 stopni Celsjusza, droższe od baterii NMC, stosowane zwykle przy częstym doładowywaniu pantografowym,
- litowo-fosforowe (LFP) – pozwalają na wykonanie 3000 do 3500 cykli ładowania, charakteryzują się większą masą niż akumulatory NMC, na 1 kg zasobnika przypada od 85 do 130 Wh, temperatura pracy od -40 do 50 stopni Celsjusza, nieznacznie droższe od baterii NMC^{26,27,28},
- najnowocześniejsze litowo-polimerowe (LiPo, LIP) – charakteryzują się stałym elektrolitem w porównaniu do pozostałych technologii. Obecnie gwarantują zasięg od 170 do 220 km przy pojemności akumulatora do 450 kWh. Zaletą technologii jest także brak wykorzystania kobaltu przy ich produkcji oraz długa żywotność dochodząca do 10 lat. Wadą baterii jest brak możliwości szybkiego ładowania, co przekłada się na wolniejszy proces ładowania baterii.

Wybór akumulatora w pojeździe wiąże się z kolejnymi wadami autobusów elektrycznych. Montaż większych baterii powoduje wzrost masy pojazdu i w konsekwencji zwiększa zużycie energii w eksploatacji pojazdu. Od typu akumulatora zależy też jego żywotność (liczba pełnych cykli ładowania) i konieczność wymiany pakietów bateryjnych na nowe po utracie pojemności, co generuje koszty eksploatacyjne, które nie są ponoszone przy autobusach konwencjonalnych. Warto dodać, że obecnie producenci autobusów oraz zestawów bateryjnych stosują systemy, które pozwalają na zachowanie pojemności akumulatora przez dłuższy czas. Wiąże się to z ograniczeniem pojemności nominalnej baterii o około 20-30%.

²⁴ K. Grzelec, D. Okrój, Perspektywy obsługi miast autobusami elektrycznymi na przykładzie Sopotu, [w:] „Autobusy” 11/2016, 2016.

²⁵ Bank Danych Lokalnych.

²⁶ J. Biliński, Właściwa optymalizacja ładowania autobusów elektrycznych to tańsza w eksploatacji komunikacja miejska, [w:] „Biuletyn komunikacji miejskiej” 145, 2017, s. 6-11.

²⁷ J. Dąbrowski, Ładowanie zasobników autobusów elektrycznych, [w:] „Biuletyn komunikacji miejskiej” 150, 2018, s. 40-46.

²⁸ A. Skrzypczak, Energia pod kontrolą – baterie trakcyjne NMC oraz inteligentne zarządzanie termiką w autobusie elektrycznym Mercedes-Benz eCitaro, [w:] „Biuletyn komunikacji miejskiej” 150, 2018, s. 47-50.

Obecnie żywotność baterii wynosi zwykle od 8 do 10 lat. Koszt wymiany zestawu bateryjnego wynosi od 350 do 500 tys. zł netto w zależności od klasy autobusu.

Zużyte akumulatory stanowią kolejny problem w formie elektroodpadów, który został rozwiązany w ostatnich latach poprzez ich wykorzystanie jako banki energii dla paneli fotowoltaicznych czy zasilanie awaryjne dla budynków użyteczności publicznej. Wybór technologii pakietów bateryjnych i ich pojemności a także żywotności wiąże się też z wyborem technologii ładowania autobusów elektrycznych i elastycznością wykorzystania pojazdów. W trakcie sporządzania analizy na rynku były dostępne trzy możliwości ładowania autobusów elektrycznych:

- ładowanie typu plug-in (wolnego ładowania) – do ładowania wykorzystywana jest mobilna lub stacjonarna ładowarka o mocy od 30 do 150 kW zwykle zlokalizowana w bazie operatora, ewentualnie na przystankach końcowych obsługiwanych linii; ładowanie zwykle odbywa się podczas dłuższych postojów między kursami lub w nocy, a niższe natężenie prądu powoduje wydłużenie czasu życia baterii; konieczność zastosowania akumulatorów o dużej pojemności, co przekłada się na zwiększoną masę pojazdów lub mniejszych w przypadku wymiany pakietów bateryjnych w porze pomiędzy szczytami komunikacyjnymi, koszt ładowarki oscyluje wokół kwoty 70 tys. za ładowarkę mobilną oraz 120 tys. w przypadku ładowarki stacjonarnej, istnieje także możliwość podłączenia ładowarki do kopuły ładującej wykorzystującej pantograf zamontowanej na bramownicy²⁹,

Zdjęcie 1. Ładowarki plug-in zainstalowane na zajezdni w Warszawie



Źródło: <https://www.gdynia.pl/co-nowego,2774/ladowarki-dla-elektrobusow-wkrotce-wgdyni,550843>, dostęp: 2.10.2021 r.

²⁹ Rozwiązanie zastosowano w zajezdni MPK Kraków.

Zdjęcie 2. Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z wykorzystaniem wolnego ładowania poprzez pantograf na specjalnych bramownicach zainstalowanych na zajezdni w Krakowie



Źródło: https://www.krakow.pl/aktualnosci/247845,1912,komunikat,krakow_ma_nowe_autobusy_elektryczne.html, dostęp: 2.10.2021 r.

- ładowanie z wykorzystaniem pantografu lub pantografu odwróconego (szybkie ładowanie) – do ładowania wykorzystywana jest ładowarka o mocy powyżej 150 kW, zwykle zlokalizowana na przystankach końcowych obsługiwanych linii, ewentualnie na terenie bazy operatora; ładowanie zwykle odbywa się podczas postojów pomiędzy kursami ze względu na krótki czas oczekiwania na naładowanie pojazdów, wyższe natężenie prądu skraca czas życia baterii, możliwość zastosowania akumulatorów o mniejszej pojemności, co przekłada się na zmniejszoną masę pojazdów, ładowarka często posiada możliwość awaryjnego ładowania z wykorzystaniem metody plug-in, koszt ładowarki pantografowej oscyluje wokół kwoty 340 tys. zł netto,

Zdjęcie 3. Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z wykorzystaniem ładowarki pantografowej w Warszawie



Źródło: Zbiory własne Bartłomiej Kasiuk

- ładowanie indukcyjne – ładowanie rozpoczyna się po wykryciu przez czujnik autobusu na płycie indukcyjnej zamontowanej w jezdni lub zatoczce przystankowej; pozwala na szybkie naładowanie pojazdu podczas wymiany pasażerskiej, zaletą technologii jest brak infrastruktury ładowania widocznej na powierzchni, problemem jest trudność korzystania z niej w niskich temperaturach.

Metody ładowania ujawniają też kolejne wady pojazdów elektrycznych – konieczność budowy infrastruktury ładowania na przystankach i trafostacji (ładowarki zasilane są z sieci średniego napięcia), zasięg autobusów wynosi maksymalnie 200 km dziennie i nie pozwala na realizację wszystkich całodziennych zadań przewozowych bez konieczności ładowania pojazdu. W konsekwencji w Polsce zazwyczaj wykorzystuje się system ładowania plug-in (zwykle w mniejszych miejscowościach) lub system łączony z wykorzystaniem plug-in i pantografu. W przypadku ładowania plug-in, w celu obsłużenia dłuższych zadań przewozowych, potrzebna jest większa liczba autobusów (rozładowany zjeżdża do zajezdni, a drugi kursuje liniowo) lub zakup dodatkowych pakietów bateryjnych, które będą podmieniane w trakcie dnia. Ładowanie pojazdów wymaga także ułożenia harmonogramu ładowania, który zminimalizuje obciążenie sieci energetycznej, zoptymalizuje liczbę ładowarek, zarazem nie powodując blokowania wzajemnego dostępu do nich przez pojazdy, zminimalizuje możliwość rozładowania akumulatorów w pojeździe i unieruchomienia pojazdu w trasie. Obserwując postęp technologiczny przy produkcji zestawów bateryjnych, w najbliższych latach można się spodziewać wydłużenia zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych i braku konieczności ładowania pojazdu w ciągu dnia.

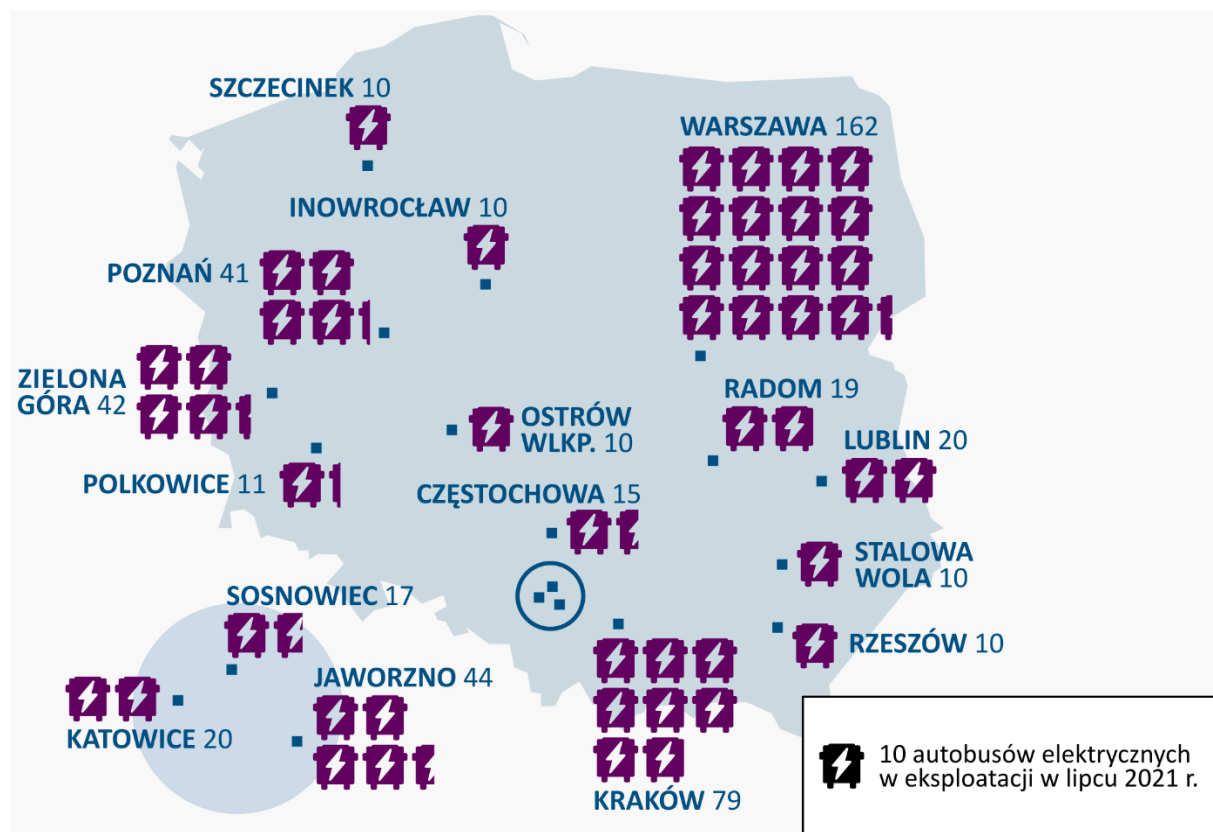
Zdjęcie 4. Autobus elektryczny testowany przez MPK Wrocław



Źródło: MPK Wrocław

Pomimo powyższych wad w ostatnich latach eksploatacja autobusów elektrycznych w Polsce staje się coraz popularniejsza. Pod koniec lipca 2021 roku eksploatowano 554 autobusy elektryczne, dla porównania, rok wcześniej w czerwcu 2020 roku – 296 autobusów (stanowi to wzrost o 87,2% rok do roku). Najwięcej autobusów elektrycznych kursuje w Warszawie (162 sztuki), Krakowie (79 pojazdów), Jaworznie (44 autobusy) oraz Zielonej Górze (42 sztuki).

Rysunek 5. Miasta eksploatujące powyżej 10 autobusów elektrycznych akumulatorowych (lipiec 2021 r.)



Źródło: Opracowanie własne

Większość autobusów na polski rynek sprzedała firma Solaris. Warto odnotować, że do lipca 2021 roku autobusy elektryczne stanowiły 36,4% wszystkich nowych zakupionych autobusów miejskich, wyprzedzając sprzedaż autobusów napędzanych olejem napędowym (dla porównania w 2020 roku stanowiły 28,2%, zajmując drugą pozycję za autobusami napędzanymi olejem napędowym). Poniżej przeanalizowano postępowania przetargowe od stycznia 2020 roku do sierpnia 2020 roku z podziałem na typ pojazdu (jego długość).

W segmencie pojazdów typu MIDI odbyło się 7 postępowań przetargowych na łącznie 26 autobusów. Najwięcej autobusów dostarczy firma Solaris (16 pojazdów), nowa na rynku polskim chińska firma Yutong (10 pojazdów)³⁰. Średnia ważona cena jednego pojazdu wyniosła 1,76 mln zł netto. Część zamawiających w postępowaniach uwzględniła dostarczenie ładowarek do autobusów, zwykle o mocy ok. 40 kW, co podnosiło średnią ważoną cenę do

³⁰ Swoje pojazdy w tym segmencie oferuje także czeska firma SOR Libchavy, która wygrała postępowanie przetargowe w Nysie w 2019 roku.

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

1,85 mln zł netto (w przypadku zamówienia bez infrastruktury ładowania średnia ważona cena jednego pojazdu wynosiła 1,73 mln zł netto). Zamawiający zwykle wymagali akumulatorów o pojemności ok. 160 kWh lub określali minimalny zasięg autobusu na jednym ładowaniu na 160 km. Zwykle gwarancja na autobus wynosiła 36 miesięcy, choć niektórzy zamawiający wymagali wydłużonej gwarancji na zestawy bateryjne od 7 do 10 lat. W poniższej tabeli przedstawiono wybrane postępowania przetargowe na autobusy elektryczne klasy MIDI w latach 2020-2021.

Tabela 20. Wybrane postępowania przetargowe na autobusy elektryczne klasy MIDI w latach 2020-2021

Miasto	Rozstrzygnięcie przetargu	Liczba szt.	Kwota netto za szt. w zł	Specyfikacja pojazdów i akumulatorów (technologia, pojemność i minimalny zasięg, gwarancja, typ ładowania)	Zwycięski oferent
Jaworzno	luty 2020	5	1 750 000,00	LTO lub LFP min. 160 kWh, 48 miesięcy gwarancji na autobus i 84 miesiące na akumulator, plug-in + pantograf	Solaris
Polkowice	kwiecień 2020	9	1 700 000,00	min. 170 kWh, zasięg min. 160 km, 36 miesięcy gwarancji na cały pojazd, plug-in	Yutong
Bobowa	czerwiec 2020	1	1 595 959,00	LTO lub LFP min. 140 kWh, zasięg min. 120 km, 60 miesięcy gwarancji na cały pojazd, plug-in	Yutong
Żyrardów, Pruszków, Grodzisk Mazowiecki	maj 2021	6	1 750 000,00	min. 50 pasażerów, min. 220 kWh, plug-in + pantograf, 36 miesięcy gwarancji na autobus, bateria maks. 20% spadek pojemności po 5 latach eksploatacji przy przebiegu maks. 40 tys. km, ogrzewanie wodne spalinowe	Solaris

Źródło: Opracowanie własne

W segmencie autobusów klasy MAXI odbyły się 24 postępowania przetargowe na łączną liczbę 180 pojazdów. Większość przetargów wygrała firma Solaris (123 pojazdy). Na kolejnych miejscach znalazły się: firma Volvo (24 pojazdy), Mercedes (16 pojazdów), Autosan (15 pojazdów), MAN (2 pojazdy). Średnia ważona cena jednego pojazdu wyniosła 2,47 mln zł netto. W większości postępowań zamawiający uwzględnili dostarczenie ładowarek do autobusów zwykle o mocy ok. 40 kW na stanowisko (niektórzy zamawiający zażądali mocy 50 czy 60 kW na stanowisko), a trzech zamawiających zamówiło w pakiecie także ładowarki pantografowe razem z potrzebną infrastrukturą. Średnia ważona cena jednego autobusu

w przypadku zamówienia bez infrastruktury ładowania w pakiecie wyniosła 2,33 mln zł netto. Jeśli dodatkowo zamówiono ładowarki pantografowe to średnia ważona cena wyniosła 2,97 mln zł netto. Zamawiający zwykle wymagali akumulatorów o pojemności min. 160 kWh. Niektórzy określili też minimalny zasięg pojazdu na min. 100-160 km oraz technologię akumulatorów (LTO lub NMC). W przypadku autobusów MAXI znacznie częściej zdecydowano się na dwie metody ładowania – jedynie w 6 postępowaniach wybrano tylko metodę plug-in. Zwykle gwarancja na autobus wynosiła 60 miesięcy, choć niektórzy zamawiający wymagali wydłużonej gwarancji na zestawy bateryjne od 7 do 10 lat. Najniższą cenę odnotowano w Malborku – 1,89 mln zł netto, co wynika prawdopodobnie z niskiego wymaganego zasięgu (80 km). Najwyższą kwotę odnotowano w Gorzowie Wielkopolskim – 3,16 mln zł netto, prawdopodobnie przyczyniła się do tego zamówiona infrastruktura do ładowania pojazdów (plug-in + pantograf) oraz przebudowa pętli autobusowej. W poniższej tabeli przedstawiono wybrane postępowania przetargowe na autobusy elektryczne klasy MAXI w latach 2019-2020.

Tabela 21. Wybrane postępowania przetargowe na autobusy elektryczne klasy MAXI w latach 2020-2021

Miasto	Rozstrzygnięcie przetargu	Liczba szt.	Kwota netto za szt. w zł	Specyfikacja pojazdów i akumulatorów (technologia, pojemność i minimalny zasięg, gwarancja, typ ładowania)	Zwycięski oferent
Toruń	lipiec 2020	6	2 237 000,00	min. 140 kWh i zasięg min. 70 km, 34 miesiące gwarancji na pojazd i 84 miesiące na akumulatory, ładowanie plug-in + pantograf	Solaris
Gliwice	lipiec 2020	7	2 500 000,00	poj. baterii min. 200 kWh, zasięg min. 100 km, ładowanie plug-in oraz odwrócony pantograf, min. 75 miejsc siedzących (25% siedzących)	Volvo
Częstochowa	sierpień 2020	15	2 642 876,80	ładowanie plug-in, odzyskiwanie energii podczas hamowania, akumulatory litowo-jonowe lub litowo-tytanowe, najem wraz z infrastrukturą do ładowania, 8 ładowarek po 120 kW, min. 70 miejsc (27 siedzących), 8 ładowarek dwustanowiskowych 120 kW	Autosan
Piła	wrzesień 2020	5	2 598 000,00	baterie LTO lub NMC min. 120 kWh, ładowanie plug-in oraz pantograf (dopuszcza się na pojeździe lub	Solaris

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

Miasto	Rozstrzygnięcie przetargu	Liczba szt.	Kwota netto za szt. w zł	Specyfikacja pojazdów i akumulatorów (technologia, pojemność i minimalny zasięg, gwarancja, typ ładowania)	Zwycięski oferent
				odwrócony), min. 70 miejsc (20 siedzących), 3 stacje ładowania dwustanowiskowe 120 kW i ładowarka pantografowa	
Gdynia	luty 2021	16	2 399 600,00	poj. baterii min. 150 kWh, ładowanie plug-in i pantograf, min. 80 miejsc (27 siedzących),	Mercedes
Kędzierzyn-Koźle	luty 2021	2	2 247 975,20	gwarancja 36 miesięcy, zestawy bateryjne 120 miesięcy, ładowanie plug-in, poj. baterii min. 200 kWh (użytkowa min. 160 kWh), min. 5700 cykli ładowania bez spadku pojemności, ogrzewanie elektryczne, wodne wspomagane agregatem, ładowarka plug-in dwustanowiskowa 80 kW	MAN
Opole	marzec 2021	5	3 046 280,00	60 miesięcy gw., bateria min. 180 kWh LTO lub NMC, gwarancja na baterie min. 10 lat, ogrzewanie z agregatu, silnik centralny, ładowanie odwróconym pantografem i plug-in, 3 ładowarki 2 x 60 kW i 1 ładowarka pantografowa z odwróconym pantografem 300 kW	Solaris

Źródło: Opracowanie własne

W segmencie autobusów klasy MEGA18 odbyło się 10 postępowań na łączną liczbę 100 pojazdów. Średnia ważona cena jednego autobusu wyniosła 2,9 mln zł netto za pojazd (3,1 mln zł netto bez przetargu w Krakowie). Większość przetargów wygrała firma Solaris (95 pojazdów). Na kolejnych miejscach znalazły się: firma Mercedes (8 pojazdów), Volvo (5 pojazdów). W większości postępowań zamawiający nie uwzględniali dostarczenia ładowarek do autobusów. Zamawiający zwykle wymagali akumulatorów o pojemności min. 140-180 kWh lub 230-240 kWh. Zwykle gwarancja na autobus wynosiła od 8 do 10 lat. Najniższą cenę odnotowano w Krakowie – 2,69 mln zł netto, co wynika prawdopodobnie z dużego zamówienia (50 sztuk). Najwyższą kwotę odnotowano w Czechowicach-Dziedzicach – 3,75 mln zł netto, co wynika z długiej gwarancji na autobus (10 lat), jak i wymaganej

infrastruktury ładowania (2 ładowarki plug-in 2 x 50 kW). W poniższej tabeli przedstawiono postępowania przetargowe na autobusy elektryczne klasy MEGA18 w latach 2019-2020.

Tabela 22. Postępowania przetargowe na autobusy elektryczne klasy MEGA18 w latach 2019-2020

Miasto	Rozstrzygnięcie przetargu	Liczba szt.	Kwota netto za szt. w zł	Specyfikacja pojazdów i akumulatorów (technologia, pojemność i minimalny zasięg, gwarancja, typ ładowania)	Zwycięski oferent
Kraków	luty 2020	50	2 616 000,00	zasięg min. 130 km, zużycie nie większe niż 1,6 kWh na 100 km, 61 miesięcy gw. na pojazd i akumulator, ładowanie plug-in + pantograf	Solaris
Poznań	marzec 2020	6	3 198 000,00	LTO min. 145 kWh, gwarancja 60 miesięcy na pojazd i 96 miesięcy na akumulator, ładowanie plug-in + pantograf	Solaris
Gliwice	Lipiec 2020	3	3 137 940,38	poj. 130 miejsc (25% siedzących), moc min. 240 kW, poj. baterii min. 230 kWh, zasięg min. 70 km, ładowanie plug-in oraz odwrócony pantograf	Volvo
Szczecin	sierpień 2020	8	3 287 000,00	min. poj. 120 miejsc (35 siedzących), poj. akumulatorów min. 145 kWh, odzysk energii przy hamowaniu i jeździe z góry, panele fotowoltaiczne 0,1 kW na dachu, ładowanie plug-in oraz pantograf	Solaris
Gdynia	luty 2021	8	3 317 000,00	min. 110 miejsc (40 siedzących), moc min. 220 kW, poj. baterii min. 180 kWh, ładowanie plug-in i pantograf	Mercedes
Czechowice-Dziedzice	marzec 2021	2	3 750 000,00	min. poj. 120 miejsc (38 siedzących) osób, zasięg 120 km, gwarancja na akumulatory 120 miesięcy	Solaris

Źródło: Opracowanie własne

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

W zakresie infrastruktury do ładowania odbyły się 3 osobne postępowania oraz 2 postępowania będące jednym z odrębnych zadań przy dostawie autobusów. Średnia ważona cena ładowarki mobilnej o mocy 40-60 kW wyniosła 70 686,84 zł netto, w przypadku stacjonarnej ładowarki dwustanowiskowej o mocy 80-120 kW średnia ważona cena wynosiła 116 406,40 zł netto. Średnia cena budowy trafostacji wynosi 461 660,00 zł netto, a budowy ładowarki pantografowej o mocy 400 kW ok. 340 tys. zł. W przypadku najmocniejszych ładowarek na rynku o mocy 540-560 kW trzeba zapłacić nawet 762 500,00 zł netto. W poniższej tabeli przedstawiono także postępowania kompleksowe na zakup i montaż ładowarek razem z wykonaniem odpowiedniej infrastruktury i montażem trafostacji, których wartość wynosi około 970 tys. zł netto za jedną lokalizację. Zawarto także postępowanie na wykonanie placu na minimum 55 stanowisk ładowania autobusów elektrycznych przegubowych z bramownicami do powieszenia kopuł dla wolnego ładowania autobusów elektrycznych z wykorzystaniem pantografów i budową stacji transformatorowej, jako przykład efektywnego wykorzystania powierzchni zajezdni.

Tabela 23. Postępowania przetargowe na infrastrukturę ładowania autobusów elektrycznych w latach 2019-2021

Miasto	Zakres zamówienia	Cena netto za szt.	Zwycięski oferent
Toruń	2 szt. ładowarek pantografowych 400 kW + 1 szt. opcjonalnie + 3 trafostacje	986 121,92 zł	Ekoenergetyka
	6 ładowarek stacjonarnych plug-in 85-120 kW	140 975,66 zł	
Bielany	1 ładowarka plug-in 40 kW	81 000 zł	Ekoenergetyka
Kraków	50 ładowarek mobilnych plug-in 60 kW	74 000 zł	Ekoenergetyka
Poznań	5 ładowarek pantografowych o mocy 540-560 kW	762 500,00 zł	Medcom
	5 trafostacji SN/nn	461 660,00 zł	
	3 mobilne stacje ładowania plug-in 40-45 kW	71 333,33 zł	
	18 stacjonarnych dwustanowiskowych stacjonarnych ładowarek plug-in	108 216,60 zł	
Warszawa	65 ładowarek plug-in 60 kW	67 662,57 zł	Ekoenergetyka
	3 x ładowarka pantografowa 400 kW	340 153,48 zł	

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Miasto	Zakres zamówienia	Cena netto za szt.	Zwycięski oferent
	20 x ładowarka pantografowa 400 kW	338 200,00 zł	
Szczecin	3 ładowarki pantografowe o mocy 400 kW razem z niezbędną infrastrukturą, 3 trafostacjami SN/nn i systemem do zdalnego pomiaru pracy ładowarek	951 340,30 zł	Ekoenergetyka
Gliwice	1 mobilna stacja ładowania o mocy min. 40 kW	89 354,07 zł	Medcom
Kraków	2 ładowarki pantografowe 250 kW zabudowane we wnętrzu stacji transformatorowej ze słupem stanowiącym konstrukcję dla platform zasilających	618 000,00 zł	Medcom
Kraków	wykonanie placu na minimum 55 stanowisk ładowania autobusów elektrycznych przegubowych z bramownicami do powieszenia kopuł dla wolnego ładowania autobusów elektrycznych z wykorzystaniem pantografów i budową stacji transformatorowej	241 210,53 zł za stanowisko	Budimex

Źródło: Opracowanie własne

2.1.3 AUTOBUSY ZASILANE OLEJEM NAPĘDOWYM

Pomimo że autobusy zasilane olejem napędowym nie są uznawane za pojazdy zeroemisyjne, zostały opisane w niniejszej pracy ze względu na fakt, że ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych³¹ wskazuje na obowiązek 30-procentowego udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie obsługującej komunikację miejską w 2028 roku lub czasowy 3-letni okres zwolnienia z obowiązku w przypadku negatywnego wyniku analizy kosztów i korzyści. W przypadku autobusów zasilanych olejem napędowym zaletą jest ich powszechność w eksploatacji, a także brak konieczności ponoszenia dodatkowych nakładów finansowych na sieć trakcyjną, infrastrukturę ładowania energii elektrycznej czy tankowania wodoru oraz zaplecza technicznego. Zakupione pojazdy powinny posiadać najbardziej ekologiczną normę

³¹ Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.).

emisji spalin Euro 6 a po 2027 roku – Euro 7. Średnia cena autobusu klasy MIDI wynosi ok. 898,2 tys. zł netto, klasy MAXI – 1,07 mln zł netto, a klasy MEGA18 – 1,32 mln zł netto.

2.2 LINIE WYBRANE DO OBSŁUGI TABOREM ZEROEMISYJNYM

W zakresie alokacji autobusów zeroemisyjnych powinny zostać uwzględnione aspekty społeczne, tj. liczba potencjalnych pasażerów obsługiwanych przez nowy tabor autobusowy, liczba mieszkańców i turystów oraz potencjalny wzrost zainteresowania komunikacją miejską po wprowadzeniu autobusów zeroemisyjnych. Przy wyborze linii ważnym aspektem jest też wymiar środowiskowy – autobusy zeroemisyjne charakteryzują się niższą emisją hałasu oraz nie emitują spalin. Stanowi to ważny argument, przemawiający za tym, aby autobusy zeroemisyjne obsługiwały obszary ścisłego centrum miasta, obszary o wysokiej gęstości zaludnienia i zabudowy, węzły przesiadkowe. Pod uwagę powinno się wziąć także funkcjonowanie komunikacji tramwajowej, która umożliwia przyłączenie się do sieci bez konieczności budowy przyłącza do ładowarki (w przypadku autobusów elektrycznych). Przy wprowadzeniu autobusów elektrycznych ważna jest również synchronizacja rozkładu jazdy z harmonogramem ładowania (odpowiednie przerwy pomiędzy kursami), aby uniknąć całkowitego rozładowania autobusu lub wzajemnej blokady dostępu do ładowarki przez pojazdy. W przypadku wybrania wariantu z ładowaniem pojazdów poza terenem bazy operatora autobusy zeroemisyjne powinny obsługiwać linie, które mają wspólny przystanek końcowy z innymi liniami (zwiększenie stopnia wykorzystania infrastruktury ładowania oraz zmniejszenie nakładów inwestycyjnych na jej budowę).

Wybrane linie komunikacyjne nie powinny przebiegać też przez drogi, na których obowiązuje zakaz ruchu pojazdów, których wysokość przekracza wysokość autobusu zeroemisyjnego (ok. 3,2-3,4 metra – zakazy występują często w okolicy wiaduktów lub sieci trakcyjnej). Najniższe wiadukty we Wrocławiu znajdują się nad ul. Boya-Żeleńskiego (według znaku wysokość 3,1 metra), Długą (3,3 metra) oraz Wyścigową (ze względu na konstrukcję – nad prawym pasem 3,3 m, na lewym pasie 3,8 m). Według załącznika do rozporządzenia Ministra Infrastruktury³² na znakach ograniczających wjazd pojazdów do danej wysokości podaje się liczbę o 0,5 metra mniejszą od wysokości obiektu nad jezdnią. Oznacza to, że powyższe obiekty umożliwiają przejazd autobusów elektrycznych (wiadukt rzeczywiście musiałby mieć wysokość 3,5 metra (3 metry na znaku). Dodatkowo, dla pewności, podczas przeprowadzania analizy w 2018 roku przeprowadzono pomiary, które potwierdziły wysokość wiaduktów. Przy wyborze linii autobusowych do elektryfikacji uwzględniono:

- wyniki poprzednich analiz kosztów i korzyści,
- w pierwszej kolejności wybrano linie, które mają zostać zelektryfikowane w efekcie zakupu pojazdów elektrycznych w ramach programu „Zielony Transport Publiczny”,
- strukturę i wiek wymienianego taboru.

Pominięto przy tym linie autobusowe dzienne szczytowe ze względu na ich krótki czas funkcjonowania w ciągu całej doby, linie nocne ze względu na oszczędności z tytułu

³² Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz. U. 2019, poz. 2311 z późn. zm.).

ładowania w taryfie nocnej, jak i konieczności uzupełnienia energii w procesie wolnego ładowania. Nie uwzględniono także linii dziennych podmiejskich ze względu na funkcjonowanie w wybranych porach dniach oraz lokalizację przynajmniej jednej pętli poza granicą miasta. Pominęto także linie komunikacji międzygminnej ze względu na ich obsługę w całości przez operatorów zewnętrznych, możliwe problemy z posadowieniem ładowarek szybkiego ładowania ze względu na strukturę właścicielską gruntów, co może stanowić utrudnienie także przy uzyskaniu dofinansowania zewnętrznego. Oferta linii strefowych ulega także dynamicznym zmianom w ostatnich latach (zmiana porozumień z gminą Siechnice czy podpisanie nowych porozumień z gm. Kąty Wrocławskie czy Żórawina). Z tego względu należy dążyć w kolejnych latach do utworzenia trwalszych struktur zarządczych we Wrocławskim Obszarze Metropolitalnym, które pozwolą na zachowanie stabilnej sieci połączeń międzygminnych oraz ewentualną elektryfikację linii międzygminnych. Ponadto przy wyborze operatora komunikacji międzygminnej w postępowaniu przetargowym, należy uwzględnić wymóg użytkowania pojazdów z najbardziej ekologicznymi normami emisji spalin.

W pierwszej kolejności do elektryfikacji (horyzont 2023 roku) wybrano linię K, która ma zostać zelektryfikowana w wyniku zakupu pojazdów elektrycznych oraz budowy stacji szybkiego ładowania na pętli Kamieńskiego (Pętla) oraz na zajezdni przy ul. Obornickiej w ramach programu „Zielony Transport Publiczny”. Do elektryfikacji założono także linie 106, 142 oraz 129, które miały zostać zelektryfikowane w ramach złożonej rozszerzonej wersji projektu do programu „Zielony Transport Publiczny”. Dodatkowo zakłada się elektryfikację linii 122, ze względu na funkcjonowanie wspólnej pętli z linią 142, jak i obsługę dworca autobusowego i kolejowego Wrocław Główny. Ponadto zelektryfikowane powinny zostać linie 101, 116 oraz 143, które posiadają przynajmniej jedną pętlę w pobliżu sieci tramwajowej (Leśnica, Pl. Grunwaldzki, Kwiska), ułatwiającą instalację ładowarki pantografowej. Łącznie do obsługi niniejszych linii powinno zostać zakupionych 61 pojazdów – 21 przegubowych i 40 klasy MAXI. Umożliwi to częściowe wycofanie z eksploatacji autobusów firmy Mercedes-Benz Citaro (rocznik 2008, norma Euro 5). Pozwoli to na spełnienie wymogu posiadania 10% (50 pojazdów) autobusów zeroemisyjnych do obsługi komunikacji miejskiej i podmiejskiej.

W drugim etapie wybrano linie 124, która będzie zelektryfikowana częściowo oraz 134 ze względu na funkcjonowanie wspólnej pętli z liniami 122 i 142. Zelektryfikowane powinny zostać także linie A, 107, 110, 114, 126, które posiadają przynajmniej jedną pętlę w pobliżu sieci tramwajowej. Dodatkowo przez autobusy elektryczne ma być obsługiwana linia 127, która jest jedną z linii z największą liczbą ekspediuowanych autobusów, a także obsługuje rozwijające się osiedla (Partynice). Za liniami 110, 114 przemawia dodatkowo obsługa rozwijających się osiedli mieszkaniowych oraz przebieg przez centrum miasta. Łącznie do obsługi niniejszych linii powinno zostać zakupione 62 pojazdy – 33 przegubowe i 29 klasy MAXI. Umożliwi to całkowite wycofanie z eksploatacji autobusów firmy Mercedes-Benz Citaro (rocznik 2008-2009, norma Euro 5). Pozwoli to na spełnienie wymogu posiadania 20% autobusów (99 pojazdów) zeroemisyjnych do obsługi komunikacji miejskiej i podmiejskiej. Znaczne przekroczenie wymaganego wymogu wynika z koniecznej wymiany starszych autobusów, jak i z faktu zakończenia umowy z podwykonawcami.

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych zakłada wymóg posiadania 30% autobusów zeroemisyjnych do obsługi komunikacji miejskiej i podmiejskiej w 2028 roku. Do elektryfikacji w tym roku wyznaczono linie 140, 144, 148, 151, które posiadają wspólne pętle z liniami 101, 106, 116 oraz 127. Za linią 140 przemawia także brak konieczności

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

budowy ładowarek pantografowych ze względu na wykonywaną pracę eksploatacyjną. Łącznie do obsługi niniejszych linii powinno zostać zakupionych 27 pojazdów – 19 przegubowych i 8 klasy MAXI. Umożliwi to częściowe wycofanie z eksploatacji autobusów marki Mercedes-Benz Citaro O3 (rocznik 2017-2018, norma Euro 6).

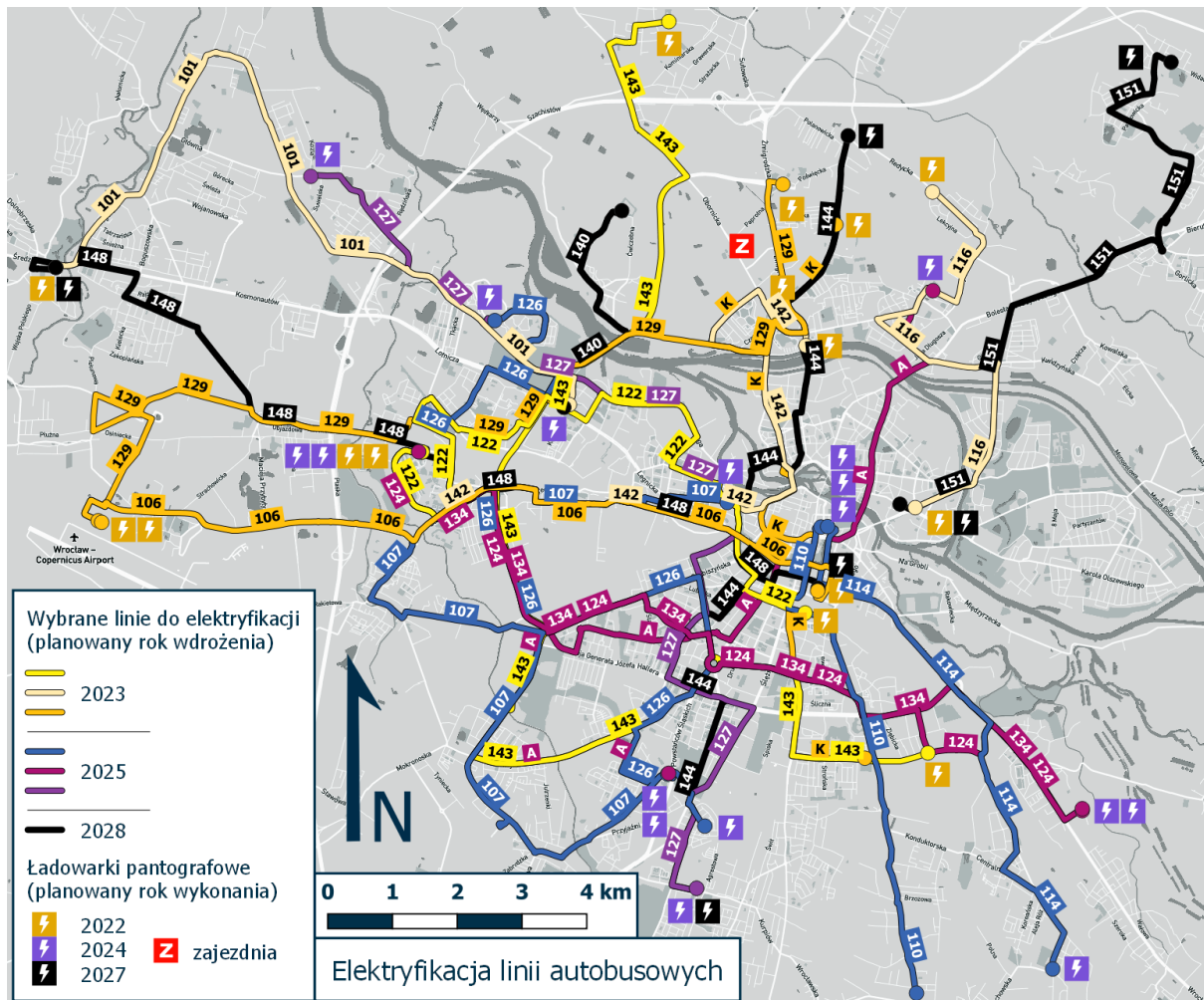
W przypadku eksploatacji autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi przyjęto te same linie jak w przypadku autobusów elektrycznych akumulatorowych, ze względu na porównywalność wariantów oraz strukturę wiekową taboru. Warto dodać, że w perspektywie kolejnych lat Gmina Wrocław przewiduje przeprowadzenie zmiany przebiegu tras linii autobusowych, co również może wpłynąć na zmianę linii wybranych do obsługi taborem zeroemisyjnym. W przypadku aktualizacji kosztów i korzyści oraz zmianie struktury i wieku taboru autobusowego, sugeruje się uwzględnienie postulatów strony społecznej zgłaszającej elektryfikację linii D, 111, 128, 146.

Tabela 24. Etapy elektryfikacji linii autobusowych

Linie	2023	2025	2028
K	PEŁNA		
101	PEŁNA		
106	PEŁNA		
116	PEŁNA		
122	PEŁNA		
129	PEŁNA		
142	PEŁNA		
143	PEŁNA		
A		PEŁNA	
107		PEŁNA	
110		PEŁNA	
114		PEŁNA	
124		CZĘŚCIOWA	PEŁNA
126		PEŁNA	
127		PEŁNA	
134		PEŁNA	
140			PEŁNA
144			PEŁNA
148			PEŁNA
151			PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 6. Elektryfikacja linii autobusowych oraz lokalizacja punktów ładowania w przypadku opłacalności przedsięwzięcia lub pozyskania zewnętrznego dofinansowania



Źródło: Opracowanie własne

W związku z zastosowaniem autobusów elektrycznych akumulatorowych obliczono szacunkową wymaganą pojemność akumulatora w celu obsługi linii. Na podstawie danych MPK Wrocław, dotyczących długości 1 kursu linii, obliczono zużycie energii na 2 parach kursów w kWh. Przy obliczeniach zużycia energii założono zużycie energii na poziomie 1,5 kWh/km dla autobusów MAXI oraz 2,0 kWh dla autobusów MEGA18 (w zużyciu uwzględniono włączone ogrzewanie lub klimatyzację, które są wykorzystywane przez większość roku i powodują podwyższenie zużycia energii). Następnym krokiem było obliczenie czasu ładowania z wykorzystaniem ładowarki pantografowej o mocy 400 kW³³ przy założeniu sprawności energetycznej na poziomie 90%. Założona moc ładowarki pozwala na uzupełnienie energii utraconej podczas jazdy w czasie od 5 do 19 minut w przypadku autobusów o długości 12 metrów oraz od 7 do 25 minut w przypadku autobusów przegubowych. Zastosowanie słabszych ładowarek spowoduje wydłużenie ładowania i konieczność wydłużenia postojów na przystankach końcowych. Ładowarki o mocy na

³³ Z wyjątkiem linii 129, dla której wybrano ładowarki 450 kW ze względu na najdłuższy przebieg spośród wybranych linii i długość ładowania dochodzącą do 30 minut w przypadku autobusów przegubowych.

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

poziomie 400 kW zostały zastosowane także w Szczecinie, Warszawie i Toruniu, a w przypadku Poznania zastosowano najmocniejsze i najszybsze ładowarki w Europie o mocy ok. 540 kW. Według Wrocławskiej Strategii Elektromobilności na każdym przystanku końcowym linii komunikacyjnej, obsługiwanej taborem zeroemisyjnym, w miarę możliwości i uwarunkowań przestrzennych należy dążyć do zapewnienia ładowarki pantografowej dedykowanej pojazdom każdej linii.

Kolejnym krokiem było obliczenie proponowanej pojemności baterii. Założono, że bateria powinna posiadać 30-procentową rezerwę pojemności w celu uniknięcia całkowitego jej rozładowywania oraz zachowania zapasowej energii na sytuacje awaryjne. Zwykle pojemność akumulatorów jest ujednolicona do obsługi każdej linii, więc powinna ona wystarczyć do użycia na najdłuższej linii. Optymalna wielkość akumulatora w autobusach MAXI powinna wynosić minimum ok. 170 kWh oraz ok. 220 kWh w autobusach klasy MEGA18. Do ładowania wolnego powinny zostać wykorzystane ładowarki jednostanowiskowe o mocy min. 50 kW lub dwustanowiskowe o mocy min. 100 kW. Przy sprawności energetycznej na poziomie 90% i wykorzystaniu mocy na poziomie 50 kW, ładowanie powinno trwać maksymalnie około 4-5 godzin, co pozwala na swobodne doładowanie autobusu w godzinach nocnych. Zużycie energii na liniach komunikacyjnych zostało przedstawione w poniższej tabeli.

Tabela 25. Zużycie energii na liniach komunikacyjnych

Linie	Długość kursu	Długość 2 par kursów	Zużycie energii na 2 parach kursów w kWh		Czas szybkiego ładowania w min		Pojemność baterii w kWh	
			Autobus MAXI	Autobus MEGA18	Autobus MAXI	Autobus MEGA18	Autobus MAXI	Autobus MEGA18
A	16,23	64,92	97,38	129,84	16,23	21,64	126,59	168,79
K	15,05	60,20	90,30	120,40	15,05	20,07	117,39	156,52
101	13,92	55,68	83,52	111,36	13,92	18,56	108,58	144,77
106	15,34	61,36	92,04	122,72	15,34	20,45	119,65	159,54
107	17,57	70,28	105,42	140,56	17,57	23,43	137,05	182,73
110	8,43	33,72	50,58	67,44	8,43	11,24	65,75	87,67
114	9,10	36,40	54,60	72,80	9,10	12,13	70,98	94,64
116	8,78	35,12	52,68	70,24	8,78	11,71	68,48	91,31
122	15,15	60,60	90,90	121,20	15,15	20,20	118,17	157,56
124	16,73	66,92	100,38	133,84	16,73	22,31	130,49	173,99
126	17,85	71,40	107,10	142,80	17,85	23,80	139,23	185,64
127	18,76	75,04	112,56	150,08	18,76	25,01	146,33	195,10
129	21,23	84,92	127,38	169,84	18,87	25,16	165,59	220,79
134	16,75	67,00	100,50	134,00	16,75	22,33	130,65	174,20
140	5,60	22,40	33,60	44,80	5,60	7,47	43,68	58,24
142	13,29	53,16	79,74	106,32	13,29	17,72	103,66	138,22
143	16,67	66,68	100,02	133,36	16,67	22,23	130,03	173,37
144	13,87	55,48	83,22	110,96	13,87	18,49	108,19	144,25
148	16,38	65,52	98,28	131,04	16,38	21,84	127,76	170,35
151	11,66	46,64	69,96	93,28	11,66	15,55	90,95	121,26
						MAX	165,09	220,79

Źródło: Opracowanie własne

3 Analiza finansowo-ekonomiczna

3.1 WARIANTY INWESTYCJI TABOROWYCH I ZAŁOŻENIA ANALIZY FINANSOWEJ

Według art. 37 ust. 2 ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych³⁴ analiza kosztów i korzyści powinna obejmować: analizę finansowo-ekonomiczną, oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska i zdrowia ludzi oraz analizę społeczno-ekonomiczną, uwzględniającą wycenę kosztów emisji szkodliwych substancji. Podstawą do rozpoczęcia analizy są informacje na temat stanu obecnego oraz ponoszonych kosztów. Do przeprowadzenia analizy potrzebne jest także określenie dwóch scenariuszy: jednego zakładającego realizację projektu inwestycyjnego i drugiego zakładającego zaniechanie projektu inwestycyjnego. Pomimo że wariant inwestycyjny W0 zakłada zaniechanie projektu inwestycyjnego, to nie zakłada on zaniechania świadczenia usług komunikacji miejskiej czy ponoszenia nakładów odtworzeniowych dotyczących taboru. Dlatego do niniejszej analizy przyjęto następujące warianty inwestycyjne:

- W0 – wariant bazowy zakładający ponoszenie nakładów odtworzeniowych z wykorzystaniem pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi o normie emisji Euro 6 oraz zakup pojazdów 11 autobusów elektrycznych w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu,
- W1 – zakup autobusów elektrycznych akumulatorowych ładowanych z wykorzystaniem metody plug-in i poprzez pantograf, w tym 11 pojazdów w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu,
- W2 – zakup autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz zakup 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu.

Kolejnym krokiem po określeniu wariantów inwestycyjnych jest przeprowadzenie analizy finansowej. Jej celem jest sprawdzenie opłacalności inwestycji pod względem finansowym. Analiza jest przeprowadzana z wykorzystaniem metody różnicowej pomiędzy wariantami inwestycyjnymi i uwzględnia jedynie przepływy finansowe związane z przewozami komunikacji miejskiej. W poniższej tabeli przedstawiono przyjęte założenia do analizy finansowej.

³⁴ Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.).

Tabela 26. Założenia analizy finansowej

Zakres	Założenie
Okres analizy	Lata 2021-2030 ³⁵
Ceny	Ceny stałe netto, tj. bez uwzględnienia inflacji oraz z wyłączeniem podatku VAT z uwzględnieniem analizy rynkowej.
Dochody projektu	Wymiana autobusów na zeroemisyjne nie powinna generować dodatkowych przychodów z tytułu wzrostu liczby pasażerów.
Stopa dyskontowa	4%
Nakłady inwestycyjne	Na podstawie przeprowadzonej analizy rynkowej w rozdziale 3. Ceny podane w euro przeliczone po średniorocznym kursie Europejskiego Banku Centralnego.
Koszty eksploatacji i utrzymania	Na podstawie ponoszonych kosztów przez MPK Wrocław sp. o.o. z uwzględnieniem specyfikacji technicznej pojazdów zeroemisyjnych.
Nakłady odtworzeniowe	Następują po 10 latach dla pojazdów napędzanych olejem napędowym (dla pojazdów starszych, wyprodukowanych przed 2011 rokiem, nakłady następują w latach późniejszych ze względu na przekroczenie progu 10 lat) oraz po 15 latach dla pojazdów zeroemisyjnych; mogą nastąpić szybciej, w przypadku gdy nastąpiły zaniedbania w ostatnich latach. Okres żywotności stacji ładowania wynosi 30 lat, a infrastruktury do ładowania pojazdów 40 lat.
Wartość rezydualna ³⁶	Uwzględniona w ostatnim roku analizy z wykorzystaniem metody dochodowej.

Źródło: Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach, Jaspers, 2015.

Liczbę autobusów zeroemisyjnych określono na podstawie wymogów określonych w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych³⁷. Przy założonych udziałach w ustawie oraz 496 pojazdach obsługujących komunikację miejską i podmiejską we Wrocławiu liczba autobusów zeroemisyjnych powinna wynosić minimum:

- od 1 stycznia 2023 – 50 pojazdów (tj. udział 10%),
- od 1 stycznia 2025 roku – 99 pojazdów (tj. udział 20%),
- od 1 stycznia 2028 roku – 149 pojazdów (tj. udział 30%).

³⁵ Według założeń w postępowaniu przetargowym na wykonanie niniejszej analizy.

³⁶ Wartość rezydualna to zdolność środków trwałych posiadających wartość ekonomiczną do generowania dochodów.

³⁷ Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.).

3.2 NAKŁADY INWESTYCYJNE

3.2.1 WARIANT W1

W wariantcie W1 zakres prac inwestycyjnych dotyczy wymiany autobusów na pojazdy elektryczne akumulatorowe razem z budową i montażem infrastruktury towarzyszącej związanej z ładowaniem pojazdów z wykorzystaniem metody plug-in oraz pantografu. Nakłady inwestycyjne w poszczególnych latach wyniosą: w 2022 roku – 141,9 mln zł, w 2023 roku – 46,2 mln zł, w 2024 roku – 193,0 mln zł, a w 2027 roku – 86,9 mln zł. Łącznie nakłady inwestycyjne w tym wariantcie wyniosą 468 mln zł. W poniższej tabeli przedstawiono nakłady inwestycyjne w wariantcie W1 z uszczegółowieniem poszczególnych działań.

Tabela 27. Nakłady inwestycyjne w wariantcie W1

Zadanie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 40 autobusów elektrycznych akumulatorowych o długości 12 metrów (klasa MAXI) oraz 10 pojazdów elektrycznych akumulatorowych o długości 18 metrów (MEGA18)	2022 ³⁸	124 688 942,32 zł
Zakup 50 ładowarek plug-in o mocy min. 50 kW razem ze stworzeniem przyłączy na obszarze zajezdni przy ul. Obornickiej		8 500 000,00 zł
Zakup i montaż 5 ładowarek pantografowych z wykonaniem odpowiedniej infrastruktury i trafostacją (Kminkowa, Sołtysowice, Poświęcka [ośrodek zdrowia], Nowy Dwór, Port Lotniczy) ³⁹		4 750 000,00 zł
Zakup i montaż 9 ładowarek pantografowych z wykonaniem przyłączy (Tarnogaj, Kwiska, Leśnica, pl. Grunwaldzki, Dworzec Główny [Dworcowa], Dworzec Autobusowy, Port Lotniczy, Nowy Dwór, Karłowice)		3 960 000,00 zł
Realizacja projektu zakupu 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych klasy MEGA18 razem ze stworzeniem systemu ładowania i potrzebną infrastrukturą na obszarze zajezdni przy ul. Obornickiej oraz pętli przy ul. Kamieńskiego	2023	46 200 000,00 zł
Zakup 29 autobusów elektrycznych akumulatorowych	2024	171 768 705,04 zł

³⁸ Rok inwestycji został podany ze względu na konieczność poniesienia nakładów inwestycyjnych w celu spełnienia wymogów ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Z dokonanego przez Operatora rozeznania rynku autobusów elektrycznych, które zostało wykonane na potrzeby realizacji programu Zielony Transport, wynika, że przez pandemię COVID-19 ograniczona jest dostępność części, podzespołów potrzebnych do produkcji pojazdów. W związku z powyższym większość producentów wskazuje czas oczekiwania na dostawę autobusu między 12 a 18 miesięcy. Zaistniała sytuacja może mieć wpływ na brak możliwości realizacji nakładów inwestycyjnych w założonym terminie.

³⁹ Koszt przedsięwzięcia wyniesie 46,2 mln zł, w tym 32,5 mln zł zostanie sfinansowane z bezzwrotnej dotacji, natomiast pozostałe środki zostaną pozyskane w ramach pożyczki z NFOŚiGW.

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Zadanie	Rok inwestycji	Wartość
o długości 12 metrów (klasa MAXI) oraz 33 pojazdów elektrycznych akumulatorowych o długości 18 metrów (MEGA18), w tym 22 pojazdy podwykonawcy (12 szt. autobusów klasy MAXI i 10 szt. autobusów klasy MEGA18)		
Zakup 62 ładowarek plug-in o mocy min. 50 kW razem ze stworzeniem przyłączy dla ładowarek ⁴⁰		10 540 000,00 zł
Zakup i montaż 6 ładowarek pantografowych z wykonaniem odpowiedniej infrastruktury i trafostacją (Bieńkowice, Księżę Wielkie, Wojszycka, Zwycięska, Kozia, Koszarowa [Szpital])		5 700 000,00 zł
Zakup i montaż 10 ładowarek pantografowych z wykonaniem przyłączy (Krzyki x 2, Pl. Solidarności, Galeria Dominikańska x 3, Nowy Dwór x 2, Księżę Wielkie, Kozanów)		4 400 000,00 zł
Budowa trafostacji w bazie podwykonawcy		610 000,00 zł
Zakup 8 autobusów elektrycznych akumulatorowych o długości 12 metrów (klasa MAXI) oraz 19 pojazdów elektrycznych akumulatorowych o długości 18 metrów (MEGA18)	2027	78 657 274,74 zł
Zakup 27 ładowarek plug-in o mocy min. 50 kW razem ze stworzeniem przyłączy dla ładowarek		4 590 000,00 zł
Zakup i montaż 2 ładowarek pantografowych z wykonaniem odpowiedniej infrastruktury i trafostacją (Pawłowice [Widawska], Starościńska)		1 900 000,00 zł
Zakup i montaż 4 ładowarek pantografowych z wykonaniem przyłączy (Zwycięska, Dworzec Główny [Dworcowa], Leśnica, pl. Grunwaldzki)		1 760 000,00 zł
łącznie:		468 024 922,10 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 28. Nakłady inwestycyjne w ujęciu rocznym w wariantcie W1

2022	2023	2024	2027
141 898 942,32 zł	46 200 000,00 zł	193 018 705,04 zł	86 907 274,74 zł

Źródło: Opracowanie własne

⁴⁰ Ze względu na ograniczenia infrastrukturalne zajezdni przy ul. Obornickiej może być konieczne poniesienie dodatkowych nakładów inwestycyjnych na rozbudowę istniejącej lub budowę nowej zajezdni.

3.2.2 WARIANT W2

W wariantcie W2 zakres prac inwestycyjnych dotyczy wymiany autobusów na pojazdy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi razem z budową stacji tankowania wodoru na obszarze Wrocławia. Nakłady inwestycyjne w poszczególnych latach wyniosą: w 2022 roku – 190,4 mln zł, w 2023 roku – 46,2 mln zł, w 2024 roku – 275,3 mln zł, a w 2027 roku – 130,9 mln zł. Łącznie nakłady inwestycyjne w tym wariantcie wyniosą 642,8 mln zł. W poniższej tabeli przedstawiono nakłady inwestycyjne w wariantcie W1 z uszczegółowieniem poszczególnych działań.

Tabela 29. Nakłady inwestycyjne w wariantcie W2

Zadanie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 40 autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi o długości 12 metrów (klasa MAXI) oraz 10 pojazdów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi o długości 18 metrów (MEGA18)	2022 ⁴¹	182 411 115,58 zł
Budowa stacji tankowania wodoru na obszarze Wrocławia		8 000 000,00 zł
Realizacja projektu zakupu 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych klasy MEGA18 razem ze stworzeniem systemu ładowania i potrzebną infrastrukturą na obszarze zajezdni przy ul. Obornickiej oraz pętli przy ul. Kamieńskiego ⁴²	2023	46 200 000,00 zł
Zakup 29 autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi o długości 12 metrów (klasa MAXI) oraz 33 pojazdów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi o długości 18 metrów (MEGA18), w tym 22 pojazdy podwykonawcy (12 szt. autobusów klasy MAXI i 10 szt. autobusów klasy MEGA18)	2024	275 257 121,30 zł
Zakup 8 autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi o długości 12 metrów (klasa MAXI) oraz 19 pojazdów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi o długości 18 metrów (MEGA18)	2027	130 895 973,12 zł
łącznie:		642 764 210,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

⁴¹ Rok inwestycji został podany ze względu na konieczność poniesienia nakładów inwestycyjnych w celu spełnienia wymogów ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Ze względu na długi proces procedur przetargowych oraz na wydłużone terminy dostaw autobusów spowodowane pandemią COVID-19 nakłady inwestycyjne mogą zostać w rzeczywistości niezrealizowane we wskazanym terminie. Konieczne może być także poniesienie dodatkowych nakładów inwestycyjnych na dostosowanie lub budowę zaplecza technicznego do obsługi pojazdów wodorowych (obecnie brak jest obowiązujących uregulowań prawnych dotyczących sposobu obsługi ww. pojazdów).

⁴² Koszt przedsięwzięcia wyniesie 46,2 mln zł, w tym 32,5 mln zł zostanie sfinansowane z bezzwrotnej dotacji, natomiast pozostałe środki zostaną pozyskane w ramach pożyczki z NFOŚiGW.

Tabela 30. Nakłady inwestycyjne w ujęciu rocznym w wariantcie W2

2022	2023	2024	2027
190 411 115,58 zł	46 200 000,00 zł	275 257 121,30 zł	130 895 973,12 zł

Źródło: Opracowanie własne

3.3 NAKŁADY ODTWORZENIOWE

Analizując wszystkie warianty inwestycyjne, wzięto pod uwagę ponoszenie nakładów o charakterze odtworzeniowym. Nakłady te mają na celu utrzymanie poziomu świadczonych usług transportu publicznego we Wrocławiu. W pierwszej kolejności wymianie poddano najstarsze autobusy firmy Mercedes. W nakładach odtworzeniowych uwzględniono też daty zakończenia kontraktów na obsługę komunikacji międzygminnej, podwykonawców, umów dzierżawy i leasingu pojazdów, co będzie wiązało się z wymianą taboru (wybraniem innego operatora lub koniecznością spełnienia przez autobusy wymogów wiekowych i odpowiednich norm emisji). Ze względu na krótki horyzont analizy nie brano pod uwagę konieczności wymiany akumulatorów w autobusach elektrycznych lub ogniwo paliwowych w autobusach wykorzystujących energię elektryczną i wodór po 8 latach eksploatacji. Dla zwiększenia porównywalności wariantów założono ponoszenie nakładów odtworzeniowych w wariantcie W0 w tych samych latach, co nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe w wariantcie W1 i W2. Łącznie nakłady odtworzeniowe w wariantcie W0 wyniosły 618,2 mln zł a w wariantcie W1 i W2 – 409,1 mln zł. Poniżej przedstawiono harmonogram i nakłady w poszczególnych latach.

Tabela 31. Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w poszczególnych wariantach

Rok	Wariant W0	Wariant W1/W2
2021	0,00 zł	0,00 zł
2022	54 524 970,59 zł	0,00 zł
2023	74 700 143,43 zł	28 500 143,43 zł
2024	137 083 317,54 zł	88 466 225,93 zł
2025	121 198 719,46 zł	95 120 139,97 zł
2026	18 775 267,00 zł	18 775 267,00 zł
2027	74 297 152,48 zł	40 614 067,49 zł
2028	66 070 400,00 zł	66 070 400,00 zł
2029	71 554 122,35 zł	71 554 122,35 zł
2030	0,00 zł	0,00 zł
łącznie	618 204 092,85 zł	409 100 366,17 zł
Różnica pomiędzy wariantami (W1/W2-W0)		-209 103 726,69

Źródło: Opracowanie własne

3.4 KOSZTY OPERACYJNE I WARTOŚĆ REZYDUALNA

W analizie finansowo-ekonomicznej brane pod uwagę są także koszty operacyjne. W celu obliczenia prognozowanych kosztów operacyjnych, jakie będą ponoszone w kolejnych latach okresu operacyjnego przez przewoźnika, uwzględniono podstawowe koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów elektrycznych w wariantach inwestycyjnych. W poniższej tabeli przedstawiono założenia do obliczenia kosztów operacyjnych.

Tabela 32. Założenia kosztów operacyjnych przyjętych do analizy

Pozycja kosztowa	Jednostka	Podstawa	Wartość
Wielkość pracy eksploatacyjnej	wzkm	Dane otrzymane od Urzędu Miejskiego Wrocławia	33 473 209,85 wzkm Przyjęto utrzymanie obecnej pracy eksploatacyjnej w zakresie tras i rozkładów jazdy. W przypadku modyfikacji związanej z uruchomieniem nowych linii tramwajowych założono, że autobusy z linii, które zostały zastąpiono tramwajem, zostaną skierowane do obsługi rozbudowujących się osiedli i posłużą do wzmocnienia części połączeń, co również sprawi, że praca eksploatacyjna w komunikacji autobusowej zostanie na tym samym poziomie
Koszt paliwa	zł/l	Średnia cena hurtowa oleju napędowego netto Orlen SA z okresu 1.01.-30.09.2021 r.	4,09 zł
Koszt napraw i remontów, zużycia materiałów i części zamiennych	zł/km	Dane MPK Wrocław sp. z o.o.	W zależności od rodzaju i typu autobusu. Dla autobusów elektrycznych koszty materiałów i części zamiennych (będące składnikiem kosztów napraw i remontów) obniżone o 15% ze względu na ich mniejsze skomplikowanie (brak skrzyni biegów, mniej skomplikowana budowa silnika, brak konieczności uzupełniania płynów eksploatacyjnych – olejów silnikowych).
Koszt ogumienia	zł/km	Dane MPK Wrocław sp. z o.o.	0,03 zł
Koszt podatków od środków transportowych	pojazd	Uchwała Nr XVIII/332/15 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 26 listopada 2015 r. w sprawie wysokości stawek podatku od	1992 zł w przypadku pojazdu z normą emisji spalin poniżej Euro 5 996 zł w przypadku pojazdu z normą emisji spalin Euro 5 i wyższą

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Pozycja kosztowa	Jednostka	Podstawa	Wartość
		środków transportowych	
Koszt opłat za zanieczyszczenie środowiska	t/zł	Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2020 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2021	W zależności od normy emisji spalin
Koszt ubezpieczeń	zł/poj.	Dane MPK Wrocław sp. z o.o.	4 901,18 zł
Średnie spalanie oleju napędowego	l/100 km	Dane MPK Wrocław sp. z o.o.	W zależności od pojazdu, typu taboru i normy emisji
Średnie zużycie energii	kWh/100km	Na podstawie doświadczeń innych operatorów oraz testów przeprowadzonych przez MPK Wrocław sp. z o.o.	W zależności od pojazdu, typu taboru
Cena energii elektrycznej ⁴³	zł/kWh zł/ kW zł/m-c	Na podstawie cennika TAURON Dystrybucja i danych MPK Wrocław sp. z o.o.	0,5076 zł/kWh Opłata handlowa 207,00 zł/m-c Składnik stałej stawki sieciowej 9,99 zł/m-c Składnik opłaty abonamentowej 18,00 zł/m-c
Amortyzacja (liniowa)	% [rok]	Załącznik nr 1 do ustawy z dnia 26 lipca 1991 r. o podatku dochodowym od osób fizycznych	20% – tabor 18% – stacja tankowania wodoru 10% – infrastruktura ładowania i bramownice 5% – trafostacje

Źródło: Opracowanie własne

Dodatkowo uwzględniono ponoszenie kosztów na bieżącą eksploatację i serwisowanie infrastruktury ładowania na poziomie 10 tys. zł netto za ładowarkę plug-in na rok oraz 15 tys. zł netto za ładowarkę pantografową na rok. W przypadku stacji tankowania wodoru i zamontowanych sprężarek założono koszty obejmujące także przeprowadzanie przeglądów instalacji na poziomie 200 tys. zł netto rocznie. W obliczeniach nie uwzględniano

⁴³ Przyjęto cenę energii elektrycznej uzyskaną w postępowaniu przetargowym przeprowadzonym w 2021 roku na dostawę energii elektrycznej w 2022 roku.

wynagrodzeń dla kierowców ze względu na brak wpływu na obliczenia (w wyniku wdrożenia autobusów zeroemisyjnych nie zakłada się zwiększenia zatrudnienia, w konsekwencji kwota wynagrodzeń nie różnicuje wariantów).

Inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe generuje w ciągu całego okresu analizy 45 mln zł oszczędności. Wynika to z niższych kosztów zużytej energii elektrycznej w wariancie W1 względem kosztów poniesionych na zużyty olej napędowy w wariancie W0 oraz niższych kosztów materiałów i części, napraw w wariancie W1. Najmniej korzystny wynik osiągnął wariant z autobusami elektrycznymi z wodorowymi ogniwami paliwowymi, co wynika między innymi z wysokiej ceny paliwa wodorowego. W poniższej tabeli przedstawiono wartość kosztów operacyjnych w całym okresie analizy.

Tabela 33. Wartość kosztów operacyjnych w okresie analizy

Pozycja	Koszty operacyjne w całym okresie analizy
Koszty operacyjne w wariancie W0	889 595 007,21 zł
Koszty operacyjne w wariancie W1	844 473 208,46 zł
Koszty operacyjne w wariancie W2	1 068 481 535,39 zł
Różnica pomiędzy wariantami (W1-W0)	45 121 798,75 zł
Różnica pomiędzy wariantami (W2-W0)	- 178 886 528,18 zł

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem przed obliczeniem efektywności ekonomicznej zakupu taboru elektrycznego było wyznaczenie wartości rezydualnej, która jest wartością nieumorzonych środków trwałych (po odliczeniu odpisów amortyzacyjnych) zakupionych w ramach wariantów inwestycyjnych w ostatnim roku analizy. W analizie przyjęto amortyzację liniową według założonych stawek.

Tabela 34. Wartość rezydualna

Pozycja	Wariant W1	Wariant W2
Wartość brutto środków trwałych	468 024 922,10 zł	642 764 210,00 zł
Umorzenie środków trwałych	433 604 400,67 zł	609 720 815,93 zł
Wartość rezydualna	34 420 521,43 zł	33 043 394,07 zł

Źródło: Opracowanie własne

3.5 EFEKTYWNOŚĆ FINANSOWA

Wynikiem analizy finansowej jest przedstawienie efektywności finansowej na podstawie przepływów finansowych związanych z nakładami inwestycyjnymi, odtworzeniowymi, wartością rezydualną oraz kosztami operacyjnymi. Do oceny wykorzystuje się wskaźniki FNPV oraz FRR, które zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Tabela 35. Efektywność finansowa projektu wymiany taboru na autobusy zeroemisyjne

Wskaźnik	Wariant W1	Wariant W2
FNPV	-172 346 082,40 zł	-504 278 226,86 zł
FRR	-22,77%	nieobliczalne

Źródło: Opracowanie własne

Ujemna wartość wskaźnika FNPV w obu wariantach oznacza, że inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe oraz elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi jest nieopłacalna pod względem finansowym. W przypadku wskaźnika FRR jego wartość nie przekroczyła założonej stopy dyskontowej, co oznacza brak opłacalności finansowej inwestycji. Warto podkreślić, że projekty z zakresu transportu publicznego zwykle nie odnotowują dodatnich wyników FNPV oraz FRR. Ujemna wartość wskaźników wskazuje też, że aktualna wartość przyszłych dochodów nie pokrywa poniesionych kosztów na wymianę taboru (wysoki koszt zakupu pojazdu elektrycznego i infrastruktury względem autobusu z silnikiem napędzanym olejem napędowym). Analizę finansową uzupełniono o obliczenie luki finansowej, która wyniosła 92%, co stanowi maksymalny poziom wsparcia ze środków zewnętrznych.

4 Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla poszczególnych komponentów środowiska naturalnego oraz zdrowia ludzi

Obecnie użytkowane autobusy w komunikacji miejskiej i międzygminnej wykorzystują olej napędowy, co wpływa negatywnie na jakość powietrza i zostało przedstawione w rozdziale 1.6. Spalanie tego paliwa powoduje emisję szkodliwych substancji – głównie tlenków azotu (NO_x), a ponadto w mniejszym stopniu, cząstek stałych pyłów zawieszonych $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , lotnych związków organicznych oraz CO_2 . Zagrożenia związane z emisją każdej z tej substancji przedstawiono poniżej:

- tlenki azotu (NO_x) – do tej grupy zalicza się tlenek azotu NO oraz bardziej trujący, ale mający mniejszy udział procentowy w tej grupie (ok. 10%)⁴⁴, dwutlenek azotu NO_2 . Za ich emisję odpowiadają głównie pojazdy z silnikami spalinowymi. Mogą bezpośrednio wpływać na organizmy ludzkie, powodując m.in. problemy z oddychaniem, bóle głowy, zaburzenia funkcjonowania płuc, astmę podrażnienia oka, brak apetytu⁴⁵. Powodują również dewastację ekosystemów wodnych i lądowych, przez co mogą działać zabójczo na żyjące w nich zwierzęta, co wtórnie również wpływa na ludzi,
- pyły zawieszone ($\text{PM}_{2,5}$ oraz PM_{10}) – to mieszanina cząstek stałych i ciekłych zawieszonych w powietrzu. $\text{PM}_{2,5}$ to tzw. pył drobny, o średnicach cząstek mniejszych niż $2,5\ \mu\text{m}$, natomiast PM_{10} to pył gruby, o średnicach cząstek mniejszych niż $10\ \mu\text{m}$. Cząstki pyłu grubego „powstają w sposób mechaniczny, w wyniku ścierania lub kruszenia różnego rodzaju materiałów. Są one zarówno pochodzenia naturalnego – pył mineralny, sól morską – jak i antropogenicznego – ścieranie opon i hamulców. Cząstki te mają duże prędkości opadania oraz są łatwo usuwane z atmosfery wraz z opadami. W związku z tym ich czas przebywania w powietrzu atmosferycznym jest krótki – od minut do dni – i mogą być one przenoszone na odległości rzędu od kilometrów do setek kilometrów. Cząstki należące do tej frakcji mają największy udział objętościowy w całkowitym pyłe zawieszonym, natomiast charakteryzują się pomijalnym udziałem ilościowym i powierzchniowym. Cząstki większych frakcji przedostają się do górnych odcinków dróg oddechowych – przenikają do ośrodka tchawicowo-oskrzelowego⁴⁶. Cząstki pyłu drobnego powstają natomiast w procesie spalania, w wyniku kondensacji gazów oraz ich spontanicznej nukleacji później w atmosferze. Cząstki drobniejsze z upływem czasu łączą się w większe. $\text{PM}_{2,5}$ charakteryzuje się stosunkowo krótkim czasem przebywania w atmosferze (od kilku minut do kilku godzin), ale ma znacznie bardziej dewastujący wpływ na człowieka niż PM_{10} , ponieważ ze względu na wielkość potrafi wnikać aż do tkanki śródmiąższowej

⁴⁴ S. Bhandarkar, R. Nijagunappa, „Minimization of Vehicular pollution at NE-Karnataka Road Transport Corporation-Gulbarga by the use of CNG in place of diesel fuel, 2010.

⁴⁵ NOx gases in diesel car fumes: Why are they so dangerous?, <https://phys.org/news/2015-09-nox-gases-diesel-car-fumes.html>, dostęp: 01.10.2021 r.

⁴⁶ Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Praca zespołowa pod redakcją Katarzyny Judy-Rezler i Barbary Toczko, s. 11-12.

płuc, skąd dalej z krwią przedostaje się do innych narządów wewnętrznych. Krótkookresowe narażenie na wysokie stężenia pyłów zawieszonych powodują gwałtowną reakcję najbardziej wrażliwych organizmów, natomiast konsekwencjami długookresowego narażenia na pyły zawieszone są przewlekłe choroby układu oddechowego (pylica, POChP), układu krążenia, nowotwory, astma. Badania wykazują również korelację wysokiego średniego stężenia $PM_{2,5}$ na danym obszarze ze zwiększoną liczbą przedwczesnych zgonów. Warto wspomnieć, że wyniki pomiarów we Wrocławiu wskazują, że głównym emitentem pyłów zawieszonych jest sektor gospodarczo-bytowy, tj. gospodarstwa domowe⁴⁷,

- lotne związki organiczne (NMVOC) – pod tym określeniem kryje się grupa wielu związków organicznych emitowanych jako gazy; źródłem emisji są różne artykuły stosowane na co dzień, np. środki czystości, farby, ale również paliwa – w przypadku pojazdów, NMVOC wydostają się z powodu odparowywania paliwa. W obecnych czasach, przy obowiązującej normie Euro 6, emisja VOC jest już w znaczny sposób ograniczana,
- tlenki siarki (SO_x) – emitowane są podczas produkcji energii elektrycznej w elektrowni. Zagrożenia, płynące z emisji tlenków siarki, to kwaśne deszcze (powodowane przez kwas siarkowy), smog, problemy z oddychaniem. Warto zaznaczyć, że za emisję SO_x odpowiada głównie sektor przemysłowy i gospodarstwa indywidualne.
- dwutlenek węgla (CO_2) – w przypadku autobusów spalinowych emisja zanieczyszczeń do powietrza odbywa się bezpośrednio na obszarach przebywania ludzi (emisja liniowa). Zanieczyszczenia powietrza są największym problemem na obszarach najbardziej zabudowanych ze względu na słabe warunki przewietrzenia. CO_2 to substancja naturalnie obecna w powietrzu i w środowisku, konieczna np. do fotosyntezy i potrzebna człowiekowi w odpowiednim stężeniu, to jednak w nadmiarze jest szkodliwa – jest to jeden z głównych gazów odpowiadających za efekt cieplarniany, co pośrednio i długofalowo bardzo mocno wpływa na warunki życia ludzi.

W przypadku autobusów elektrycznych akumulatorowych emisja szkodliwych substancji zachodzi w inny sposób – w Polsce odbywa się głównie poprzez elektrownię produkującą energię elektryczną z węgla (emisja punktowa). Przy eksploatacji autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi założono, że zakontraktowany wodór do tankowania będzie pochodził z elektrolizy.

Na podstawie metodyki zaproponowanej przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych uwzględniającej normy emisji spalin Euro w pojeździe i zużycie paliwa lub energii elektrycznej obliczono emisję zanieczyszczeń w poszczególnych wariantach⁴⁸. Pomiędzy wariantami największą różnicę można zaobserwować w spadku emisji CO_2 , NO_x oraz SO_2 . Niewielkie zmiany zachodzą podczas emisji pyłów zawieszonych $PM_{2,5}$ i PM_{10} . Warto jednak zaznaczyć

⁴⁷ Ocena jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2020 roku, GIOŚ RWMŚ we Wrocławiu 2021.

⁴⁸ Kalkulator emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego oraz „Wskaźniki emisyjności dla energii elektrycznej za rok 2019 opublikowane w grudniu 2020 r. przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).

przy tym, że następuje zmiana charakteru emisji z lokalnej (emisji liniowej) na globalną (emisję punktową). W konsekwencji ograniczenie emisji pochodzącej z transportu publicznego powoduje, że następuje poprawa komfortu życia mieszkańców poprzez lepszą jakość powietrza atmosferycznego oraz jego zapach.

W wariantcie W1 można zauważyć także znaczny wzrost emisji SO₂, który jest wynikiem produkcji energii elektrycznej w elektrowni. Zmniejszenie negatywnego efektu może jedynie ulec zmianie przy wykorzystaniu OZE, np. poprzez instalację paneli fotowoltaicznych, budowę farm wiatrowych oraz budowę trafostacji z odzyskiem energii. Wielkość emisji szkodliwych substancji do atmosfery w poszczególnych wariantach w całym okresie analizy przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 36. Wielkość emisji szkodliwych substancji do atmosfery w poszczególnych wariantach w całym okresie analizy

Szkodliwa substancja	Wielkość emisji w Mg			Różnica (W1-W0)	Różnica (W2-W0)
	W0	W1	W2		
SO ₂	4,37	62,20	4,37	57,83	0,00
NO _x	726,38	676,00	610,82	-50,38	-115,56
PM _{2,5} /PM ₁₀	15,58	15,92	12,64	0,34	-2,94
NMHC/NMVOC	217,04	179,70	179,13	-37,33	-37,90
CO ₂	381 571,33	385 962,42	304 598,13	4 391,09	-76 973,20

Źródło: Opracowanie własne

Pod względem środowiskowym należy wspomnieć także o emisji odpadów. Odpady z eksploatacji pojazdów mogą być w postaci stałej lub ciekłej. Do odpadów stałych należą między innymi elementy konstrukcyjne pojazdów, które odłączyły się od pojazdu, np. w wyniku wypadku, a także różnego rodzaju filtry powietrza, paliwa, oleju smarującego itp. Z kolei do odpadów ciekłych zalicza się przede wszystkim płyny eksploatacyjne, a dokładnie ich wycieki powstałe w wyniku awarii lub mechanicznego uszkodzenia. W autobusach napędzanych silnikiem elektrycznym nie stosuje się większości tych elementów oraz płynów, stąd ograniczenie zagrożeń wynikających z ich emisji do środowiska. Warto dodać, że mniej złożona konstrukcja autobusów elektrycznych wpływa także na zmniejszoną awaryjność pojazdów.

5 Analiza społeczno-ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji

5.1 WYCENA KOSZTÓW EMISJI SZKODLIWYCH SUBSTANCJI

Na podstawie obliczonej emisji w poprzednim rozdziale przeprowadzono wycenę emisji szkodliwych substancji. Do wyceny użyto przygotowanych przez CUPT tabeli kosztów jednostkowych zanieczyszczenia środowiska w transporcie lądowym, które zostały obliczone na podstawie *Ricardo-AEA. Update of the Handbook on External Costs of Transport*⁴⁹, prognozy rozwoju gospodarczego Polski Ministerstwa Finansów oraz prognozy liczby ludności Głównego Urzędu Statystycznego. W zakresie wyceny emisji CO₂ używa się tablic kosztów jednostkowych zmian klimatycznych opracowanych przez Europejski Bank Inwestycyjny przeliczonych według średniorocznego kursu wymiany EUR/PLN Europejskiego Banku Centralnego.

Największe oszczędności wygeneruje zmniejszenie emisji tlenków azotu w wyniku wprowadzenia autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi – 11,6 mln zł. Zwiększenie emisji SO₂ w wyniku zużycia energii elektrycznej spowoduje wzrost kosztów o 6,2 mln zł w wariancie z wprowadzeniem autobusów elektrycznych akumulatorowych. Łącznie zmiana emisji szkodliwych substancji przez wprowadzenie autobusów elektrycznych akumulatorowych wygeneruje stratę w wysokości 2,2 mln zł a autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi oszczędności w wysokości 34,5 mln zł. Wartość kosztów emisji szkodliwych substancji w poszczególnych wariantach w całym okresie analizy przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 37. Wartość kosztów emisji szkodliwych substancji w poszczególnych wariantach w całym okresie analizy w zł

Szkodliwa substancja	Koszt emisji szkodliwych substancji			Różnica (W1-W0)	Różnica (W2-W0)
	W0	W1	W2		
SO ₂	466 373,78	6 706 572,79	466 373,78	6 240 199,01	0,00
NO _x	68 128 749,68	63 041 723,36	56 495 533,63	-5 087 026,32	-11 633 216,05
PM _{2,5} /PM ₁₀	24 450 198,76	25 007 494,90	19 574 438,12	557 296,14	-4 875 760,64
NMHC/NM VOC	2 558 767,94	2 089 762,90	2 082 608,33	-469 005,04	-476 159,61
CO ₂	83 274 751,22	84 275 496,19	65 788 091,79	1 000 744,97	-17 486 659,43
łącznie	178 878 841,38	181 121 050,14	144 407 045,65	2 242 208,76	-34 471 795,73

Źródło: Opracowanie własne

⁴⁹ European Commission – DG Mobility and Transport, 2014, Ricardo AEA. Update of the Handbook on External Costs of Transport.

5.2 WYCENA KOSZTÓW EMISJI HAŁASU

Ważnym zagadnieniem dla komfortu życia mieszkańców jest poziom hałasu. Według encyklopedii PWN hałas to niepożądany dźwięk, którego działanie może być uciążliwe lub szkodliwe dla człowieka. Narażenie na długotrwały hałas na poziomie 45-70 dB może spowodować zakłócenie wypoczynku czy pracy umysłowej człowieka, powodować dyskomfort, uczucie zmęczenia i wyczerpania⁵⁰. Długotrwała ekspozycja na hałas jest nie tylko niekomfortowa, ale może powodować również różne dolegliwości i choroby. Można zaliczyć do nich stopniową utratę słuchu, zwiększony poziom stresu, rozdrażnienie i pogorszenie nastroju, uczucie niepokoju (u dzieci), nadciśnienie tętnicze, wzrost ciśnienia wewnątrzczaszkowego, zaburzenia trawienne⁵¹.

Źródłami emisji hałasu z pojazdów konwencjonalnych są głównie silnik, a także tarcie opon o nawierzchnię. Znaczenie tego drugiego źródła przybiera jednak na sile dopiero przy większych prędkościach pojazdów. W mieście, gdzie prędkość ruchu ograniczona jest zwykle do 50 km/h, a w godzinach intensywnego ruchu powstają kongestie drogowe, największe znaczenie ma pierwsze źródło, tj. hałas powodowany przez silnik spalinowy i elementy systemów z nim współpracujących. W przypadku autobusów elektrycznych emisja hałasu przez silnik jest znacznie mniejsza. Według producentów pojazdów autobusy elektryczne powodują zmniejszenie emisji hałasu o ok. 15-20% względem autobusów z silnikiem konwencjonalnym^{52,53}. Pozwala to na zwiększenie komfortu korzystania z transportu miejskiego, a także na zmniejszenie oddziaływania hałasu na mieszkańców w budynkach znajdujących się przy drogach.

W zakresie wyceny emisji hałasu wykorzystuje się przygotowaną przez CUPT tabelę kosztów jednostkowych hałasu w transporcie drogowym zindeksowaną o prognozę rozwoju gospodarczego Polski Ministerstwa Finansów. Przy szacowaniu zakłada się średnią gęstość zaludnienia dla typowego obszaru miejskiego, tj. 3000 os./km² oraz gęstość zaludnienia miasta w pasie 250 metrów od drogi, po której przebiega linia komunikacyjna obsługiwana autobusami zeroemisyjnymi. We Wrocławiu gęstość zaludnienia miasta w korytarzu 250 metrów wyniosła 4601 os./km² (358,5 tys. mieszkańców). Oznacza to, że gęstość zaludnienia jest o 1,53 razy większa niż na typowym obszarze miejskim. Pozwala to na zmnożenie korzyści wynikających ze zmniejszenia emisji hałasu o powyższą relację. Na dalszym rysunku przedstawiono gęstość zaludnienia w obszarze ciążenia linii autobusowych przeznaczonych do elektryfikacji.

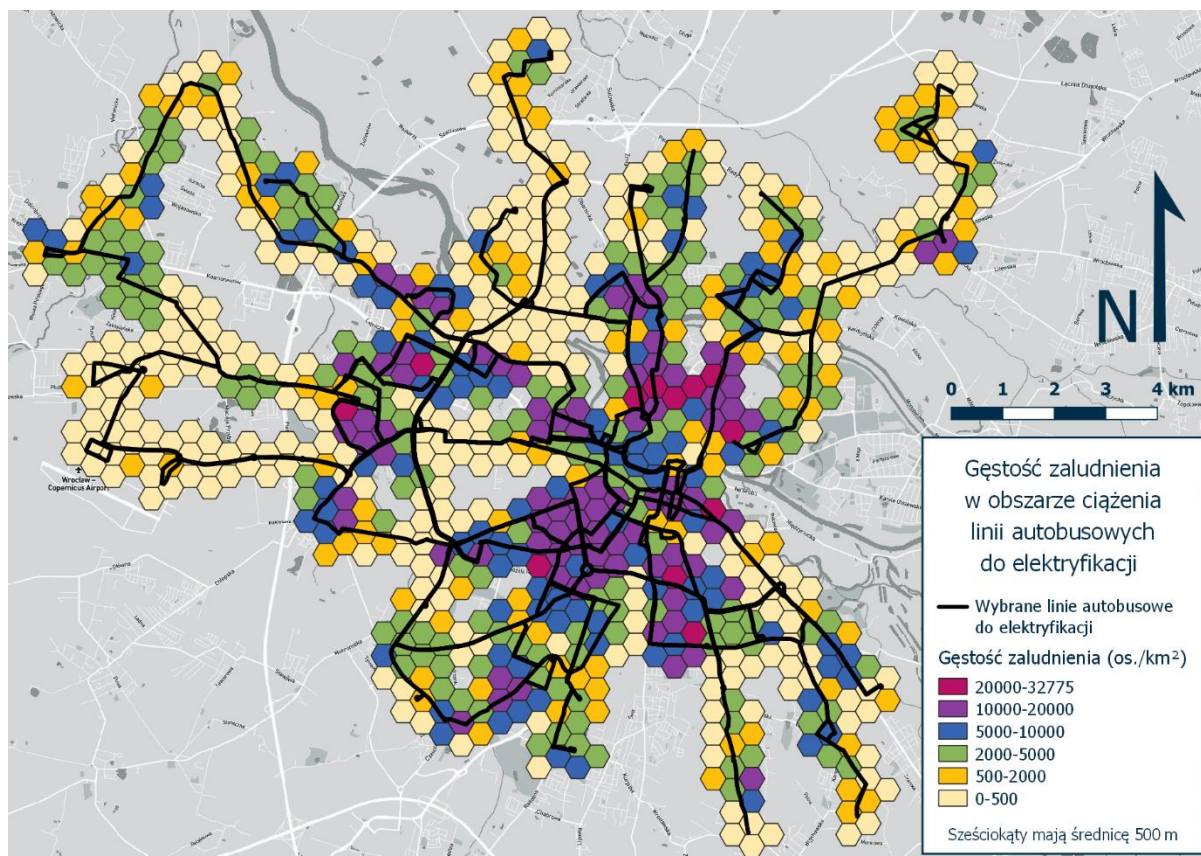
⁵⁰ Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/3909720>, dostęp: 18.09.2021 r.

⁵¹ <http://laboratoria.net/pl/artukul/Ha%C5%82as%20i%20jego%20wp%C5%82yw%20na%20C5%BCycie%20cz%C5%82owieka;26785.html>, , dostęp: 18.09.2021 r.

⁵² Irizar e-mobility, E.motion. Irizar Group's electromobility magazine, 2016, https://www.irizar.com/wp-content/uploads/2016/07/Revista-Irizar-emobility_eng.pdf, dostęp: 18.09.2021 r.

⁵³ J. Turcsany, C. Features&NVH, 2016, Electric buses and noise, http://www.bullernatverket.se/wp-content/uploads/2014/05/Electric-buses-and-noise_Volvo-Bus.pdf, dostęp: 18.09.2021 r.

Rysunek 7. Gęstość zaludnienia w obszarze ciążenia linii autobusowych do elektryfikacji



Źródło: Opracowanie własne

Realizacja inwestycji w autobusy elektryczne akumulatorowe oraz autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi pozwoli na uzyskanie korzyści w wyniku redukcji hałasu w okresie analizy o 12,8 mln zł.

Tabela 38. Wielkość kosztów emisji hałasu w poszczególnych wariantach w całym okresie analizy

Koszt emisji hałasu	W0	W1/W2	Korzyści w wyniku redukcji hałasu w okresie analizy (W1/W2-W0)
	144 513 856,70 zł	129 260 416,77 zł	15 253 439,93 zł

Źródło: Opracowanie własne

5.3 EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA

Następną częścią analizy kosztów i korzyści jest skwantyfikowanie korzyści i kosztów, które wpływają na dobrobyt gospodarczy społeczeństwa. Tak jak w przypadku analizy finansowej, w analizie społeczno-ekonomicznej stosuje się metodę różnicową. Różnicą pomiędzy analizą finansową a społeczno-ekonomiczną jest zastosowanie cen ukrytych, które odzwierciedlają koszty społeczne, tj. koszty czasu, koszty wykorzystania środowiska naturalnego – emisji CO₂, niskiej emisji, hałasu.

Dodatkowo w analizie ekonomicznej stosuje się współczynniki konwersji do przepływów finansowych. Współczynniki konwersji zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Tabela 39. Współczynniki konwersji przepływów finansowych w analizie społeczno-ekonomicznej

Pozycja finansowa	Współczynnik konwersji i obszar
Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe, wartość rezydualna	0,83 – infrastruktura 0,87 – tabor
Koszty operacyjne	0,78 – infrastruktura i tabor

Źródło: Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach, Jaspers, 2015

W odróżnieniu od analizy finansowej koszty i korzyści są dyskontowane społeczną stopą procentową na poziomie 4,5%⁵⁴. Ostatecznym wynikiem analizy kosztów i korzyści jest sprawdzenie efektywności ekonomicznej projektu inwestycyjnego na podstawie skorygowanych przepływów finansowych oraz wycenionej emisji szkodliwych substancji do atmosfery oraz hałasu. Do oceny wykorzystuje się wskaźniki ENPV, ERR oraz B/C, które zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Tabela 40. Efektywność ekonomiczna projektu wymiany taboru na autobusy zeroemisyjne

Wskaźnik	Wariant W1	Wariant W2
ENPV	-141 559 494,73 zł	-381 916 172,09 zł
ERR	-21,38%	nieobliczalne
B/C	0,61	0,36

Źródło: Opracowanie własne

Ujemna wartość wskaźnika ENPV oznacza, że inwestycja jest nieopłacalna pod względem ekonomicznym. W przypadku wskaźnika ERR jego wartość nie przekroczyła założonej społecznej stopy dyskontowej na poziomie 4,5%, co oznacza brak opłacalności ekonomicznej

⁵⁴ Centrum Unijnych Projektów Transportowych, Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej, [w:] „Vademecum Beneficjenta”, 2016.

inwestycji. Wartość wskaźnika B/C na poziomie poniżej 1 oznacza, że koszty poniesione w projekcie przeważają potencjalne korzyści ekonomiczne. Negatywny wynik analizy wskazuje, że nie musi zostać spełniony ustawowy obowiązek dotyczący udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie obsługującej komunikację publiczną przez najbliższe 36 miesięcy, tj. do sporządzenia następnej analizy. Pomimo tego Gmina Wrocław, zważając na korzyści ekologiczne i eksploatacyjne autobusów elektrycznych, powinny podjąć się zakupu takich pojazdów przy uzyskaniu wsparcia zewnętrznego (środków unijnych, krajowych lub poprzez leasing, dzierżawę pojazdów). W tym celu powinna zostać przeprowadzona odrębna analiza kosztów i korzyści dla danego projektu inwestycyjnego, przykładowo wymiany starszych pojazdów na nowe, która uzyska pozytywne wyniki wskaźników efektywności ekonomicznej wymaganych do uzyskania funduszy unijnych.

6 Analiza ryzyka i wrażliwości

6.1 ANALIZA WRAŻLIWOŚCI

Po przeprowadzeniu analizy kosztów i korzyści sprawdzono, jak zmiana nakładów inwestycyjnych, odtworzeniowych i kosztów operacyjnych wpływa na zmianę efektywności finansowej i ekonomicznej projektu wymiany taboru na zeroemisyjny. Pierwszym etapem było wyznaczenie zmiennych krytycznych, których zmiana o 1% przyczynia się do zmiany wskaźnika NPV o co najmniej 1%. Na podstawie obliczeń, których wyniki zostały przedstawione w poniższej tabeli, można stwierdzić, że zmienną krytyczną są nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe w wariancie W1, których wzrost o 1% powoduje spadek FNPV o 1,33% i ENPV o 1,38%. W wariancie W2 nie można wskazać zmiennej krytycznej. Największy wpływ na wartość FNPV i ENPV w tym wariancie mają także nakłady inwestycyjne.

Tabela 41. Wyznaczenie zmiennych krytycznych w analizie wrażliwości

Zmienna	Zmiana zmiennej	Wartość FNPV/C	Zmiana	Wartość ENPV	Zmiana
Wartość bazowa (wariant W1)		-172 346 082,40 zł	-	- 141 559 494,73 zł	-
Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe	1%	-174 637 458,70 zł	-1,330%	-143 512 541,37 zł	-1,380%
Koszty operacyjne	1%	-171 989 800,10 zł	0,207%	-141 289 376,10 zł	0,191%
Jednostkowe koszty ekonomiczne	1%	-172 346 082,40 zł	-	-141 567 078,63 zł	-0,005%
Wskaźnik emisyjności CO ₂ dla odbiorcy końcowego energii elektrycznej	-1%	-172 346 082,40 zł	-	-141 700 381,46 zł	-0,099%
Wskaźnik emisyjności SO ₂ dla odbiorcy końcowego energii elektrycznej	-1%	-172 346 082,40 zł	-	-141 607 008,21 zł	-0,034%
Wartość bazowa (wariant W2)		-504 278 226,86 zł	-	-381 916 172,09 zł	-
Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe	1%	-507 912 854,31 zł	-0,721%	-385 046 907,36 zł	-0,820%
Koszty operacyjne	1%	-505 686 381,69 zł	-0,279%	-382 983 362,89 zł	-0,279%
Jednostkowe koszty ekonomiczne	1%	-504 278 226,86 zł	-	-381 782 869,26 zł	0,035%
Wskaźnik emisyjności CO ₂ dla odbiorcy końcowego energii elektrycznej	-1%	-504 278 226,86 zł	-	-381 916 172,09 zł	-
Wskaźnik emisyjności SO ₂ dla odbiorcy końcowego energii elektrycznej	-1%	-504 278 226,86 zł	-	-381 916 172,09 zł	-

Źródło: Opracowanie własne

Następnym krokiem było przeprowadzenie analizy wrażliwości z wykorzystaniem zmiennej krytycznej, której wartość zmieniano o +/- 15% i 25%. W wyniku zwiększenia nakładów inwestycyjnych i odtworzeniowych o 15% wartość wskaźnika FNPV/C zmniejszył się o 19,94%

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

w wariantcie W1 i o 10,81% w wariantcie W2. W przypadku zwiększenia nakładów inwestycyjnych i odtworzeniowych o 25% zmniejszy się – o 33,24% w wariantcie W1 i o 18,02% w wariantcie W2. W zakresie efektywności ekonomicznej wskaźnik ENPV zmniejszy się odpowiednio o 20,69% i 34,40% w wariantcie W1, o 12,30% i 20,49% w wariantcie W2. Zerowa wartość wskaźnika ENPV w wariantcie W1 wystąpi przy zmniejszeniu nakładów inwestycyjnych i odtworzeniowych o 73%. Osiągnięcie dodatniego wyniku ENPV w wariantcie W1 będzie możliwe przy obniżeniu ceny autobusów o około 49%, do poziomu 1,14 mln zł za autobus elektryczny akumulatorowy MAXI oraz 1,55 mln zł za autobus elektryczny akumulatory MEGA18 (obecnie odpowiednio 2,32 mln zł i 3,16 mln zł). W przypadku wariantu W2 osiągnięcie zerowej wartości wskaźnika ENPV jest możliwe przy spadku cen autobusów i paliwa wodorowego o 63%, do wartości 1,17 mln zł za autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi klasy MAXI, 2,06 mln zł za autobus klasy MEGA18 (obecnie odpowiednio 3,17 mln zł i 5,55 mln zł) a paliwa do kwoty 15,62 zł za kg (obecnie wyceniane na 42,21 zł za kg).

Tabela 42. Wyniki analizy wrażliwości

Zmienna	Zmiana zmiennej	Wartość FNPV/C	Zmiana	Wartość ENPV	Zmiana
Wartość bazowa (wariant W1)		-172 346 082,40 zł	-	- 141 559 494,73 zł	-
Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe	25%	-229 630 489,90 zł	-33,24%	-190 385 660,87 zł	-34,49%
	15%	-206 716 726,90 zł	-19,94%	-170 855 194,41 zł	-20,69%
	-15%	-137 975 437,91 zł	19,94%	-112 263 795,04 zł	20,69%
	-25%	-115 061 674,91 zł	33,24%	-92 733 328,59 zł	34,49%
	-73%	-5 075 612,53 zł	97,05%	1 012 910,40 zł	100,72%
Wartość bazowa (wariant W2)		-504 278 226,86 zł	-	-381 916 172,09 zł	-
Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe	25%	-595 143 912,88 zł	-18,02%	-460 184 553,76 zł	-20,48%
	15%	-558 797 638,48 zł	-10,81%	-428 877 201,10 zł	-12,30%
	-15%	-449 758 815,25 zł	10,81%	-334 955 143,09 zł	12,30%
	-25%	-413 412 540,84 zł	18,02%	-303 647 790,42 zł	20,49%

Źródło: Opracowanie własne

6.2 ANALIZA RYZYKA

Oprócz analizy wrażliwości przeprowadzono również jakościową analizę ryzyka, która przedstawia charakterystykę sytuacji zakłócających przebieg procesu wymiany taboru na zeroemisyjny, możliwość wystąpienia ryzyka i potencjalny wpływ na projekt oraz działania zaradcze. Prawdopodobieństwa wystąpienia wyszczególnionych zmiennych określa się według zasad przedstawionych w poniższej tabeli.

Zgodnie z *Niebieską Księgą. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach* zidentyfikowano następujące czynniki ryzyka oraz ich przyczyny i skutki:

Tabela 43. Identyfikacja ryzyka

L.p.	Kategoria ryzyka / czynniki ryzyka	Przyczyna	Skutek
Ryzyko administracyjne			
R1	Opóźnienia w uzyskiwaniu uzgodnień i warunków technicznych	Prace w ramach inwestycji w autobusy zeroemisyjne wymagają pozyskania warunków technicznych oraz uzgodnień z podmiotami zewnętrznymi, jak również pozwoleń na budowę lub wycinkę. Mogą również wystąpić opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych (w wyniku problemów w negocjacjach z operatorem sieci dystrybucyjnej, brakiem odpowiednich mocy przyłączeniowych), opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, opóźnienia w usuwaniu kolizji z sieciami dystrybucyjnymi	Opóźnienia w realizacji inwestycji w autobusy elektryczne. Przesunięcie w czasie zakładanych efektów realizacji inwestycji. Zwiększenie kosztów realizacji inwestycji
R2	Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę)		
R3	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych		
R4	Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych		
R5	Opóźnienia w usuwaniu kolizji z sieciami dystrybucyjnymi		
Ryzyko związane z zamówieniami			
R6	Opóźnienia w realizacji procedur	Istnieje ryzyko przedłużania procedur przetargowych ze względu na odwołania oferentów przedłużające proces wyboru wykonawcy. Mogą wystąpić także problemy z dotrzymaniem okresów dostaw ze względu na zbyt wysoki popyt na autobusy zeroemisyjne w wyniku konieczności spełnienia warunków z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych czy braku materiałów do produkcji pojazdów	Opóźnienia w realizacji projektu, a także przesunięcie w czasie zakładanych efektów realizacji inwestycji w autobusy zeroemisyjne
R7	Bardzo wysoki popyt na autobusy zeroemisyjne		
Ryzyka związane z realizacją inwestycji			
R8	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Wzrost cen autobusów zeroemisyjnych oraz kosztów budowy infrastruktury ładowania lub tankowania	Konieczność poniesienia dodatkowych nakładów inwestycyjnych
R9	Ryzyka archeologiczne (wykopaliska)	Nieoczekiwane stanowisko archeologiczne	Opóźnienia w realizacji projektu, a także przesunięcie w czasie zakładanych efektów realizacji inwestycji w autobusy zeroemisyjne. Zwiększenie kosztów realizacji inwestycji
R10	Możliwość wystąpienia szkody	Wystąpienie szkody środowiskowej w wyniku budowy infrastruktury	Opóźnienia w realizacji projektu, a także

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

L.p.	Kategoria ryzyka / czynniki ryzyka	Przyczyna	Skutek
	w środowisku	ładowania i tankowania	przesunięcie w czasie zakładanych efektów realizacji inwestycji w autobusy zeroemisyjne. Zwiększenie kosztów realizacji inwestycji
R11	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów itp.)	Bankructwo, brak wystarczających zasobów itp. ze strony wykonawcy	Opóźnienia w realizacji projektu, a także przesunięcie w czasie zakładanych efektów realizacji inwestycji w autobusy zeroemisyjne
R12	Opóźnienia w budowie infrastruktury na obszarze miasta	Zbyt późna realizacja zamówienia na budowę infrastruktury na obszarze miasta. Zbyt krótki czas realizacji czy problemy wynikające z dużej liczby zamówień na ładowarki. Sezonowość robót budowlanych	Opóźnienia w realizacji projektu, a także przesunięcie w czasie zakładanych efektów realizacji inwestycji w autobusy zeroemisyjne
Ryzyko operacyjne			
R13	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Niedoszacowanie kosztów operacyjnych. Wzrost taryfy za prąd lub ceny wodoru	Niższa efektywność inwestycji w autobusy elektryczne
R14	Ryzyka klimatyczne (mrozy, powódzie itp.)	Warunki meteorologiczne	Konieczność wykorzystania taboru zastępczego (o konwencjonalnym napędzie) lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe, zaburzenie funkcjonowania systemu komunikacji zbiorowej
R15	Ryzyko nieznanomości rzeczywistych parametrów operacyjnych taboru	Krótszy zasięg autobusu elektrycznego akumulatorowego	Problemy z eksploatacją autobusów elektrycznych akumulatorowych
R16	Awaria stacji ładowania	Awaryjność urządzeń	Opóźnienia w realizacji kursów, konieczność wykorzystania taboru zastępczego (o konwencjonalnym napędzie) lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe (brak możliwości doładowywania w określonym przedziale czasowym), zaburzenie funkcjonowania systemu komunikacji zbiorowej
R17	Przerwa w dostawie prądu	Awaryjne zasilanie, zwiększone pobory energii w mieście wymuszające czasowe wyłączanie dostaw dla poszczególnych dzielnic	
R18	Uszkodzenia sieci zasilającej stację ładowania	Przerwanie sieci zasilającej stację ładowania w wyniku wykonywania innych robót budowlanych	

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

L.p.	Kategoria ryzyka / czynniki ryzyka	Przyczyna	Skutek
R19	Nadmierne skrócenie żywotności baterii i konieczność częstszej wymiany	Wada fabryczna pakietów bateryjnych, nieodpowiednia eksploatacja pojazdów	Konieczność ponoszenia dodatkowych nakładów odtworzeniowych
Ryzyka regulacyjne			
R20	Zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska	Zmiany legislacyjne	Opóźnienia w realizacji inwestycji w autobusy zeroemisyjne a także przesunięcia w czasie osiągnięcia zakładanych efektów realizacji inwestycji
Ryzyka finansowe			
R21	Dostępność środków krajowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Zmiany warunków finansowania projektu. Zaprzestanie prowadzenia programów wspierających rozwój inwestycji w autobusy zeroemisyjne w Polsce oraz Unii Europejskiej	Zagrożenie trwałości finansowej. Opóźnienia w realizacji inwestycji w autobusy zeroemisyjne a także przesunięcia w czasie osiągnięcia zakładanych efektów realizacji inwestycji
R22	Dostępność środków krajowych na finansowanie kosztów operacyjnych		
R23	Wzrost kosztów finansowania	Wzrost stopy procentowej i oprocentowania kredytów	
R24	Brak możliwości pokrycia wkładu własnego na zakup autobusów	Zmiany w prawie podatkowym i utrata wpływów przez organizatorów transportu publicznego	

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 44. Analiza jakościowa ryzyka – skala prawdopodobieństwa

Prawdopodobieństwo		
Skala	Zakres wartości prawdopodobieństwa	Wartość punktowa
Bardzo niskie	<0%, 10%)	A
Niskie	<10%, 33%)	B
Średnie	<33%, 66%)	C
Wysokie	<66%, 90%)	D
Bardzo wysokie	<90%, 100%>	E

Źródło: Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach, Jaspers, 2015

Siłę oddziaływania na projekt wyszczególnionych zmiennych określa się według zasad przedstawionych w poniższej tabeli.

Tabela 45. Analiza jakościowa ryzyka – skala siły oddziaływania na projekt

Siła oddziaływania na projekt	
Znaczenie	Wartość punktowa
Brak wpływu na dobrobyt społeczny, nawet bez podejmowania działań zaradczych	I
Mały wpływ na dobrobyt społeczny, mały wpływ na efekty finansowe projektu, działania zaradcze i korygujące są jednak potrzebne	II
Umiarkowany wpływ na dobrobyt społeczny, głównie negatywne efekty finansowe nawet w średnim lub długim terminie	III
Poziom krytyczny: wysoka strata dla dobrobytu społecznego, wystąpienie zdarzenia powoduje niemożliwość realizacji podstawowego celu projektu, działania zaradcze bardzo intensywne mogą nie doprowadzić do uniknięcia wysokich strat	IV
Poziom katastroficzny: fiasko projektu, zdarzenie może wywołać całkowity brak realizacji celu projektu, główne efekty projektu nie będą uzyskane w średnim i długim terminie	V

Źródło: Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach, Jaspers, 2015

Poziom ryzyka jest kombinacją Prawdopodobieństwa i Siły oddziaływania. Im wyższy poziom ryzyka, tym intensywniejsze działania zaradcze są potrzebne w celu obniżenia poziomu ryzyka. Poniższa tabela definiuje poziom ryzyka w zależności od prawdopodobieństwa i siły oddziaływania i prezentuje ryzyko w odpowiednich kolorach.

Tabela 46. Matryca poziomu ryzyka

		Wpływ				
		I	II	III	IV	V
Prawdopodobieństwo	A			R21, R22		
	B		R7, R10, R14, R16, R20	R1, R2, R3, R4, R5,	R11	
	C		R17	R6, R9, R12, R13, R19	R15, R18	R24
	D			R8, R23		
	E					

Źródło: Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach, Jaspers, 2015

Poziomy ryzyka oznaczone kolorem zielonym oznaczają, że ryzyko związane z danym czynnikiem należy ocenić jako niskie. Kolor żółty wskazuje na średni poziom ryzyka. Kolor czerwony świadczy o wysokim ryzyku, natomiast brązowy o bardzo wysokim poziomie ryzyka.

Wyróżniamy cztery główne strategie działań zaradczych:

- Zapobieganie ryzyku: oznacza zmianę planu projektu w celu wyeliminowania zagrożenia lub w celu wyeliminowania wpływu ryzyka na projekt. Zmiany te mogą prowadzić do innego zaprojektowania, modelu instytucjonalnego, sposobu finansowania lub innej formuły kontraktu wykonawczego.

- Ograniczanie: oznacza redukcję prawdopodobieństwa lub siły oddziaływania czynnika ryzyka na projekt, takich jak inny projekt wykonawczy, planowanie prac lub wykorzystane materiały. Różnica pomiędzy ograniczaniem a zapobieganiem polega na możliwości zmniejszenia poziomu, lecz nie wyeliminowaniu ryzyka.
- Przeniesienie ryzyka: oznacza przeniesienie własności ryzyka na stronę trzecią (inną instytucję) za określoną cenę. Firmy ubezpieczeniowe są najbardziej oczywistym przykładem takiej strony trzeciej, ale może to być również inny podmiot uczestniczący w projekcie, taki jak wykonawca. Przeniesienie ryzyka musi wynikać z umowy, gwarancji lub mechanizmów cenowych (między innymi). Przeniesienie ryzyka ma sens tylko, jeśli odbiorca jest w stanie (lepiej) kontrolować dane ryzyko, a także posiada środki na pokrycie skutków oddziaływania danego ryzyka, w przypadku gdy ryzyko się zmaterializuje.
- Tolerowanie ryzyka: jest strategią przyjmowaną w sytuacjach, w których nie można uniknąć ryzyka, ograniczyć go lub (ekonomicznie) przenieść. Dlatego takie ryzyko musi być po prostu tolerowane. Jednakże to podejście wymaga opracowania planu awaryjnego w przypadku wystąpienia negatywnego zdarzenia, jednakże nie wymaga wcześniejszych działań.

Tabela 47. Strategie „Zapobiegania” i „Ograniczania” powiązane z matrycą poziomu ryzyka

Siła wpływu/ Prawdopodobieństwo	I	II	III	IV	V
A	Zapobieganie lub ograniczanie				Ograniczanie
B					
C					
D	Zapobieganie				Zapobieganie i ograniczanie
E					

Źródło: Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach, Jaspers, 2015

W poniższej tabeli przedstawiono sposoby zapobiegania ryzyku lub ograniczania danego ryzyka.

Tabela 48. Identyfikacja ryzyka

Lp.	Kategoria ryzyka / czynniki ryzyka	Strategia przeciwdziałania ryzyku
Ryzyko administracyjne		
R1	Opóźnienia w uzyskiwaniu uzgodnień i warunków technicznych	Doświadczenie inwestora oraz wykonawców w kontaktach z administracją oraz znajomość wymogów proceduralnych. Rzetelne przygotowanie wniosków z odpowiednią rezerwą czasową. Aktualizacja map zasadniczych. Zaplanowanie rezerwy czasowej na ewentualne usuwanie kolizji
R2	Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę)	
R3	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci	

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Lp.	Kategoria ryzyka / czynniki ryzyka	Strategia przeciwdziałania ryzyku
	dystrybucyjnych	
R4	Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych	
R5	Opóźnienia w usuwaniu kolizji z sieciami dystrybucyjnymi	
Ryzyko związane z zamówieniami		
R6	Opóźnienia w realizacji procedur	Czas realizacji inwestycji jest dość długi, jednak korzystając z doświadczenia ze zrealizowanych projektów inwestycyjnych, przedłużenie tej procedury o kilka miesięcy pozwoli zakończyć zakup autobusów zgodnie z harmonogramem. Wprowadzenie kar umownych dla wykonawców
R7	Bardzo wysoki popyt na autobusy zeroemisyjne	
Ryzyka związane z realizacją inwestycji		
R8	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Przeprowadzenie odpowiednich analiz rynkowych
R9	Ryzyka archeologiczne (wykopaliska)	Przeprowadzenie odpowiednich badań wcześniej. Analiza map historycznych
R10	Możliwość wystąpienia szkody w środowisku	Realizacja prac budowlanych związanych z budową infrastruktury z poszanowaniem istniejących przepisów ochrony środowiska
R11	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów itp.)	Wykonawcy będą w wybierani w formie oferty publicznej. Kryteriami w wyborze będą między innymi dotychczasowe doświadczenie, zrealizowane dotychczas projekty, terminowość w ich realizacjach, czas funkcjonowania podwykonawcy na rynku
R12	Opóźnienia w budowie infrastruktury na obszarze miasta	Założenie dłuższego czasu realizacji przedsięwzięcia
Ryzyko operacyjne		
R13	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Koszty operacyjne, eksploatacyjne zostały oszacowane w sposób ostrożny na podstawie danych bieżących. Jak wskazała analiza wrażliwości, wzrost kosztów operacyjnych ma niewielki wpływ na efektywność ekonomiczną inwestycji w autobusy zeroemisyjne. Podpisywanie dłuższych kontraktów na zakup energii elektrycznej, paliwa wodorowego
R14	Ryzyka klimatyczne (mrozy, powódzie itp.)	Dostosowanie środków trwałych do zmian klimatycznych
R15	Ryzyko nieznanomości rzeczywistych parametrów operacyjnych taboru	Wprowadzanie wymogu gwarancji na zestawy bateryjne w postępowaniu przetargowym
R16	Awaria stacji ładowania	Określenie odpowiedniego wskaźnika niezawodności urządzenia. Posiadanie awaryjnych urządzeń
R17	Przerwa w dostawie prądu	Zapewnienie awaryjnego zasilania

**ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Lp.	Kategoria ryzyka / czynniki ryzyka	Strategia przeciwdziałania ryzyku
R18	Uszkodzenia sieci zasilającej stacje ładowania	Aktualizacja map zasadniczych. Konieczność obsługi transportu publicznego autobusami konwencjonalnymi
R19	Nadmierne skrócenie żywotności baterii i konieczność częstszej wymiany	Wprowadzanie wymogu gwarancji na zestawy bateryjne w postępowaniu przetargowym
Ryzyka regulacyjne		
R20	Zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska	Dostosowanie się do zmian legislacyjnych
Ryzyka finansowe		
R21	Dostępność środków krajowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Pozyskiwanie finansowania o stałym oprocentowaniu. Finansowanie inwestycji ze środków własnych. Prowadzenie negocjacji z administracją centralną
R22	Dostępność środków krajowych na finansowanie kosztów operacyjnych	
R23	Wzrost kosztów finansowania	
R24	Brak możliwości pokrycia wkładu własnego na zakup autobusów	

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie

Gmina Wrocław, na podstawie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, jest zobligowane do opracowania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem pojazdów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej. Zgodnie z ustawą w analizie przeprowadzono:

- analizę finansowo-ekonomiczną uwzględniającą ponoszenie nakładów inwestycyjnych na zakup taboru zeroemisyjnego, nakłady odtworzeniowe zakładające wymianę pozostałych autobusów, koszty eksploatacji pojazdów oraz wartość rezydualną inwestycji,
- oszacowanie efektów środowiskowych na podstawie metodyki zaproponowanej przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych,
- analizę społeczno-ekonomiczną uwzględniającą wyniki analizy finansowo-ekonomicznej oraz wycenę kosztów emisji szkodliwych substancji oraz hałasu.

W analizie przyjęto następujące warianty inwestycyjne:

- W0 – wariant bazowy zakładający ponoszenie nakładów odtworzeniowych z wykorzystaniem pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi o normie emisji Euro 6 oraz zakup pojazdów 11 autobusów elektrycznych w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu,
- W1 – zakup autobusów elektrycznych akumulatorowych ładowanych z wykorzystaniem metody plug-in i poprzez pantograf, w tym 11 pojazdów w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu,
- W2 – zakup autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz zakup 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych w ramach programu Zielony Transport Publiczny, których dostawa odbędzie się w 2023 roku, zgodnie z warunkami ogłoszonego przetargu.

Jako okres analizy przyjęto lata 2021-2030. Zgodnie z ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych określono, ile powinna wynosić minimalna liczba autobusów zeroemisyjnych we Wrocławiu:

- od 1 stycznia 2023 – 50 pojazdów (tj. udział 10%),
- od 1 stycznia 2025 roku – 99 pojazdów (tj. udział 20%),
- od 1 stycznia 2028 roku – 149 pojazdów (tj. udział 30%).

Przeprowadzona analiza finansowo-ekonomiczna wykazała ujemną wartość wskaźnika efektywności finansowej w wariantach W1 i W2. Oznacza to, że inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe oraz elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi jest nieopłacalna pod względem finansowym. Analizę finansową uzupełniono o obliczenie wielkości luki finansowej, która wyniosła 92% w wariantcie W1, co stanowi maksymalny poziom wsparcia ze środków zewnętrznych.

W wyniku analizy społeczno-ekonomicznej obliczono wskaźniki efektywności ekonomicznej, które uzyskały ujemne wartości w obu wariantach, wskazując na brak zasadności ekonomicznej inwestycji.

Negatywny wynik analizy wskazuje, że nie musi zostać spełniony ustawowy obowiązek dotyczący udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie obsługującej komunikację publiczną przez najbliższe 36 miesięcy, tj. do sporządzenia następnej analizy.

Osiągnięcie dodatniego wyniku efektywności ekonomicznej w wariantcie W1 będzie możliwe przy obniżeniu ceny autobusów o około 49% do poziomu 1,14 mln zł za autobus elektryczny akumulatorowy 12-metrowy oraz 1,55 mln zł za autobus elektryczny akumulatorowy przegubowy (obecnie odpowiednio 2,32 mln zł i 3,16 mln zł). W przypadku wariantu W2 osiągnięcie zerowej wartości wskaźnika efektywności ekonomicznej jest możliwe przy spadku cen autobusów i paliwa wodorowego o 63%, do wartości 1,17 mln zł za autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi 12-metrowy, 2,06 mln zł za autobus przegubowy (obecnie odpowiednio 3,17 mln zł i 5,55 mln zł) a paliwa do kwoty 15,62 zł za kg (obecnie wyceniane na 42,21 zł za kg). Osiągnięcie takich kwot skutkowałoby koniecznością spełnienia obowiązków ustawowych w zakresie udziału autobusów zeroemisyjnych.

Pomimo tego **Gmina Wrocław, zważając na korzyści ekologiczne i eksploatacyjne autobusów elektrycznych, powinny podjąć się zakupu takich pojazdów przy uzyskaniu odpowiedniego wsparcia zewnętrznego** (środków unijnych w ramach programów Funduszy Europejskich na Infrastrukturę, Klimat i Środowisko, Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności, Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego oraz środków krajowych pochodzących z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej). W nowej perspektywie unijnej 2021-2027 Gmina Wrocław będzie mogło się ubiegać o maksymalne dofinansowanie na poziomie 70%. Oznacza to, że będzie istniała możliwość obniżenia ceny autobusu zeroemisyjnego do poziomu niższego niż koszt zakupu pojazdu o napędzie spalinowym (klasy MAXI – 1,07 mln zł netto, klasy MEGA18 – 1,32 mln zł netto) nieobjętego programami wsparcia. W tym celu powinna zostać przeprowadzona odrębna analiza kosztów i korzyści dla danego projektu inwestycyjnego, przykładowo, wymiany pojazdów z normą Euro 5 na nowe, która uzyska pozytywne wyniki wskaźników efektywności ekonomicznej wymagane do uzyskania funduszy unijnych i krajowych.

SPIS TABEL, WYKRESÓW, RYSUNKÓW I ZDJĘĆ

SPIS TABEL

TABELA 1. ZESTAWIENIE STANOWISK POMIAROWYCH GIOŚ NA OBSZARZE GMINY WROCŁAW W 2020 ROKU	11
TABELA 2. DOPUSZCZALNE POZIOMY HAŁASU W ŚRODOWISKU POWODOWANEGO PRZEZ DROGI LUB LINIE KOLEJOWE.....	13
TABELA 3. WIELKOŚĆ PRACY EKSPLOATACYJNEJ WYKONANEJ PRZEZ MPK WROCŁAW I PODWYKONAWCĘ W TYS. WOZOKILOMETRÓW W LATACH 2018-2020	26
TABELA 4. WIELKOŚĆ PRACY EKSPLOATACYJNEJ WYKONANEJ W RAMACH KOMUNIKACJI MIĘDZYGMINNEJ W TYS. WOZOKILOMETRÓW W LATACH 2018-2020	26
TABELA 5. AUTOBUSY EKSPLOATOWANE W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ I MIĘDZYGMINNEJ WE WROCŁAWIU	27
TABELA 6. STRUKTURA WIELKOŚCI I WIEKU POJAZDÓW OBSŁUGUJĄCYCH KOMUNIKACJĘ MIEJSKĄ WE WROCŁAWIU	28
TABELA 7. PROJEKTY INWESTYCYJNE ZWIĄZANE Z ZAKUPEM TABORU DO OBSŁUGI KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ WE WROCŁAWIU	29
TABELA 8. STRUKTURA TABORU POD WZGLĘDEM NORMY EMISJI SPALIN	30
TABELA 9. ŚREDNIA ILOŚĆ ZUŻYWANEGO PALIWA I KOSZT PALIWA NA 100 KM W LATACH 2019-2020	31
TABELA 10. KOSZTY ZUŻYCIA MATERIAŁÓW I CZĘŚCI ZAMIENNYCH W LATACH 2019-2020.....	31
TABELA 11. KOSZTY ZUŻYCIA PŁYNÓW EKSPLOATACYJNYCH W LATACH 2019-2020	32
TABELA 12. KOSZTY NAPRAW AUTOBUSÓW, WŁĄCZAJĄC ROBOCIZNĘ, W LATACH 2019-2020	32
TABELA 13. KOSZTY ZUŻYCIA OGUMIENIA W LATACH 2019-2020	33
TABELA 14. WIELKOŚĆ PRACY EKSPLOATACYJNEJ POSZCZEGÓLNYCH TYPÓW I RODZAJÓW AUTOBUSÓW EKSPLOATOWANYCH NA LINIACH MIEJSKICH WYKONYWANEJ W LATACH 2019-2020	34
TABELA 15. WIELKOŚĆ PRACY EKSPLOATACYJNEJ POSZCZEGÓLNYCH TYPÓW I RODZAJÓW AUTOBUSÓW EKSPLOATOWANYCH NA LINIACH STREFOWYCH WYKONYWANEJ W LATACH 2019-2020.....	34
TABELA 16. ZUŻYCIE OLEJU NAPĘDOWEGO PRZEZ POJAZDY ORAZ WIELKOŚĆ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ DO ATMOSFERY W PRZELICZENIU NA KM	36
TABELA 17. LICZBA PRZEJECHANYCH KILOMETRÓW ORAZ WIELKOŚĆ ROCZNEJ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ DO ATMOSFERY.....	37
TABELA 18. SPECYFIKACJA DOSTĘPNYCH AUTOBUSÓW WODOROWYCH NA RYNKU	42
TABELA 19. PRZYKŁADOWE INWESTYCJE W AUTOBUSY WODOROWE W EUROPIE.....	44
TABELA 20. WYBRANE POSTĘPOWANIA PRZETARGOWE NA AUTOBUSY ELEKTRYCZNE KLASY MIDI W LATACH 2020-2021	51
TABELA 21. WYBRANE POSTĘPOWANIA PRZETARGOWE NA AUTOBUSY ELEKTRYCZNE KLASY MAXI W LATACH 2020-2021	52
TABELA 22. POSTĘPOWANIA PRZETARGOWE NA AUTOBUSY ELEKTRYCZNE KLASY MEGA18 W LATACH 2019-2020.....	54
TABELA 23. POSTĘPOWANIA PRZETARGOWE NA INFRASTRUKTURĘ ŁADOWANIA AUTOBUSÓW ELEKTRYCZNYCH W LATACH 2019-2021	55
TABELA 24. ETAPY ELEKTRYFIKACJI LINII AUTOBUSOWYCH.....	59
TABELA 25. ZUŻYCIE ENERGII NA LINIACH KOMUNIKACYJNYCH	61
TABELA 26. ZAŁOŻENIA ANALIZY FINANSOWEJ	63
TABELA 27. NAKŁADY INWESTYCYJNE W WARIANCIE W1	64
TABELA 28. NAKŁADY INWESTYCYJNE W UJĘCIU ROCZNYM W WARIANCIE W1	65
TABELA 29. NAKŁADY INWESTYCYJNE W WARIANCIE W2	66
TABELA 30. NAKŁADY INWESTYCYJNE W UJĘCIU ROCZNYM W WARIANCIE W2	67
TABELA 31. HARMONOGRAM I WYSOKOŚĆ NAKŁADÓW ODTWORZENIOWYCH W POSZCZEGÓLNYCH WARIANTACH	67

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH ORAZ INNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU

TABELA 32. ZAŁOŻENIA KOSZTÓW OPERACYJNYCH PRZYJĘTYCH DO ANALIZY.....	68
TABELA 33. WARTOŚĆ KOSZTÓW OPERACYJNYCH W OKRESIE ANALIZY	70
TABELA 34. WARTOŚĆ REZYDUALNA	70
TABELA 35. EFEKTYWNOŚĆ FINANSOWA PROJEKTU WYMIANY TABORU NA AUTOBUSY ZEROEMISYJNE.....	71
TABELA 36. WIELKOŚĆ EMISJI SZKODLIWYCH SUBSTANCJI DO ATMOSFERY W POSZCZEGÓLNYCH WARIANTACH W CAŁYM OKRESIE ANALIZY	74
TABELA 37. WARTOŚĆ KOSZTÓW EMISJI SZKODLIWYCH SUBSTANCJI W POSZCZEGÓLNYCH WARIANTACH W CAŁYM OKRESIE ANALIZY W ZŁ	75
TABELA 38. WIELKOŚĆ KOSZTÓW EMISJI HAŁASU W POSZCZEGÓLNYCH WARIANTACH W CAŁYM OKRESIE ANALIZY	77
TABELA 39. WSPÓŁCZYNNIKI KONWERSJI PRZEPŁYWÓW FINANSOWYCH W ANALIZIE SPOŁECZNO-EKONOMICZNEJ	78
TABELA 40. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA PROJEKTU WYMIANY TABORU NA AUTOBUSY ZEROEMISYJNE	78
TABELA 41. WYZNACZENIE ZMIENNYCH KRYTYCZNYCH W ANALIZIE WRAŻLIWOŚCI	80
TABELA 42. WYNIKI ANALIZY WRAŻLIWOŚCI	81
TABELA 47. IDENTYFIKACJA RYZYKA.....	82
TABELA 43. ANALIZA JAKOŚCIOWA RYZYKA — SKALA PRAWDOPODOBIENSTWA	84
TABELA 44. ANALIZA JAKOŚCIOWA RYZYKA — SKALA SIŁY ODDZIAŁYWANIA NA PROJEKT	85
TABELA 45. MATRYCA POZIOMU RYZYKA	85
TABELA 46. STRATEGIE „ZAPOBIEGANIA” I „OGRANICZANIA” POWIĄZANE Z MATRYCĄ POZIOMU RYZYKA.....	86
TABELA 47. IDENTYFIKACJA RYZYKA.....	86

SPIS RYSUNKÓW

RYSUNEK 1. LINIE KOMUNIKACYJNE URUCHAMIANE W RAMACH POROZUMIEŃ MIĘDZYGMINNYCH	25
RYSUNEK 2. FUNKCJONOWANIE AUTOBUSU ZASILANEGO WODOROWYMI OGNIWAMI PALIWOWYMI	41
RYSUNEK 3. TANKOWANIE AUTOBUSU ELEKTRYCZNEGO Z WODOROWYMI OGNIWAMI PALIWOWYMI W WUPPERTAL.....	42
RYSUNEK 4. PROCES DOSTAWY WODORU NA STACJĘ TANKOWANIA.....	43
RYSUNEK 5. MIASTA EKSPLOATUJĄCE POWYŻEJ 10 AUTOBUSÓW ELEKTRYCZNYCH AKUMULATOROWYCH (LIPIEC 2021 R.)	50
RYSUNEK 6. ELEKTRYFIKACJA LINII AUTOBUSOWYCH ORAZ LOKALIZACJA PUNKTÓW ŁADOWANIA W PRZYPADKU OPŁACALNOŚCI PRZEDSIĘWZIĘCIA LUB POZYSKANIA ZEWNĘTRZNEGO DOFINANSOWANIA	60
RYSUNEK 7. GĘSTOŚĆ ZAŁUDNIENIA W OBSZARZE CIĄŻENIA LINII AUTOBUSOWYCH DO ELEKTRYFIKACJI	77

SPIS ZDJĘĆ

ZDJĘCIE 1. ŁADOWARKI PLUG-IN ZAINSTALOWANE NA ZAJEZDNI W WARSZAWIE	47
ZDJĘCIE 2. ŁADOWANIE AUTOBUSU ELEKTRYCZNEGO AKUMULATOROWEGO Z WYKORZYSTANIEM WOLNEGO ŁADOWANIA POPRZECZ PANTOGRAF NA SPECJALNYCH BRAMOWNICACH ZAINSTALOWANYCH NA ZAJEZDNI W KRAKOWIE	48
ZDJĘCIE 3. ŁADOWANIE AUTOBUSU ELEKTRYCZNEGO AKUMULATOROWEGO Z WYKORZYSTANIEM ŁADOWARKI PANTOGRAFOWEJ W WARSZAWIE	48
ZDJĘCIE 4. AUTOBUS ELEKTRYCZNY TESTOWANY PRZEZ MPK WROCŁAW.....	49