

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu



Opracowanie zgodne z wymogami
Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r.
o elektromobilności
i paliwach alternatywnych



WROCŁAW - WAŁBRZYCH 2024



TRAKO
PROJEKTY TRANSPORTOWE



Dokument przygotowany przez:

TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE

Szamborski i Szelukowski S.J. ©

ul. Jaracza 71/9, 50-305 Wrocław,

e-mail: poczta@trako.com.pl

www.trako.com.pl

Spis treści

1.	Wprowadzenie – cel i obszar analizy	5
1.1.	Cel analizy	5
1.2.	Obszar terytorialny objęty analizą	6
1.3.	Uwarunkowania techniczne i prawne	7
1.3.1.	Uwarunkowania prawne	7
1.3.2.	Uwarunkowania techniczne	9
1.4.	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	12
2.	Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego na obszarze objętym AKK	14
3.	Opis istniejącego systemu komunikacyjnego	16
3.1.	Komunikacja miejska	16
3.1.1.	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	16
3.1.2.	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy	20
3.2.	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	20
3.2.1.	Normy emisji spalin	20
3.2.2.	Obecna oraz planowana struktura wieku autobusów i program wymiany taboru	21
3.2.3.	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych	23
3.3.	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	23
3.3.1.	Wskaźnik wykorzystania taboru	24
3.3.2.	Analiza rozkładów jazdy	24
3.4.	Transport drogowy inny niż komunikacja miejska	25
3.5.	Transport kolejowy	26
4.	Plan rozwoju i wymiany taboru	28
4.1.	Analiza strategiczna eksploatacji autobusów zeroemisyjnych	29
4.1.1.	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	30
4.1.2.	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	32
4.1.3.	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	33
4.1.4.	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów	34
4.1.5.	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem	35
4.2.	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	36
4.2.1.	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	36
4.2.2.	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	39

4.2.3.	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	39
4.2.4.	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami typu „plug-in” i za pomocą pantografu	40
4.2.5.	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi	40
4.3.	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów	44
4.3.1.	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów.....	44
4.3.2.	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	45
4.3.3.	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	46
4.3.4.	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Wałbrzychu.....	47
4.4.	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne.....	50
4.5.	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	50
5.	Analiza finansowo – ekonomiczna	55
5.1.	Założenia i metodyka analizy finansowej.....	55
5.2.	Nakłady inwestycyjne	56
5.3.	Wartość nakładów odtworzeniowych.....	57
5.4.	Prognoza kosztów operacyjnych.....	58
5.5.	Wartość rezydualna	62
5.6.	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru.....	62
6.	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji.....	64
7.	Analiza społeczno–ekonomiczna.....	67
7.1.	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym	67
7.2.	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym	69
7.3.	Inne korzyści zewnętrzne	70
7.4.	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej	72
7.5.	Analiza ryzyka	73
8.	Rekomendacje w zakresie wymiany taboru, podsumowanie i wnioski	79
9.	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania	81
10.	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych.....	83
11.	Spis tabel	85
12.	Spis rysunków	87

1. Wprowadzenie – cel i obszar analizy

1.1. Cel analizy

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu została sporządzona w celu określenia realnych kosztów i korzyści wynikających z eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu. AKK została wykonana przede wszystkim w oparciu o ustalenia oraz zapisy Ustawy z dnia 11 stycznia 2018r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 875) oraz niżej wymienionych aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (t.j. Dz.U. z 2023 r., poz. 2778),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (t.j. Dz. U. z 2022 r., poz. 673),
- Ustawa 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 2023 r., poz. 1094 z późn. zm.).

Ponadto AKK sporządzono zgodnie z niżej wymienionymi dokumentami:

- *Niebieska Księga. Wydanie uaktualnione 2023. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach i regionach.* Jaspers, 2023,
- *Wytyczne dotyczące zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym hybrydowych na lata 2021-2027,* Minister Funduszy i Polityki Regionalnej, Warszawa, marzec 2023 r.,
- *Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych, współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej: Vademecum Beneficjenta,* CUPT, 2016,

- *Zasady opracowywania 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,* PTC Public Transport Consulting Marcin Gromadzki, 2018 r.,
- *Najlepsze praktyki w analizach kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków unijnych. Dla rozwoju infrastruktury i środowiska,* CUPT, grudzień 2014 r.,
- *Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020,* Komisja Europejska, grudzień 2014 r.



Rys. 1.1 *Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Opolu w trakcie szybkiego ładowania ze stacji ładowania pantografowego*

Źródło: Zbiory własne

W pierwszych rozdziałach AKK kosztów i korzyści przedstawiono uwarunkowania techniczne i prawne wykorzystywania autobusów zeroemisyjnych. W tej części dokumentu przeprowadzono pogłębioną analizę eksploatacyjną przewozów, niezbędną do określenia nakładów inwestycyjnych oraz logiki wykorzystania danego typu autobusów

zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu.



Rys. 1.2 *Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Stalowej Woli*

Źródło: Zbiory własne

Następnie przeprowadzono analizę strategiczną wyboru najbardziej korzystnego typu autobusów zeroemisyjnych, uwzględniając koszty wdrożenia danego rozwiązania oraz parametry eksploatacyjne. Dla wybranego typu autobusu opracowana została szczegółowa analiza finansowa i ekonomiczna, uwzględniająca potencjalne korzyści społeczne i środowiskowe, która została zestawiona

z alternatywnym wariantem bazującym na odtwarzaniu floty w oparciu o obecnie eksploatowane autobusy spalinowe, hybrydowe oraz zakontraktowane autobusy elektryczne akumulatorowe. W końcowej części opracowania przedstawiono analizę ryzyka, rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru komunikacji miejskiej w Wałbrzychu oraz wskazano potencjalne źródła finansowania inwestycji w tabor zeroemisyjny.



Rys. 1.3 *Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18 w Aachen, Niemcy*

Źródło: Zbiory własne

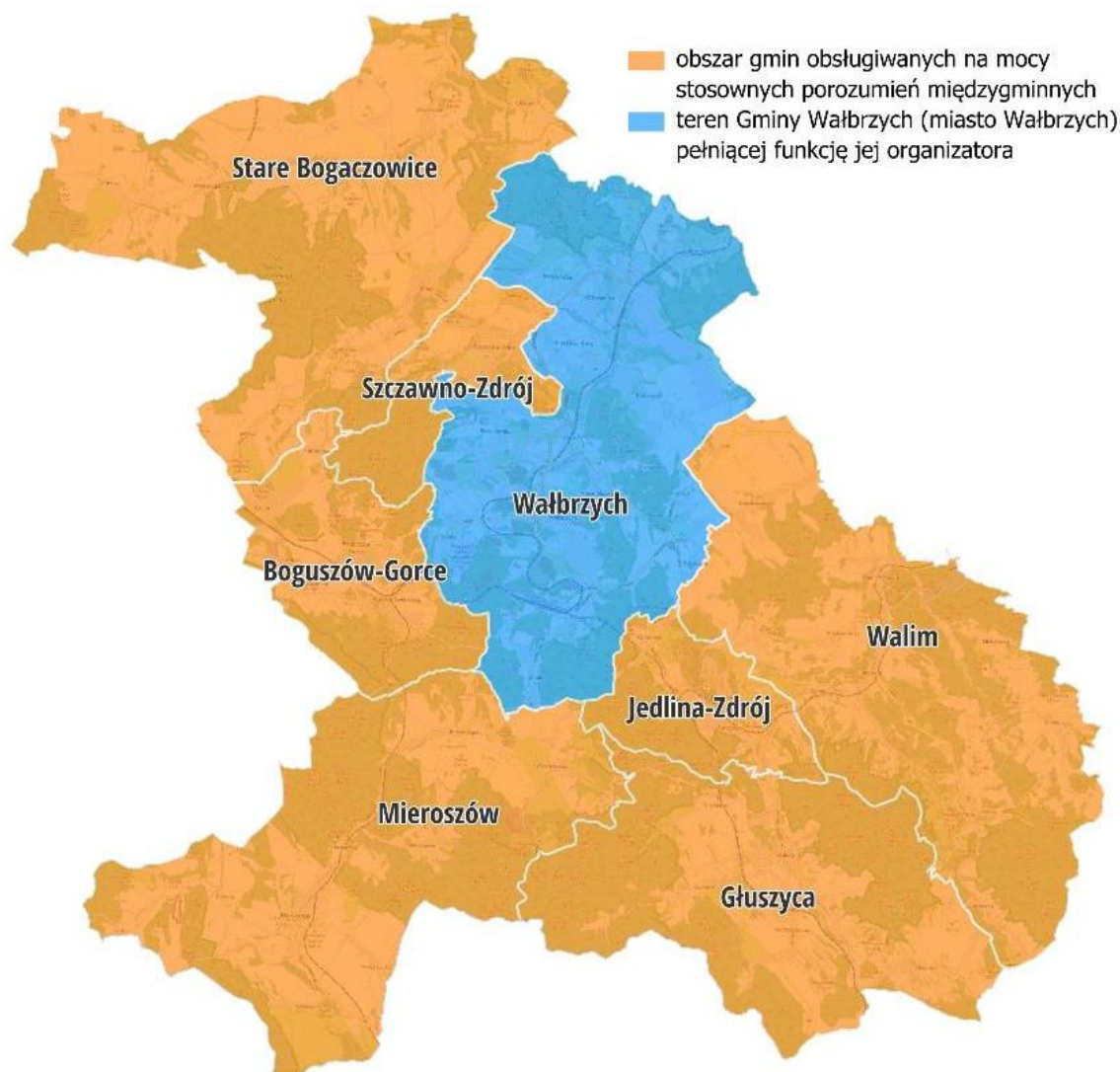
1.2. Obszar terytorialny objęty analizą

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Gminy Wałbrzych (miasto Wałbrzych) pełniącej funkcję jej organizatora oraz obszar gmin obsługiwanych na mocy stosownych porozumień międzygminnych. Obecnie jest to siedem gmin, w tym:

- 3 gminy miejskie: Boguszów-Gorce, Jedlina-Zdrój, Szczawno-Zdrój,
- 2 gminy miejsko-wiejskie: Głuszyca, Mieroszów,

- 2 gminy wiejskie: Stare Bogaczowice, Walim.

Sieć wałbrzyskiej komunikacji miejskiej tworzy obecnie 15 linii funkcjonujących na potrzeby miasta Wałbrzych oraz 7. okolicznych gmin – Stron Porozumienia Międzygminnego. Obejmuje ona także połączenia na terenie dwóch krajów (linia nr 15 kursująca na obszarze Polski i Czech). Organizatorem przewozów jest Gmina Wałbrzych.



Rys. 1.4 Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej organizowanej przez Wałbrzych.

Źródło: Opracowanie własne

1.3. Uwarunkowania techniczne i prawne

1.3.1. Uwarunkowania prawne

Rozwój elektromobilności w Polsce wspierany jest przez Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. *o elektromobilności i paliwach alternatywnych*, której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w niej definicja autobusu zeroemisyjnego¹ precyzuje ten typ pojazdu jako:

- autobus,
- trolejbus,

wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. *o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji* (t.j. Dz. U.

¹ Art. 2 pkt 1 Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych.

z 2022 r., poz.673). Analizując jej ustalenia, w których wskazano, że do grona tych substancji należą m.in. tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), benzo(a)piren, dlatego też za autobusy zeroemisyjne można uznać wyłącznie:

- autobusy elektryczne akumulatorowe,
- autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi,
- trolejbusy,

które nie emitują gazów cieplarnianych oraz innych szkodliwych dla środowiska substancji. Kryterium dla autobusu zeroemisyjnego nie spełniają zatem autobusy spalinowe, autobusy gazowe (napędzane CNG, LNG, LPG, biometanem), autobusy hybrydowe, autobusy hybrydowo – elektryczne oraz autobusy gazowo - elektryczne.



Rys. 1.5 Przykład oznakowania autobusu zeroemisyjnego, Częstochowa

Źródło: Zbiory własne

Zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o *elektromobilności i paliwach alternatywnych*, wdrażanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych będzie najszybciej następowało w miastach średnich i dużych, ponieważ każda jednostka samorządu terytorialnego licząca co najmniej 50 tys. mieszkańców i organizująca komunikację miejską, począwszy od 1 stycznia 2028 r. będzie świadczyć usługi lub zawierać umowy o świadczenie usług przewozu o charakterze użyteczności publicznej wyłącznie z podmiotami posiadającymi co najmniej 30% autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanej na rzecz

tej jednostki samorządu terytorialnego². Osiągnięcie tego udziału założono etapami³:

- 5% od 1 stycznia 2021 r.,
- 10% od 1 stycznia 2023 r.,
- 20% od 1 stycznia 2025 r.



Rys. 1.6 Przykład oznakowanie autobusu zeroemisyjnego z tyłu, Wrocław

Źródło: Zbiory własne

Wskazane wymagane minimalne udziały uznaje się za odnoszące się wprost do sumarycznej liczby autobusów przeznaczanych wyłącznie lub częściowo do obsługi przewozów w ramach komunikacji miejskiej przez ich operatora. Wymogi te odnoszą się do wszystkich połączeń w ramach sieci komunikacyjnej, w tym połączeń międzygminnych realizowanych poza obszarem administracyjnym właściwej jednostki samorządu terytorialnego, pełniącej rolę organizatora komunikacji miejskiej.

Każda z wymienionych w art. 36 Ustawy o *elektromobilności i paliwach alternatywnych* jednostek samorządu terytorialnego, sporządza co 36 miesięcy analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług

² Ibidem, art. 36 ust. 1 i art. 86 pkt 4.

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

komunikacji miejskiej, przy czym pierwszą analizę należało opracować w terminie do dnia 31 grudnia 2018 r.⁴.

Gmina Wałbrzych z liczbą mieszkańców wynoszącą w 2023 roku 100 294⁵, pełniącą funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest jednostką samorządu terytorialnego ustawowo zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

Analizy kosztów i korzyści związanych z eksploatacją autobusów zeroemisyjnych poddawane są konsultacjom społecznym, zgodnie z zapisami Rozdziałów 1 – 3 w Dziale III *Udział społeczeństwa w ochronie środowiska* 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 2023 r., poz. 1094).

Analizy kosztów i korzyści związanych z eksploatacją autobusów zeroemisyjnych poddawane są konsultacjom społecznym, zgodnie z zapisami Rozdziałów 1 i 3 w Dziale III Ustawy z dnia 3 października 2008 r.

1.3.2. Uwarunkowania techniczne

W ramach niniejszego rozdziału zostały przeanalizowane uwarunkowania techniczne autobusów elektrycznych akumulatorowych ładowanych ładowarkami plug-in, pantografowymi i indukcyjnymi, autobusów wyposażonych w wodorowe ogniwa paliwowe oraz trolejbusów wyposażonych w akumulatory ładowane z sieci trolejbusowej.

o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. z 2023 r., poz. 1094).

Organ po przystąpieniu do sporządzania AKK powinien niezwłocznie poinformować o tym fakcie społeczeństwo, a opracowany projekt dokumentu należy opublikować z możliwością składania do niego uwag w terminie 21 dni od daty publikacji. Do AKK należy dołączyć raport z przeprowadzonych konsultacji społecznych.

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

- ministrowi właściwemu do spraw energii – obecnie Ministrowi Klimatu i Środowiska,
- ministrowi właściwemu do spraw klimatu – aktualnie Ministrowi Klimatu i Środowiska.

Jeżeli wyniki AKK nie wykażą korzyści z tytułu eksploatacji autobusów zeroemisyjnych, organizator komunikacji miejskiej będzie zwolniony z wymogu osiągnięcia wskazanych w ustawie minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora.

Na przestrzeni ostatnich lat coraz większą popularność zdobywają autobusy elektryczne akumulatorowe, poruszające się dzięki zainstalowanym akumulatorom, ładowanym na rozmaite sposoby. Podstawowa metoda wolnego ładowania, tj. plug – in, polega na dostarczaniu energii bezpośrednio ze stacji ładowania („z gniazdką”).

4 Ibidem, art. 72.

5 Dane według stanu na dzień 31.12.2022 r., źródło: <https://bdl.stat.gov.pl>, dostęp 18.06.2024 r.



Rys. 1.7 Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18 na stacji szybkiego ładowania w trakcie postoju wyrównawczego w Amsterdamie, Holandia

Źródło: Zbiory własne

Ze względu na relatywnie długi czas potrzebny do naładowania autobusu (nawet do 6 – 8 godzin, zależnie od pojemności pakietów akumulatorów w autobusie i mocy wyjściowej ładowarki), ładowanie typu plug – in odbywa się najczęściej w porze nocnej na terenie zajezdni operatora transportu publicznego. Obecnie najczęściej eksploatowane akumulatory pozwalają na wykonanie maksymalnie do 150 - 200 km na jednym ładowaniu autobusu, przez co popularne stały się alternatywne metody ładowania autobusów elektrycznych, rozszerzające ich operacyjność. Pierwszą z nich jest szybkie ładowanie autobusów poprzez ładowarki pantografowe, dla których energia dostarczana jest ze stacji ładowania w dowolnej lokalizacji, głównie podczas postojów wyrównawczych na przystankach krańcowych. Obecnie na rynku popularność zyskały dwa modele ładowania za pomocą pantografów:

- podnoszonych, które są montowane na dachach autobusów i na czas ładowania unoszone są podczas postoju pod ładowarką,
- odwróconych, opuszczanych z masztu pantografowego do strefy gniazda ładowania, ulokowanego na dachu autobusu.

Na chwilę obecną, na europejskim rynku elektrobusów najczęściej stosowane jest doładowywanie poprzez pantograf odwrócony, a czołowi producenci taboru podjęli kroki do ustandaryzowania tego systemu ładowania, tworząc protokół opp-charge (OCPP).



Rys. 1.8 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na stacji szybkiego ładowania na pętli w Świdnicy

Źródło: Zbiory własne

Drugą metodą jest ładowanie z wykorzystaniem pętli indukcyjnej zbudowanej pod przystankiem pośrednim lub przystankiem krańcowym, jednakże jest to rozwiązanie wymagające poniesienia znaczących nakładów inwestycyjnych, przez co nie jest ono rozpowszechnione.

Obie z tych metod pozwalają znacząco zwiększyć łączny zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych, dając możliwość przydzielania ich do obsługi zadań całodziennych, z przebiegami przekraczającymi 300 – 400 km dziennie.

Dzięki nieustannemu rozwojowi technologii coraz częściej producenci autobusów elektrycznych deklarują dostawy pojazdów z pakietami akumulatorów o dużej pojemności energii użytkowej, gwarantujących dłuższy zasięg nawet do ok. 400 km na 1 ładowaniu, które nie będzie wymagał szybkiego doładowywania z ładowarek pantografowych. Tak duże akumulatory powodują znaczący wzrost masy autobusu.

Główni europejscy producenci taboru dla transportu publicznego oferują autobusy elektryczne akumulatorowe o klasach wielkościowych MINI, MIDI, MAXI, MEGA15 MEGA18, a nawet MEGA25.

Autobusy napędzane wodorem – poruszają się dzięki silnikom elektrycznym zasilanym prądem wytwarzanym z czystego wodoru w ogniach paliwowych. Pojazdy te stanowią stosunkowo nowe rozwiązanie w branży transportu publicznego, z którym związane są duże nadzieje wynikające z przewidywanego zasięgu kursowania na poziomie nawet do 450 km dziennie na 1 tankowaniu autobusu.

Eksploatacja autobusów napędzanych wodorem wiąże się z koniecznością organizacji dostępu do tego rodzaju paliwa. Obecnie dostępne są 2 podstawowe sposoby zależnie głównie od wielkości obsługiwanej sieci i zapotrzebowania na paliwo. W przypadku małych sieci, ze względu na niższe dzienne zapotrzebowanie, wystarczające jest zamówienie dostaw poprzez zastosowanie butlowozów w formie mobilnej stacji tankowania. Autobus wodorowy zużywa dziennie ok. 40 kg paliwa, a pojemność butlowozu to ok. 900 kg paliwa. Pozwala to na zapewnienie paliwa dla 22 pojazdów. W przypadku większych sieci stosowana jest metoda stacjonarnych stacji tankowania.



Rys. 1.9 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi MAXI w Poznaniu

Źródło: Zbiory własne

Trolejbusy są swego rodzaju hybrydą pomiędzy autobusem i tramwajem. Tradycyjne autobusy tego typu wymagają ciągłego połączenia odbieraków z siecią trakcyjną, jednak coraz więcej trolejbusów wyposażonych jest w dodatkowe akumulatory pozwalające na przejechanie do ok. 30 km na odcinkach bez sieci trakcyjnej. Rozwiązanie to pozwala na ograniczenie kosztów infrastruktury, ponieważ eliminuje ono konieczność budowy sieci trakcyjnej na całej trasie. Ponadto akumulatory mogą być doładowywane zarówno w trakcie postoju jak i jazdy, co nie powoduje konieczności wydłużania postojów na pętlach, jak ma to miejsce w przypadku pojazdów poruszających się wyłącznie na zasilaniu bateryjnym. Rozszerza to możliwości zastosowania tego typu autobusów, aczkolwiek pod względem ekonomii głównie dla sieci posiadających kursujące względnie często linie, ze względu na wysokie koszty budowy infrastruktury liniowej (sieci trakcyjnej) – 1 km sieci to równowartość ok. 4 ładowarek pantografowych.

1.4. Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- **AKK** – analiza kosztów i korzyści,
- **B/C** – (ang. *benefit cost ratio*) wskaźnik korzyści do kosztów,
- **BDL** - Bank Danych Lokalnych,
- **brygada** – zadanie w rozkładzie jazdy zaplanowane do realizacji przez 1 autobus w ciągu dnia (zamiennie stosowanym określeniem jest kursówka),
- **CF** – (ang. *conversion factor*) wskaźnik konwersji,
- **CNG** – (ang. *compressed natural gas*) sprężony gaz ziemny,
- **CUPT** – Centrum Unijnych Projektów Transportowych,
- **DK** - droga krajowa,
- **DW** - droga wojewódzka,
- **ENPV** – (ang. *economic net present value*) ekonomiczna wartość bieżąca netto,
- **ERR** – (ang. *economic rate of return*) ekonomiczna stopa zwrotu,
- **FNPV** – (ang. *financial net present value*) finansowa wartość bieżąca netto,
- **FNPV/c** – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji,
- **FRPA** – Fundusz rozwoju przewozów autobusowych o charakterze użyteczności publicznej,
- **FRR/c** – (ang. *financial internal rate of return on investment*) finansowa stopa zwrotu z inwestycji,
- **GUS** - Główny Urząd Statystyczny,
- **HVAC** – (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*) ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja,
- **KPO** – Krajowy Plan Odbudowy,
- **LE** - (ang. *low entry*) autobus niskowejściowy z niską podłogą w części autobusu, co najmniej w jednych drzwiach, np. pomiędzy I a II drzwiami,
- **LF** - (ang. *low floor*) autobus niskopodłogowy z niską podłogą w każdych drzwiach, na całej długości autobusu,
- **LFP** – (ang. *lithium ferrophosphate*) akumulator litowo-żelazowo-fosforanowy o elektrodzie z fosforanu litu żelaza (II),
- **LK** - linia kolejowa,
- **LNG** – (ang. *liquefied natural gas*) ciekły gaz ziemny,
- **LPG** – (ang. *liquefied petroleum gas*) ciepla mieszanina propanu i butanu,
- **LTO** – (ang. *lithium-titanate-oxide*) akumulatory litowo-jonowe o elektrodzie z tytanianu litu,
- **MCA** – (ang. *Multivariate Comparative Analysis*) wielokryterialna analiza porównawcza,
- **MINI** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 6 - 8 metrów,
- **MIDI** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 - 10 metrów,
- **MAXI** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 11 - 13 metrów,
- **MEGA15** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 15 metrów,
- **MEGA18** – autobus dwuczłonowy o długości ok. 17 - 19 metrów,
- **MEGA25** – autobus trzyczłonowy o długości ok. 23 - 25 m
- **NMC** – (ang. *Lithium Manganese Cobalt*) akumulator litowo-jonowy o elektrodzie z niklu-manganu-kobaltu,
- **ON** – olej napędowy,
- **Opp-charge** – otwarty interfejs pomiędzy stacjami ładowania i pojazdami elektrycznymi,
- **postój wyrównawczy** – przerwa międzykursowa zaplanowana w rozkładzie jazdy na pętli,
- **praca eksploatacyjna** – liczba wykonywanych wozokilometrów przez środki transportu,
- **prędkość komunikacyjna** – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich,
- **uepa** – Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o *elektromobilności i paliwach*

- alternatywnych* (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 875),
- **W0** – wariant bazowy,
 - **W1/ W2/ W3** – wariant inwestycyjny,
 - **wariant podstawowy trasy** – wariant trasy danej linii komunikacyjnej, na którym realizowanych jest najwięcej kursów,
 - **wartość rezydualna** - wartość środków trwałych netto uzyskanych na etapie realizacji projektu lub w okresie jego eksploatacji, wynikająca z nakładów inwestycyjnych na realizację projektu oraz nakładów odtworzeniowych, ustalona na koniec ostatniego roku okresu odniesienia przyjętego do analiz,
 - **wozogodzina** – jednostka miary czasu zaangażowania środka transportu w wykonanie zaplanowanego rozkładu jazdy lub harmonogramu,
 - **wozokilometr liniowy** – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach przewozów regularnych, na kursach ogólnodostępnych dla pasażerów, które są prezentowane w rozkładach jazdy,
 - **wozokilometr techniczny** - długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach kursów dojazdowych z zajezdni do przystanków krańcowych, kursów zjazdowych z przystanków krańcowych do zajezdni,
 - **wzkm** – wozokilometr.

2. Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego na obszarze objętym AKK

Wałbrzych jest miastem na prawach powiatu. Jego granice administracyjne obejmują obszar 84,7 km², zamieszkały na dzień 31.12.2023 r. przez około 100,2 tys. mieszkańców. Na osi wschód-zachód miasto rozciąga się na 12 km, a z północy na południe na 22 km.

Wałbrzych położony jest w południowo-zachodniej Polsce, w województwie dolnośląskim, na Pogórzu Zachodniosudeckim w Sudetach Środkowych, w pobliżu granicy z Republiką Czeską. Miasto leży w terenie podgórskim (średnio na wysokości 450-500 m n.p.m.), granice administracyjne przebiegają naturalnymi zboczami, grzbieciami gór i czasem opierają się na potokach górskich. Jego północna część położona jest na Pogórzu Wałbrzyskim, a południowa w Górach Wałbrzyskich i Kotlinie Wałbrzyskiej.

Miasto Wałbrzych graniczy bezpośrednio z czterema miastami:

- od południowego zachodu z gminą miejską Boguszów-Gorce,
- od południowego wschodu z gminą miejską Jedlina-Zdrój,
- od północnego zachodu z gminą miejską Szczawno-Zdrój,
- od północy z gminą miejską Świebodzice,

oraz bezpośrednio z czterema gminami:

- od południowego zachodu z gminą miejsko-wiejską Mieroszów,
- od południowego wschodu z gminą wiejską Walim,
- od zachodu z gminą wiejską Świdnica,
- od północy z gminą wiejską Stare-Bogaczowice.

Wałbrzych jest subregionalnym ośrodkiem przemysłowym, kulturalnym i naukowym, a także jest ważnym węzłem drogowym, przez który przebiegają i krzyżują się trasy dróg krajowych i wojewódzkich:

- DK35 relacji: granica PL-CR – Mieroszów – Wałbrzych – Świdnica – Wrocław,
- DW367 relacji: Jelenia Góra – Kamienna Góra – Boguszów-Gorce – Wałbrzych,
- DW375 relacji: Dobromierz – Stare Bogaczowice – Struga (k. Szczawno-Zdroju),
- DW376 relacji: Jabłów – Struga – Szczawno-Zdrój (Wałbrzych),
- DW379 relacji: Wałbrzych – Stary Julianów – Świdnica,
- DW381 relacji: Wałbrzych – Nowa Ruda – Kłodzko,

oraz jest ważnym węzłem kolejowym, w którym przebiegają czynne w ruchu pasażerskim linie kolejowe (LK):

- LK266 relacji: Świdnica Kraszowice – Jugowice – Jedlina-Zdrój (jest ona przedłużeniem LK285 z Wrocławia),
- LK274 relacji: Wrocław Świebodzki – Wałbrzych – Jelenia Góra – Lubań Śląski – Zgorzelec – granica państwa,
- LK286 relacji: Kłodzko Główne – Nowa Ruda – Jedlina-Zdrój – Wałbrzych Główny,
- LK291 relacji: Boguszów-Gorce Wschód – Mieroszów – granica państwa.

Łączna liczba ludności na obszarze objętym AKK w 2023 roku wyniosła 148 193 osoby, z czego 68% stanowili mieszkańcy miasta Wałbrzych. Najmniejsza liczba mieszkańców występuje w gminach: Jedlina Zdrój i Stare Bogaczowice.

W ciągu 10 lat (2014-2023) liczba ludności na całym obszarze objętym AKK spadła o prawie 21,4 tys. osób (o 12,6%), w tym:

- w Wałbrzychu zmniejszyła się o ok. 16,7 tys. (o 14,3%) i był to największy spadek ze wszystkich gmin,
- w siedmiu obsługiwanych gminach zmniejszyła się łącznie o ok. 4,7 tys. (o 9%),

- wzrosła jedynie w gminie wiejskiej Stare Bogaczowice o 45 osób (o 1,1%),
- najbardziej spadła w gminie miejsko-wiejskiej Mioszów o ok. 0,9 tys. (o 12,5%) oraz w gminie miejskiej Boguszków-Gorce o ok. 1,9 tys. (o 11,8%).

Razem wszystkie gminy miejskie (bez Wałbrzycha), gminy miejsko-wiejskie oraz gminy wiejskie, odnotowały w ciągu tych dziesięciu lat spadek liczby ludności:

- trzy gminy miejskie o 10,3% (o blisko 2,8 tys. osób),
- dwie gminy miejsko-wiejskie o 10,5% (o prawie 1,7 tys. osób),
- dwie gminy wiejskie o 3,1% (o około 0,3 tys. osób).

Wałbrzych sukcesywnie, z roku na rok, traci liczbę mieszkańców (najwięcej, ok. 6,4 tys.

Tab. 2.1 Liczba ludności w latach 2014– 2023 w analizowanym obszarze.

Gmina	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Wałbrzych	116 691	115 453	114 568	113 621	112 594	111 356	105 007	103 263	101 857	100 294
Boguszków-Gorce	16 055	15 869	15 733	15 566	15 444	15 310	14 673	14 535	14 349	14 166
Jedlina-Zdrój	4 975	4 970	4 930	4 887	4 851	4 820	4 808	4 766	4 682	4 623
Szczawno-Zdrój	5 754	5 699	5 692	5 650	5 608	5 569	5 400	5 257	5 243	5 240
Głuszycza	8 850	8 791	8 777	8 708	8 659	8 605	8 315	8 204	8 133	8 065
Mioszów	7 087	6 992	6 948	6 935	6 866	6 760	6 394	6 361	6 289	6 202
Walim	5 662	5 607	5 588	5 573	5 430	5 403	5 414	5 341	5 337	5 311
Stare Bogaczowice	4 247	4 255	4 259	4 269	4 298	4 304	4 261	4 266	4 286	4 292
suma (bez Wałbrzycha)	52 630	52 183	51 927	51 588	51 156	50 771	49 265	48 730	48 319	47 899
suma gminy razem	169 591	167 636	166 495	165 209	163 750	162 127	154 272	151 993	150 176	148 193

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS/BDL.

Miasto Wałbrzych posiada rozbudowaną ofertę miejsc pracy, zlokalizowanych głównie w południowo-wschodniej części miasta – powstała w 1997 roku Wałbrzyska Specjalna Strefa Ekonomiczna „Invest Park”, w której funkcjonuje najwięcej firm o charakterze produkcyjno-przemysłowym. W kwietniu 2024 roku⁶ we wszystkich gminach na obszarze AKK

w latach 2019-2020), co związane jest m.in. z postępującą suburbanizacją. Dotyczy to także miast w gminach miejskich (Boguszków-Gorce, Jedlina-Zdrój i Szczawno-Zdrój) oraz w gminach miejsko-wiejskich (Głuszycza i Mioszów).

Dodatkową istotną kwestią społeczną jest także postępujący proces starzenia się społeczeństwa - rosnący udział osób w wieku poprodukcyjnym (grupa seniorów) oraz coroczny spadek liczby narodzin, powodując tym zwiększanie średniego wieku mieszkańca danej gminy. Pokazuje to m.in. konieczność dostosowania infrastruktury oraz systemów transportu do potrzeb osób starszych (w tym też ułatwienia organizacyjne, infrastrukturalne i taborowe w komunikacji zbiorowej).

liczba zarejestrowanych bezrobotnych wyniosła 3 190 osób, w tym w Wałbrzychu – 1 854 osoby i w pozostałych gminach razem – 1 336 osób.

W przypadku Wałbrzycha stopa bezrobocia wynosząca 4,8%, jest niższa od wartości dla powiatu wałbrzyskiego (12,1%) i od wartości dla całego kraju (5,1%) oraz jest wyższa niż dla województwa dolnośląskiego (4,6%).

6 Dane Powiatowego Urzędu Pracy w Wałbrzychu (<https://walbrzych.praca.gov.pl/rynek-pracy/statystyki-i-analazy>)

3. Opis istniejącego systemu komunikacyjnego

3.1. Komunikacja miejska

3.1.1. Charakterystyka sieci komunikacyjnej

3.1.1.1. Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych

Obecnie obowiązująca od dnia 5.05.2024 r. Umowa Nr ZDKiUM/U-WB/49-W/2024 na realizację zamówienia publicznego pn. *Świadczenie usług przewozowych w zakresie regularnego przewozu osób na liniach komunikacyjnych miejskich*, została zawarta w dniu 16.04.2024 r. pomiędzy organizatorem:

- Gminą Wałbrzych – miastem na prawach powiatu,

a operatorem – Konsorcjum firm:

- Benedykt Nowak, Nowak Transport – Lider konsorcjum,
- LZ Apolinary Lazar, Marcin Lazar Spółka Jawna,
- TRANSGÓR Spółka Akcyjna,
- Kłosok Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Spółka komandytowa,
- Usługi transportowe Krzysztof Pawelec.

Operator wykonuje od dnia 5.05.2024 r. do dnia 31.12.2024 r. (z prawem opcji przedłużenia umowy maksymalnie do dnia 28.02.2025 r.) odpłatne świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych miejskich na terenie Wałbrzycha oraz na liniach komunikacyjnych miejskich łączących Wałbrzych i Gminy sąsiednie, z którymi zawarto porozumienie w zakresie lokalnego transportu zbiorowego.

W umowie mają zastosowanie przepisy rozporządzenia nr 1370/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. *dotyczące usług publicznych w zakresie kolejowego i drogowego transportu pasażerskiego*

oraz uchylające rozporządzenia Rady (EWG) nr 1191/69 i (EWG) nr 1107/70 oraz ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym.

Umowa określa funkcje, zadania i odpowiedzialność organizatora, m.in jako podmiotu: zarządzającego systemem komunikacji miejskiej (w tym trasami linii i rozkładami jazdy oraz infrastrukturą przystankową), ustalającego ceny przy wykonywaniu usług przewozowych i dystrybuującego bilety (z wyjątkiem sprzedaży biletów w autobusach). Należności za przewóz i opłaty dodatkowe przysługują organizatorowi. Wymiar realizowanej pracy eksploatacyjnej przez operatora jest określony w miesięcznym zakresie rzeczowym i stanowi górny limit do rozliczeń pomiędzy stronami. Pomimo tego, organizator posiada prawo do zmiany zakresu wykonywanych przewozów, także w ramach prawa opcji w formie aneksu do umowy.

Operator będzie świadczył usługi przewozowe zgodnie z umową, zarówno taborem własnym (Załącznik nr 2 do Umowy: *wykaz autobusów, które znajdują się w dyspozycji Wykonawcy i przy pomocy których będzie on wykonywał przedmiot umowy* oraz Załącznik nr 3 do Umowy: *wymogi dotyczące parametrów technicznych autobusów, którymi Wykonawca będzie wykonywać przewozy w zakresie lokalnego transportu zbiorowego*), jak i taborem użyczonym przez organizatora (Załącznik nr 7 do Umowy: *wykaz autobusów, które Zamawiający przekazał do bezpłatnego korzystania Wykonawcy i przy pomocy których Wykonawca będzie wykonywał przedmiot umowy*).

3.1.1.2. Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Wałbrzychu składa się z 15 linii komunikacyjnych, które można podzielić:

- wg kryterium zakresu funkcjonowania linii w ujęciu tygodniowym:
 - linie kursujące codziennie – 12 linii (2, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 19, A, C),
 - linie kursujące w dni robocze od poniedziałku do piątku – 1 linia (EX),
 - linie kursujące od poniedziałku do soboty – 1 linia (20),
 - linie kursujące tylko w dni robocze oprócz lipca i sierpnia – 1 linia (4).
- wg kryterium administracyjnego:
 - linie wewnątrzmięskie – 8 linii (4, 9, 10, 19, 20, A, C, EX),
 - linie międzymięskie – 1 linia (18),
 - linie aglomeracyjne – 5 linii (2, 5, 8, 11, 12, 15 na odcinku Wałbrzych – Golińsk),
 - linie transgraniczne – 1 linia (15 na odcinku Golińsk – Meziměstí).

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Gminy Wałbrzych, pełniąc funkcję jej organizatora oraz 7 okolicznych gmin – Stron Porozumienia Międzygminnego, tj. miast: Boguszów-Gorce, Jedlina-Zdrój i Szczawno-Zdrój oraz gmin: Głuszyca, Mieroszów, Stare Bogaczowice i Walim.

Tab. 3.1 Podstawowe wielkości wykonanych zadań w lokalnym transporcie zbiorowym w latach 2012–2024 i planowane na rok 2024 i 2025

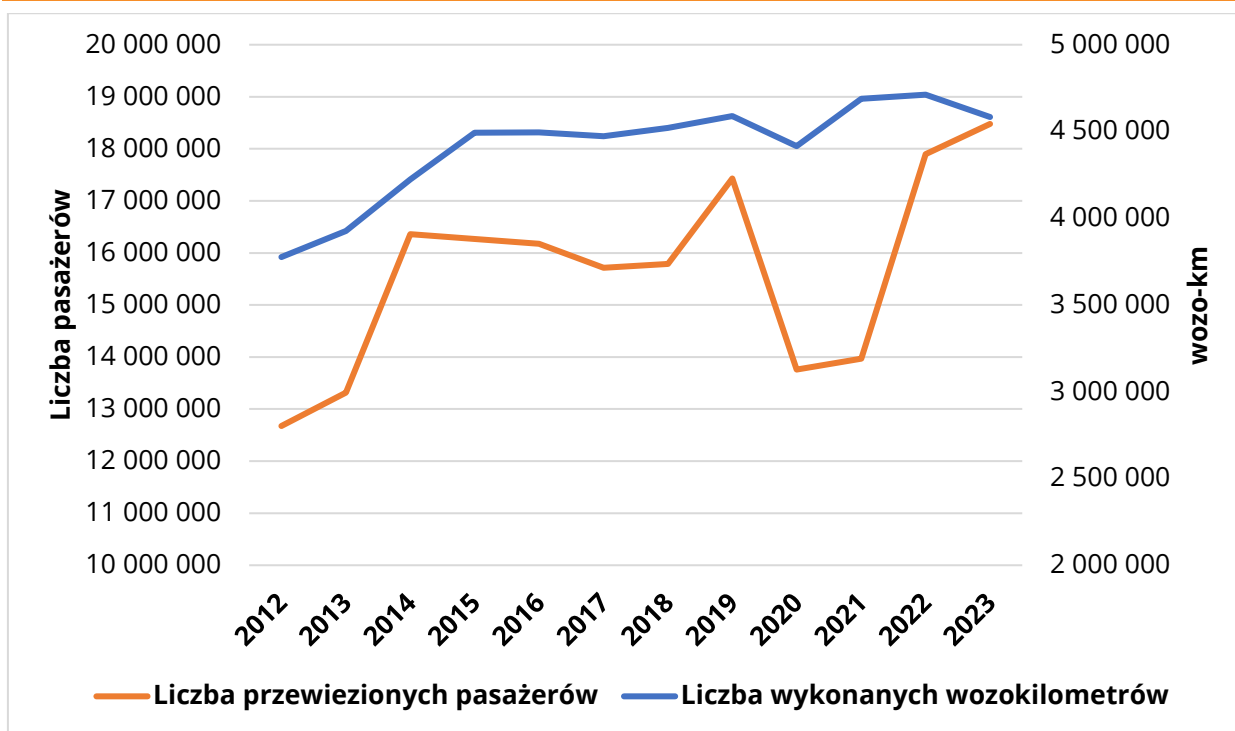
Rok	Liczba:			Koszt usług przewozowych
	wykonanych wzkm [wzkm]	przewiezionych pasażerów [os.]	sprzedanych biletów	
2012	3 776 226	12 675 000	10 843 943,65 zł	31 074 000 zł
2013	3 927 434	13 315 000	12 044 530,75 zł	26 390 000 zł
2014	4 223 700	16 363 000	12 359 704,55 zł	25 688 770 zł
2015	4 492 732	16 271 000	13 187 165,30 zł	27 449 000 zł
2016	4 495 474	16 177 000	12 701 624,40 zł	26 075 000 zł
2017	4 472 180	15 713 000	12 786 808,90 zł	27 347 000 zł
2018	4 520 195	15 790 000	13 781 916,80 zł	28 084 350 zł
2019	4 588 016	17 430 000	13 449 695,80 zł	28 685 670 zł
2020	4 414 821	13 757 680	8 045 621,80 zł	28 783 843 zł
2021	4 688 124	13 966 647	9 310 138,96 zł	30 682 837 zł
2022	4 712 081	17 897 053	14 249 826,89 zł	36 097 827 zł
2023	4 583 465	18 477 900	14 655 682,20 zł	44 353 270 zł
2024 ^A	1 651 129,410	5 674 510	5 007 143,70 zł	16 904 923 zł
2024 ^B	3 156 453	x	x	x
2025 ^C	784 638	x	x	x

A – wykonane wzkm za okres 1.01.2024 – 4.05.2024

B – planowane wzkm w okresie 5.05.2024 – 31.12.2024

C – planowane w opcji wzkm w okresie 1.01.2025- 28.02.2025

Źródło: Plan Transportowy z 2024 r., dane ZDKiUM za rok 2023 i 2024, dane z Umowy Nr ZDKiUM/U-WB/49-W/2024.



Rys. 3.1 Zmiany w podstawowych parametrach zadań przewozowych w latach 2012-2023

Źródło: Plan Transportowy z 2024 r. oraz dane ZDKiUM za rok 2023.

W Tab. 3.2 zestawiono przebiegi tras oraz podstawowe parametry linii organizowanych przez Gminę Wałbrzych.

Tab. 3.2 Wykaz linii komunikacji miejskiej organizowanych przez Gminę Wałbrzych

Numer linii	Relacja linii	Liczba kursów (tam+powrót) w:		
		dzień roboczy	sobotę	niedziele i święta
A	Wałbrzych: Podzamcze <->/Auchan/ <->/ Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> Podgórze <-> Dw. Główny	57	40	41
C	Wałbrzych: Podzamcze <-> /Auchan/ <->/Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście	54	54	31
EX	Wałbrzych: Podzamcze <-> Śródmieście <-> /Galeria Victoria/ <-> Sobięcin	40	0	0
2	Wałbrzych: Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> /Galeria Victoria/<->Sobięcin <-> Boguszów-Gorce (kursy do: Gorce, Kuźnice Świdnickie, Stary Lesieniec, Dzikowiec)	112	102	78
4	Wałbrzych: Podzamcze <-> Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Nowe Miasto <-> Rusinowa	12	0	0
5	Szczawno Zdrój - Wałbrzych: Biały Kamień <-> Śródmieście <-> Nowe Miasto <-> Rusinowa <-> Jedlina Zdrój <-> Walim (Rzeczka) – Głuszycza Górna (kursy do: Dzieńmorowice)	187	122	87
8	Wałbrzych: Zamek Książ/Lubiechów <-> Szczawienko <-> Podzamcze <->Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Biały Kamień - Szczawno Zdrój - Stare Bogaczowice (Struga, Chwaliszów, Gostków)	66	54	40
9	Wałbrzych: Wałbrzych Szczawienko<->Piaskowa Góra<-> Podzamcze <-> Szczawienko <-> Wałbrzych Szczawienko	18	16	13
10	Wałbrzych: Konradów <-> Biały Kamień <-> Śródmieście	38	38	42
11	Wałbrzych: Poniatów<-> /WSSE/<-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> Podgórze <-> Kozice - Walim (Stary Julianów)	57	45	45
12	Wałbrzych: Szczawienko<->/WSSE/ <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> Podgórze <-> Glinik Stary - Mieroszów (Rybica Leśna, Andrzejówka)	88	82	77
15	Wałbrzych: Śródmieście <-> Stary Zdrój <-> Nowe Miasto <-> Glinik Nowy - Mieroszów (Sokołowsko, Golińsk) ⁷	83	69	51
18	Wałbrzych: Sobięcin <-> Biały Kamień <-> Szczawno-Zdrój <-> Wałbrzych: Podzamcze <-> Szczawienko <->/WSSE/	79	63	47
19	Wałbrzych: Wałbrzych Szczawienko<-> Szczawienko <-> Podzamcze <-> Piaskowa Góra <-> Wałbrzych Szczawienko	20	14	12
20	Wałbrzych: Podzamcze <-> Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Nowe Miasto <-> Rusinowa	28	28	0
Razem wszystkich kursów		939	727	564
Razem wszystkich kursów i przejazdów technicznych		970	752	588

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ZDKiUM i Załącznika nr 1 do Umowy Nr ZDKiUM/U-WB/49-W/2024.

⁷ Po ogłoszeniu, w okresie letnim wybrane kursy wydłużane do Meziměstí w Republice Czeskiej

3.1.1.3. Koszty eksploatacyjne

Za świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych objętych umową operator otrzymuje wynagrodzenie za wozokilometr. Obowiązuje stawka stała niezależnie od wielkości taboru czy rodzaju paliwa w wysokości 10,17 zł netto za wzkm. Wypłata wynagrodzenia następuje po uzgodnieniu

wykonanej liczby wozokilometrów, z zastrzeżeniem, że w przypadku wystąpienia okoliczności niezależnych od Wykonawcy uniemożliwiających wykonanie usług przyjmowana jest połowa planowanych wozokilometrów.

3.1.2. Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy

Jednym z zadań własnych Miasta Wałbrzych, określonego w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (t.j. Dz. U. z 2024 r., poz. 609), jest zapewnianie lokalnego transportu zbiorowego, poprzez organizację przewozów w komunikacji miejskiej.

Realizacja tych usług oraz ich ciągłość gwarantowana jest *Planem zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Wałbrzych*, stanowiącym akt prawa miejscowego⁸, w którym założono, że „*jest dokumentem prawa miejscowego, określającym zasady organizacji, funkcjonowania i finansowania regularnego przewozu osób w publicznym transporcie zbiorowym na obszarze miasta. Dokument ten obejmuje całość usług transportu zbiorowego, czyli łącznie usług użyteczności publicznej i usług niepublicznych, przy czym część decyzyjna dotyczy tylko usług zamawianych przez samorząd lokalny, jako usług o charakterze użyteczności publicznej*” oraz że „*Zakres terytorialny Planu Transportowego obejmuje*

miasto Wałbrzych, z uwzględnieniem ścisłych związków z gminami sąsiednimi, powiązanych z Wałbrzychem porozumieniami międzygminnymi o organizowaniu transportu publicznego, a także z Powiatem Wałbrzyskim, obszarem Aglomeracji Wałbrzyskiej i samorządem województwa dolnośląskiego, w zakresie odpowiadającym zadaniom określonym w przepisach prawa”.

Wskazane uwarunkowania formalno – prawne gwarantują podstawy instytucjonalne umożliwiające wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w perspektywie wieloletniej, m.in. w zakresie minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora.

Komunikacja miejska we Wałbrzychu została także opisana w *Miejskim Planie Adaptacji do Zmian Klimatu dla Wałbrzycha*, który zawiera ocenę aktualnego stanu środowiska oraz opis przedsięwzięć pozwalających na dostosowanie miasta do zmian klimatycznych.

3.2. Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

Analizy przeprowadzone w niniejszym rozdziale zostały wykonane według stanu na maj (od dnia 5.05.2024 r.) – czerwiec 2024 r.

3.2.1. Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby obsługi wałbrzyskiej komunikacji miejskiej eksploatowanych jest 61 autobusów. Silniki spalinowe zasilane olejem napędowym posiada 56 autobusów,

a 5 autobusów – silniki spalinowe z napędem na gaz ziemny (CNG). Największym udziałem w całej flocie cechują się autobusy z silnikami spełniającymi normy emisji spalania EURO 5

⁸ Uchwała nr LXXIX/792/24 Rady Miejskiej Wałbrzycha z dnia 19 marca 2024 r. (Dziennik Urzędowy Województwa Dolnośląskiego z dnia 28 marca 2024 r., poz. 2073).

– 36 autobusów (59% taboru). Normę emisji EEV posiada razem 25 autobusów (41% taboru), w tym z silnikami CNG – 5 autobusów (5% całego taboru).

Tab. 3.3 Struktura autobusów według typu i norm spalania

Paliwo i norma spalania / typ autobusu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba autobusów
ON EURO 5	2	29	5	36
ON EEV	0	17	3	20
CNG EEV	0	0	5	5
autobusów razem	2	46	13	61

Źródło: Opracowanie własne, stan na 5.05.2024 r.

3.2.2. Obecna oraz planowana struktura wieku autobusów i program wymiany taboru

Średni wiek autobusów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu wynosi 11,8 lat, w tym dla:

- autobusów MIDI wynosi 11 lat,
- autobusów MAXI wynosi 11,6 lat,
- autobusów MIDI wynosi 12,8 lat.

a według wieku:

- 1 autobus MAXI wyprodukowano w roku 2008,
- 5 autobusów MEGA18 wyprodukowano w roku 2009,
- 2 autobusy MAXI wyprodukowano w roku 2010,

- 21 autobusów, w tym 18 autobusów MAXI i 3 autobusy MEGA18 wyprodukowano w roku 2012,
- 29 autobusów, w tym 2 autobusy MIDI, 22 autobusy MAXI i 5 autobusów MEGA18 wyprodukowano w roku 2013,
- 3 autobusy MAXI wyprodukowano w roku 2014.

Najstarsze autobusy mają obecnie 14-16 lat, a najmłodsze – 10-11 lat. Wiek autobusów jest zróżnicowany i wynosi obecnie 10 – 16 lat. Najwięcej autobusów (50 szt., tj. 52,5% taboru) zostało wyprodukowanych w latach 2012 – 2013.

Tab. 3.4 Struktura autobusów według wieku i typu w 2024 r.

Wiek autobusu /typ autobusu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba autobusów
poniżej 10 lat	0	0	0	0
10-11 lat	2	25	5	32
12-13 lat	0	18	3	21
14-15 lat	0	2	5	7
16 lat i więcej	0	1	0	1
Razem	2	46	13	61

Źródło: Opracowanie własne, stan na 5.05.2024 r.

W poniższych tabelach pokazano symulacje przewidywanej wymiany taboru obsługującego linie komunikacji miejskiej w Wałbrzychu w perspektywie do 2030 r., z wyszczególnieniem okresów przejściowych analogicznych do wskazanych w Ustawie z dnia 11 stycznia 2018 r. o *elektromobilności i paliwach alternatywnych*, tj. dla roku 2025, 2026 i 2028, w oparciu m.in. o:

- o założenie maksymalnego, 20-letniego okresu eksploatacji autobusu.

- zakup 20 zeroemisyjnych autobusów MAXI o napędzie wodorowym,
- o planowany zakup 14 zeroemisyjnych autobusów MAXI o napędzie wodorowym w ramach opcji obecnie realizowanego przetargu na dostawę 20 szt. jak w tiret powyżej,
- wymogi *uepa* odnośnie udziału autobusów zeroemisyjnych,

- wytyczne *Niebieskiej Księgi. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach*⁹, wskazujące na maksymalnie 10-letni okres eksploatacji autobusu.

Przedstawione zestawienia stanowią podstawę do wariantu bazowego odnowy taboru komunikacji miejskiej, poddanego analizom finansowym i ekonomicznym w dalszej części opracowania.

Tab. 3.5 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2025 r.

Wiek autobusu /typ autobusu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba autobusów
poniżej 5 lat	0	14	0	14
6-8 lat	0	0	0	0
9-10 lat	0	0	0	0
11-15 lat	2	31	8	41
16 – 20 lat	0	1	5	6
20 lat i więcej	0	0	0	0
Razem	2	46	13	61

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.6 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2026 r.

Wiek autobusu /typ autobusu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba autobusów
poniżej 5 lat	0	20	0	20
6-8 lat	0	0	0	0
9-10 lat	0	0	0	0
11-15 lat	2	26	8	36
16 – 20 lat	0	0	5	5
20 lat i więcej	0	0	0	0
Razem	2	46	13	61

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.7 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2028 r.

Wiek autobusu /typ autobusu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba autobusów
poniżej 5 lat	2	29	13	44
6-8 lat	0	0	0	0
9-10 lat	0	0	0	0
11-15 lat	0	17	0	17
16 – 20 lat	0	0	0	0
20 lat i więcej	0	0	0	0
Razem	2	46	13	61

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.8 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2030 r.

Wiek autobusu /typ autobusu	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba autobusów
poniżej 5 lat	2	46	13	61
6-8 lat	0	0	0	0
9-10 lat	0	0	0	0
11-15 lat	0	0	0	0
16 – 20 lat	0	0	0	0
20 lat i więcej	0	0	0	0
Razem	2	46	13	61

Źródło: Opracowanie własne

⁹ Nowa edycja, sierpień 2015 r., Jaspers.

3.2.3. Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych

Wielkość emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji wynika m.in. ze zużycia paliwa przez pojazdy, ich norm spalania, jak również przejechanego dystansu. W celu oszacowania emisji gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym przyjęto średnie zużycie oleju napędowego dla każdej grupy, która składa się z autobusów o jednakowej marce, klasie oraz normie spalania. Na ich podstawie oszacowano

emisję gazów cieplarnianych (tj. dwutlenku węgla CO₂) i substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO_x i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w kolejnej tabeli.

Tab. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich autobusach eksploatowanych przez operatora

Norma spalania / autobus	NMHC/NMVOC w g	NO _x w g	PM w g	CO ₂ w kg
EURO 5				
Solaris Urbino 8,9	238 296,38	1 036 071,24	10 360,71	134 615 699,54
Solaris Urbino 12	3 915 464,47	17 023 758,56	170 237,59	2 211 879 925,95
Solaris Urbino 18	722 310,90	3 140 482,18	31 404,82	408 039 708,70
EEV				
Solaris Urbino 12	2 528 904,97	10 995 239,01	109 952,39	1 428 600 409,08
Solaris Urbino 18	455 404,24	1 980 018,44	19 800,18	257 261 815,57
EEV CNG				
Mercedes-Benz O530G CNG II	843 916,92	3 068 788,80	-	330 585 552,46
roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich autobusów w komunikacji miejskiej:	8 704 297,89	37 244 358,22	341 755,69	4 770 983 111,30

Źródło: Opracowanie własne, stan na dzień 5.05.2024 r.

3.3. Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

System komunikacji miejskiej w Wałbrzychu został scharakteryzowany poprzez parametry eksploatacyjne sieci i linii komunikacyjnych. Przeanalizowano go pod względem liczby wozokilometrów liniowych według typu dnia i wskaźników wykorzystania taboru. Wszystkie linie komunikacyjne wykonują pracę eksploatacyjną łącznie z przejazdami technicznymi w podstawowe typy dni na poziomie:

- w dzień roboczy – 14 953,96 wzkm,
- w soboty – 10 588,28 wzkm,
- w niedziele i święta – 8 280,42 wzkm.

Najwięcej kilometrów we wszystkie dni tygodnia realizowanych jest na linii nr 5 o charakterze średnicowym łączącą południowo-wschodnią

część miasta (Rusinowa) oraz gminy Wałim, Jedlina Zdrój i Głuszyca, środkową część miasta (Nowe Miasto, Śródmieście/ Centrum) z zachodnią dzielnicą Biały Kamień oraz miastem Szczawno-Zdrój. Jest to jedyna linia w wałbrzyskiej sieci komunikacji miejskiej, na której podstawowy odstęp między kursami w dni robocze i soboty to 15 minut.

Kolejną ważną linią jest linia 2, która łączy północną część miasta (Piaskowa Góra, Szpital Wojewódzki), środkową część miasta (Stary Zdrój, Śródmieście/ Centrum) z zachodnią częścią miasta (Sobięcin) i miastem Boguszków-Gorce.

Ważnymi liniami w systemie są też linie A, C oraz EX, które wspólnie zapewniają obsługę

połączeń pomiędzy Podzamczem a Śródmieściem/ Centrum (linia A i C na wspólnym odcinku zapewniają kursy co ok. 10 minut w dni robocze i soboty).

Najmniejszą pracą eksploatacyjną charakteryzują się linie 4 (obsługująca głównie

młodzież szkolną), para linii 9 i 19 (zapewniająca wygodny dojazd do stacji Wałbrzych Szczawienko dla Podzamcza i Piaskowej Góry) oraz para linii 10 i 20 (obsługująca połączenia pomiędzy Konradowem, Białym Kamieniem i Śródmieściem/Centrum).

3.3.1. Wskaźnik wykorzystania taboru

Operator dysponuje 61 autobusami (w tym 20 użyczonymi przez Gminę Wałbrzych), z czego do obsługi linii komunikacji miejskiej eksploatowanych jest:

- w dni robocze – 57 autobusów (93% taboru), w tym:
 - 2 autobusy MIDI (100% MIDI),
 - 45 autobusów MAXI (98% MAXI),
 - 10 autobusów MEGA18 (77% MEGA18),
- w soboty – 44 autobusy (72,1% taboru), w tym:

- 1 autobus MIDI (50% MIDI),
- 37 autobusów MAXI (80% MAXI),
- 6 autobusów MEGA18 (16% MEGA18),

- w niedziele – 34 autobusy (55,7% taboru), w tym:

- 1 autobus MIDI (50% MIDI),
- 33 autobusy MAXI (72% MAXI),

- w święta – 34 autobusy (55,7% taboru), w tym:

- 1 autobus MIDI (50% MIDI),
- 33 autobusy MAXI (72% MAXI).

3.3.2. Analiza rozkładów jazdy

Ze względu na ograniczenia techniczne wynikające z zmniejszonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych (względem napędzanych w sposób konwencjonalny) wykonano analizę rozkładów jazdy mającą na celu wybranie linii lub brygad, które mogłyby

zostać obsłużone przez autobusy zeroemisyjne. Szczegółową analizę rozkładów jazdy dla każdego wariantu dokonano w następnym rozdziale. W zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

Tab. 3.10 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz jego wykorzystania dla dnia roboczego

Stan obecny	MIDI	MAXI	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - autobusów spalinowych i niskoemisyjnych	2	45	10	57
Liczba brygad – autobusów zeroemisyjnych	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	2	45	10	57
Stan taboru - autobusów spalinowych i niskoemisyjnych	2	46	13	61
Stan taboru - autobusów zeroemisyjnych	0	0	0	0
Wskaźnik wykorzystania - autobusów spalinowych i niskoemisyjnych	100%	98%	77%	93%
Wskaźnik wykorzystania autobusów zeroemisyjnych	0%	0%	0%	0%
Udział autobusów zeroemisyjnych	0%	0%	0%	0%

Źródło: Opracowanie własne, stan na 5.05.2024 r.

3.4. Transport drogowy inny niż komunikacja miejska

Przewozy osób na liniach komunikacyjnych na terenie Wałbrzycha oraz na liniach łączących gminy: miasto Boguszów-Gorce, Czarny Bór, Głuszyca, miasto Jedlinę-Zdrój, Mieroszów, Stare Bogaczowice, miasto Szczawno-Zdrój, Świdnica, miasto Świdnicę i Walim, obok operatora, tj. Śląskiego Konsorcjum Autobusowego sp. z o.o. (operatora z którym ZDKiUM zawarł umowę na świadczenie usług przewozowych), wykonują także prywatni, niezależni przewoźnicy na 4 liniach miejskich¹⁰:

- 5 relacji: Rusinowa - Plac Grunwaldzki – Szczawno-Zdrój (ul. Solicka), operator: Adam Jędrzejewski P.W.TRANS – ANTEK,
- 6 relacji: Wałbrzych (Dworzec Główny PKP – Biały Kamień) – Szczawno-Zdrój (ul. Solicka), operator: Stowarzyszenie Prywatnych Przewoźników Komunikacji Miejskiej "KONTRA",
- 7 relacji: Wałbrzych (Plac Grunwaldzki - Piaskowa Góra) – Szczawno-Zdrój (Plac Wolności), operator: Usługi Transportowe Piotr Borek Trasa Wałbrzych – Szczawno-Zdrój.

- C relacji: Podzamcze - Plac Grunwaldzki, operator: Przewozy Pasażerskie Mariusz Tatuśko sp.j.,

oraz w ramach komunikacji miejskiej do centrów handlowych na jednej linii:

- „GV” relacji: Plac Grunwaldzki – Galeria Victoria, operator: Przedsiębiorstwo Wielobranżowe “MAXPOL” Zuzanna Białas.

Zezwolenia na wykonywanie przewozów regularnych i przewozów regularnych specjalnych wydaje¹¹ Prezydent Miasta Wałbrzycha będącego miastem na prawach powiatu, w uzgodnieniu ze Starostą Wałbrzyskim i ze Starostą Świdnickim, ze względu na planowany przebieg linii komunikacyjnej – na wykonywanie przewozów na liniach komunikacyjnych przebiegających na obszarze miasta i sąsiedniego powiatu (tj. powiatu wałbrzyskiego i powiatu świdnickiego).

Poniższa tabela przedstawia zestawienie prywatnych operatorów obsługujących linie międzypowiatowe i pozamiejskie przebiegające przez miasto Wałbrzych i gmin sąsiednich poza systemem transportu publicznego.

Tab. 3.11 Linie autobusowe między powiatowe i pozamiejskie przebiegające przez Wałbrzych.

Trasa linii	Linia	Nazwa przewoźnika
Wałbrzych - Świebodzice	30	DEX - TRANS Sp. z o.o.
Wałbrzych - Świebodzice – Świdnica (kilku przewoźników)	31	P.W.H.D. Dyrda Bartosz Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Anna Sadowska
Wałbrzych - Świebodzice - Świdnica	31 bis	DEX - TRANS Sp. z o.o.
Wałbrzych – Boguszów-Gorce	32	Usługi Transportowe – Małgorzata Rosiak
Wałbrzych – Jedlina Zdrój - Głuszyca		Centrum Nieruchomości i Transportu Beata Żołnieruk
Wałbrzych – Unisław – Kowalowa – Mieroszów		„Wujda” s.c.
Wałbrzych – Szczawno-Zdrój	6	Stowarzyszenie Prywatnych Przewoźników Komunikacji Miejskiej „Kontra”
Wałbrzych – Szczawno-Zdrój	7 bis	Stowarzyszenie Prywatnych Przewoźników Komunikacji Miejskiej „Kontra”
Wałbrzych – Szczawno-Zdrój		Marcel Bus
Wałbrzych – Kamienna Góra		Trans Expres
Praga – Wałbrzych - Olsztyn		FlixBus

Źródło: Opracowanie własne

10 Dane: <https://zdkium.walbrzych.pl/index.php/prywatni-przewoźnicy>, stan na październik 2023 r.

11 Zgodnie z art. 18 ust. 1 pkt 1 lit. d1) ustawy o transporcie drogowym.

3.5. Transport kolejowy

Wałbrzych jest także ważnym węzłem kolejowym Dolnego Śląska, przez który przebiegają następujące linie kolejowe (LK):

- LK266 relacji: Świdnica Kraszowice – Jugowice – Jedlina-Zdrój (linia drugorzędna, jednotorowa, niezeletryfikowana), jest ona przedłużeniem LK285 z Wrocławia,
- LK274 relacji: Wrocław Świebodzki – Wałbrzych -Jelenia Góra - Lubań Śląski - Zgorzelec – granica państwa (linia znaczenia państwowego, pierwszorzędna, dwutorowa, zelektryfikowana),
- LK286 relacji: Kłodzko Główny – Nowa Ruda – Jedlina-Zdrój – Wałbrzych Główny (linia drugorzędna, jednotorowa, niezeletryfikowana),
- LK291 relacji: Wałbrzych Szczawienko – Szczawno-Zdrój – Wałbrzych – Boguszów-Gorce Wschód (linia nieczynna dla ruchu pociągów) i dalej: Boguszów-Gorce Wschód – Mieroszów – granica państwa (linia drugorzędna, jednotorowa, niezeletryfikowana).

LK291 na odcinku Szczawno Zdrój – Sobięcín (od km 3,400 do km 17,140) stanowi obecnie własność Województwa Dolnośląskiego, a Zarządu Województwa Dolnośląskiego w zakresie praw i obowiązków należących do zarządcy infrastruktury kolejowej pełni Dolnośląska Służba Dróg i Kolei we Wrocławiu.

Na obszarze objętej tym AKK przy czterech liniach kolejowych zlokalizowanych jest 8 stacji kolejowych (w tym 4 w Wałbrzychu) oraz 10 przystanków kolejowych (w tym 1 w Wałbrzychu):

- na LK266:
 - przystanek kolejowy Zagórze Śląskie,
 - przystanek kolejowy Jugowice,
 - przystanek kolejowy Jedlina-Zdrój Centrum,

- na LK274:
 - stacja kolejowa Wałbrzych Szczawienko,
 - stacja kolejowa Wałbrzych Miasto,
 - przystanek kolejowy Wałbrzych Centrum,
 - stacja kolejowa Wałbrzych Fabryczny,
 - stacja kolejowa Wałbrzych Główny,
 - przystanek kolejowy Boguszów-Gorce Wschód,
 - stacja kolejowa Boguszów-Gorce,
 - stacja kolejowa Boguszów-Gorce Zachód,
- na LK286:
 - przystanek kolejowy Jedlina Borowa (przystanek na żądanie),
 - przystanek kolejowy Jedlina-Zdrój,
 - stacja kolejowa Głuszycyca,
 - przystanek kolejowy Głuszycyca Górna,
- na LK291:
 - przystanek kolejowy Boguszów-Gorce Dzikowiec (przystanek na żądanie),
 - przystanek kolejowy Unistław Śląski (przystanek na żądanie),
 - stacja kolejowa Mieroszów.

Wałbrzych oraz gminy na obszarze AKK przez które przebiegają linie kolejowe z czynnym ruchem pasażerskim, posiadają dostęp do pasażerskich połączeń kolejowych obsługiwanych przez:

- PKP InterCity S.A. (IC, TLK) na połączeniach:
 - Warszawa – Katowice – Opole – Wrocław – Wałbrzych – Jelenia Góra,
 - Warszawa – Częstochowa – Opole – Wrocław – Wałbrzych – Jelenia Góra – Szklarska Poręba,
 - Warszawa – Piotrków Trybunalski – Częstochowa – Opole – Wrocław – Wałbrzych – Jelenia Góra,

- Gdynia – Sopot – Gdańsk – Bydgoszcz – Poznań – Wrocław – Wałbrzych – Jelenia Góra,
- Kraków – Katowice – Kędzierzyn-Koźle – Nysa – Świdnica – Wałbrzych – Jelenia Góra,
- Wrocław – Jaworzyna Śląska – Wałbrzych – Jelenia Góra,
- Polregio S.A. (regionalne przyspieszone REGIO) na połączeniu:
 - Poznań - Wrocław – Jaworzyna Śląska – Wałbrzych – Boguszów-Gorce – Jelenia Góra – Szklarska Poręba Górna,
- Koleje Dolnośląskie S.A. (regionalne) na połączeniach:
 - linia D6: Wrocław – Jaworzyna Śląska – Świdnica – Wałbrzych – Boguszów-Gorce – Jelenia Góra,
 - linia D60: Wrocław – Jaworzyna Śląska – Świdnica – Wałbrzych – Boguszów-Gorce – Jelenia Góra – Szklarska Poręba Górna (z przedłużeniem D61: Szklarska Poręba Górna – Jakuszyce – Hararachov – Liberec),
 - linia D64: Głuszycy – Jedlina -Zdrój – Świdnica – Jaworzyna Śląska – Wrocław,
 - linia D67: Wrocław – Jaworzyna Śląska – Świdnica – Wałbrzych – Boguszów-Gorce – Mieroszów – Meziměstí – Adršpach (linia sezonowa),
 - linia D96: Wałbrzych – Jedlina-Zdrój – Głuszycy – Nowa Ruda – Kłodzko – Polanica-Zdrój – Kudowa-Zdrój.

Tab. 3.12 Liczba par połączeń kolejowych kursujących na obszarze dokumentu

Odcinek	Liczba kursów pociągów (tam+powrót) w:			Operator lub przewoźnik
	dzień roboczy	soboty	niedziele	
Jaworzyna Śląska - Wałbrzych Miasto	19+19**	18+18	18+18	Koleje Dolnośląskie
	5+5	5+5	5+5	PKP InterCity
	1+1	1+1	1+1	POLREGIO
razem kursów:	25+25	24+24	24+24	
Wałbrzych Miasto - Wałbrzych Główny	21+21*	20+20*	20+20*	Koleje Dolnośląskie
	5+5	5+5	5+5	PKP InterCity
	1+1	1+1	1+1	POLREGIO
razem kursów:	27+27	26+26	26+26	
Wałbrzych Główny - Jelenia Góra	12+13**	12+12	12+13	Koleje Dolnośląskie
	6+6	6+6	6+6	PKP InterCity
	1+1	1+1	1+1	POLREGIO
razem kursów:	19+20	19+19	19+20	
kursy sezonowe Wrocław Główny - Wałbrzych Główny – Mieroszów w dni wolne w okresie kwiecień - wrzesień	nie kursuje	2+2	2+2	Koleje Dolnośląskie
Wałbrzych Główny - Jedlina-Zdrój	6+6*	6+6*	6+6*	Koleje Dolnośląskie
	1+1	1+1	1+1	PKP InterCity
	razem kursów:	7+7	7+7	
Świdnica Miasto - Jedlina-Zdrój	6+6	6+6	6+6	Koleje Dolnośląskie
Jedlina-Zdrój - Głuszycy	12+12	12+12	12+12	Koleje Dolnośląskie
	1+1	1+1	1+1	PKP InterCity
razem kursów:	13+13	13+13	13+13	
Głuszycy - Kłodzko Główne	6+6	6+6	6+6	Koleje Dolnośląskie
	1+1	1+1	1+1	PKP InterCity
razem kursów:	7+7	7+7	7+7	

* 1 para kursów obsługiwana na stałe Zastępczą Komunikacją Autobusową

** w piątki dodatkowy pociąg (wydłużone relacje z Jaworzyny Śląskiej do Wałbrzycha, Wałbrzycha do Jeleniej Góry)

Źródło: Opracowanie własne (stan na lipiec 2024 r.)

4. Plan rozwoju i wymiany taboru

W ostatnich latach do obsługi linii komunikacji miejskiej w Wałbrzychu w latach 2012-2014 zakupiono łącznie 50 fabrycznie nowych autobusów (3 MIDI, 39 MAXI i 8 MEGA18), w tym:

- w 2012 r. wprowadzono do ruchu 20 nowych autobusów z normą emisji spalin EEV (17 MAXI i 3 MEGA18),
- w 2013 r. wprowadzono do ruchu 27 nowych autobusów z normą emisji spalin EURO 5 (3 MIDI, 19 MAXI i 5 MEGA18),

- w 2014 r. wprowadzono do ruchu 3 nowe autobusy z normą emisji spalin EURO 5 (3 MAXI).

W roku 2015, 2020, 2023 i 2023 wprowadzono do ruchu łącznie 12 autobusów używanych, w tym:

- 7 autobusów MAXI z normą emisji spalin EURO 5,
- 5 autobusów MEGA18 CNG z normą emisji spalin EEV.

Tab. 4.1 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach według obecnego stanu taboru

Rok zakupu	Rok produkcji	Autobus fabrycznie nowy	Autobus	Typ autobusu	Liczba autobusów	Norma spalania
2012	2012	tak	Solaris Urbino 12	MAXI	17	EEV
2012	2012	tak	Solaris Urbino 18	MEGA18	3	EEV
2013	2013	tak	Solaris Urbino 8,9	MIDI	3	EURO 5
2013	2013	tak	Solaris Urbino 12	MAXI	19	EURO 5
2013	2013	tak	Solaris Urbino 18	MEGA18	5	EURO 5
2014	2014	tak	Solaris Urbino 12	MAXI	3	EURO 5
2015	2012	nie	Solaris Urbino 12	MAXI	1	EURO 5
2020	2008	nie	Solaris Urbino 12	MAXI	1	EURO 5
2022	2009	nie	Mercedes-Benz O530G CNG II	MEGA18	4	EEV (CNG)
2022	2010	nie	Solaris Urbino 12	MAXI	2	EURO 5
2022	2013	nie	Solaris Urbino 12	MAXI	3	EURO 5
2023	2009	nie	Mercedes-Benz O530G CNG II	MEGA18	1	EEV (CNG)

Źródło: Opracowanie własne, stan na dzień 5.05.2024 r.

4.1. Analiza strategiczna eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W ramach analizy strategicznej eksploatacji autobusów zeroemisyjnych przedstawiono 7 wariantów inwestycyjnych:

- autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi,
- autobusy elektryczne akumulatorowe w modelu opartym o ładowanie wyłącznie metodą plug-in,
- autobusy elektryczne w modelu opartym o ładowanie metodą plug-in oraz pantografem,
- trolejbusy,
- autobusy napędzane CNG,
- autobusy napędzane LNG,
- autobusy spalinowe o napędzie konwencjonalnym.

Każdy typ autobusu został scharakteryzowany pod względem podstawowych parametrów technicznych, analizy ostatnich postępowań na kupno takich pojazdów. Następnie oceniono możliwość wprowadzenia danego wariantu w analizowanej sieci komunikacyjnej w Wałbrzychu oraz potencjalne koszty wprowadzenia. Następnie przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania dwóch wariantów do dalszych analiz kosztów i korzyści wynikających z ich wdrożenia. Obecnie w trakcie realizacji jest dostawa 20 pojazdów wodorowych.

Dodatkowe wymogi ustawy dotyczące autobusów zeroemisyjnych, są przekładem z *Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady UE (UE) 2019/1161 z dnia 20 czerwca 2019 r. zmieniającej dyrektywę 2009/33/WE w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego.*

W ramach obowiązku zapewnienia minimalnych udziałów autobusów zero- i niskoemisyjnych w całkowitej liczbie autobusów objętych zamówieniami, wskazany został m.in. udział autobusów kategorii M3

w całkowitej liczbie autobusów objętych zamówieniami (z zastrzeżeniem że co najmniej połowa tego udziału musi być osiągnięta przez autobusy zeroemisyjne), który ma wynosić (przy założeniu 61 szt. autobusów jak obecnie), co najmniej:

- 32 % do dnia 31 grudnia 2025 r., co wymagać będzie 20. autobusów zeroemisyjnych,
- 46 % od dnia 1 stycznia 2026 r. do dnia 31 grudnia 2030 r., co wymagać będzie 28 autobusów zeroemisyjnych.



Rys. 4.1 Autobus MAXI z wodorowymi ogniwami paliwowymi

Źródło: Zbiory własne

Mając na uwadze realizowaną obecnie dostawę 14 autobusów wodorowych w roku 2024 i kolejnych 6 w roku 2025, do końca 2025 roku w wałbrzyskiej komunikacji miejskiej będzie 32,8% autobusów zeroemisyjnych.

Natomiast uwzględniając zakup kolejnych 14 autobusów wodorowych w ramach opcji obecnie realizowanej dostawy 20 szt., do 2030 roku na stanie będzie wówczas 55,7% autobusów zeroemisyjnych.

Dodatkowo obecne przepisy ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, nakładają docelowy obowiązek posiadania autobusów zeroemisyjnych we własnej flocie operatora, co wymagałoby w wyznaczonych na okres 2024-2028 przez ustawę okresach co najmniej:

- 20 % autobusów zeroemisyjnych od dnia 1 stycznia 2025 r. – 12. autobusów zeroemisyjnych,
- 30 % autobusów zeroemisyjnych od 1 stycznia 2028 r. – 18. autobusów zeroemisyjnych.



Rys. 4.2 *Autobus MAXI z wodorowymi ogniwami paliwowymi w Seulu, Korea Południowa*
Źródło: Zbiory własne

Ze względu na zakup przez Gminę Wałbrzych (w ramach projektu *Wałbrzyski Autobus Wodorowy*, z dofinansowaniem z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej) 20 szt. autobusów zeroemisyjnych MAXI zasilanych wodorem, z prawem opcji na kolejne 25 szt. (łącznie do 45 szt.), wszystkie poniższe warianty inwestycyjne uwzględniają te autobusy jako stan bazowy.

Analizą objętych jest także 14 szt. autobusów wynikających z możliwości skorzystania z prawa opcji do realizowanej umowy, czyli łącznie 34 autobusy zeroemisyjne o napędzie wodorowym.

Ważnym aspektem eksploatacyjnym dla każdego z alternatywnych źródeł energii jest konieczność modyfikacji autobusu polegająca na umieszczeniu części wyposażenia na jego dachu, co powoduje

4.1.1. Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

Wśród pojazdów zeroemisyjnych coraz większą popularność zyskują autobusy o napędzie elektrycznym opartym o ogniwa paliwowe (popularnie nazywane wodorowymi). Do końca pierwszego kwartału

istotne zwiększenie jego wysokości. W sieci wałbrzyskiej komunikacji miejskiej występują trasy o ograniczonym prześwicie (skrajnie pionowej) obiektów inżynierskich nad jezdnią, tym samym nie jest możliwe bezpieczne obsługiwane nimi następujących tras:

- linia 2, kursy przez Kuźnice, Boguszów-Gorce;
 - wiadukt (pojazdy do wysokości 3,0 m) w Boguszowie-Gorcach nad ul. S. Żeromskiego i ul. W. Reymonta, w ciągu LK291 i LK773,
- linia 8, kursy w kierunku Strugi, Szczawno-Zdrój;
 - wiadukt łukowy (pojazdy do wysokości 3,1 m) w Szczawnie-Zdroju nad ul. Ułanów Nadwiślańskich w ciągu LK291,
- linia 15, wszystkie kursy:
 - dwa wiadukty łukowe (pojazdy do wysokości 2,9 m) w Wałbrzychu nad ul. S. Moniuszki w ciągu LK274,
 - przez ul. Prostopadłą w Wałbrzychu pomiędzy ulicami Wrocławską i M. Jachimowicza – wiadukt (pojazdy do wysokości 3,1 m) w ciągu LK274,
 - przez ul. Dworcową w Boguszowie-Gorcach – wiadukt łukowy (pojazdy do wysokości 2,8 m) w ciągu LK274,
 - przez ul. H. Sienkiewicza i ul. J. Poniatowskiego w Boguszowie-Gorcach – wiadukt (pojazdy do wysokości 2,8 m) w ciągu LK274,
 - przez ul. Zachodnią w Boguszowie-Gorcach – wiadukt łukowy (pojazdy do wysokości 3,0 m) w ciągu LK274.

2018 r. w Europie pojawiło się ponad 70 takich pojazdów, którymi przejechano ponad 10 mln km. Rozwiązanie to jest atrakcyjne nie tylko ze względu na korzyści związane z ochroną środowiska (w wyniku utleniania wodoru

powstaje tylko para wodna), ale także na brak konieczności inwestowania w dodatkową infrastrukturę do doładowywania autobusu w trakcie wykonywania zadania.

Największym wyzwaniem infrastrukturalnym i technologicznym jest organizacja tankowania. Dzięki zwiększaniu zainteresowania tym rodzajem paliwa, pojawiło się więcej firm dostarczających ten surowiec co pozwoliło na możliwość ograniczenia infrastruktura tankowania w przypadku mniejszych systemów wyłącznie do mobilnej stacji tankowania zaopatrywanej przez butlówóz. Dla większych systemów zalecana jest budowa scentralizowanej stacji tankowania wodoru (HRS), która umiejscowiona może być np. na terenie zajezdni autobusowej.

Pod względem prawnym, w związku z względnie małą liczbą systemów, ale cały czas rozwijaną, normy prawne nie są jeszcze tak dopracowane jak w przypadku innych paliw. W 2020 roku powołano europejskie konsorcjum („StasHH”), w ramach którego firmy i instytucje działające w branży wspólnie opracują europejską normę dotyczącą

specyfikacji ogniwi paliwowych do pojazdów użytkowych.

Obecnie autobusy napędzane wodorem są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak Londyn, Pau, Hamburg, Oslo, Mediolan, Kolonia czy Wuppertal. Są to niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk, poza rekordowym przewoźnikiem z Kolonii¹² posiadającym ponad 60 autobusów wodorowych we flocie oraz obsługującym także obszary podmiejskie. Mimo wszystko ich liczba wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie dzięki programowi współfinansowanemu przez Unię Europejską o nazwie JIVE & JIVE 2 (do końca 2021 roku zakontraktowano ponad 200 nowych pojazdów napędzanych). Co ważne liczba ta cały czas ulega zwiększaniu, a wiodącym producentem na rynku europejskim jest firma mająca siedzibę w Polsce, która według danych na styczeń 2024 sama dostarczyła już ponad 180 pojazdów do 24 systemów. W odniesieniu do Polski pierwszym systemem z autobusem wodorowym został Konin, a obecnie w Polsce eksploatowane są 54 autobusy wodorowe obsługujące systemy m.in. w Poznaniu, Rybniku.

Tab. 4.2 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym.

Miasto	Liczba autobusów	Producent autobusów	Typ autobusu
Aberdeen	10	Van Hool	13-metrowy
Londyn	8	Wright	12-metrowy
Ryga	10 (20)	Solaris	Przegubowy, 18,75m, trolejbus z ogniwami wodorowymi
Hamburg	6	4x Mercedes (EvoBus) i 2x Solaris	4x 12m i 2x 18,75m
Aargau	5	Mercedes (EvoBus)	12-metrowy
Oslo	5	Van Hool	12-metrowy
Pau	8	Van Hool (ExquiCity FC)	18-metrowy
Wuppertal	10	Van Hool	12-metrowy

Źródło: Opracowanie własne

¹² Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) jest pionierem zastosowań autobusów wodorowych – pierwsze wdrożenie w 2011 r.

4.1.2. Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy napędzane energią pochodzącą z czystego wodoru różnią się od klasycznych autobusów elektrycznych tym, że głównym źródłem prądu elektrycznego są ogniwa wodorowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję wspomagającą (są doładowywane w trakcie jazdy). Rozwiązanie to jest korzystniejsze ze względu na krótki czas tankowania i wysoką operacyjność autobusu wyposażonego w ogniwa paliwowe. Zbiorniki na wodór umieszczane na dachu autobusu mają sumaryczną pojemność 35-40 kg, co wystarcza na przejechanie ok. 350-450 km, bez konieczności uzupełniania na trasie (jak to ma miejsce w przypadku obecnie eksploatowanych pojazdów elektrycznych akumulatorowych). Tankowanie zajmuje około 10 minut, a wodór przechowywany jest w pojemnikach pod ciśnieniem ok. 35 MPa. Dodatkowo cały czas prowadzone są badania

nad możliwościami zwiększenia gęstości zmagazynowanej energii, ostatnio w ramach wykorzystania wodoru magnezu – dzięki, któremu możliwe jest zmniejszenie wymiarów zbiornika i wymagań infrastruktury ładowania ze względu na zmniejszenie ciśnienia do ok. 0,6 MPa umożliwiając tankowanie zmodyfikowanym pistoletem ON/Pb)¹³.

Eksploatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością produkcji i dostarczenia tego paliwa (należy zaznaczyć, że obecnie w Polsce występuje kilka stacji tankowania wodorem, głównie w ramach zaplecza istniejących sieci autobusowych).

W poniższej tabeli przedstawiono poszczególne parametry autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi.

Tab. 4.3. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym

Model	Długość [m]	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg w km (1 ładowanie)	Inne
Ursus Demo Hydrogen ^A	12	2017	70 kWh	226 kW (silnik w piastach kół) 120 kW (silnik na osiach)	450 km	20 tys. h pracy, 700 tys. km przebiegu, ok. 80 pasażerów
Solaris Urbino 12 Hydrogen	12	2019	29,2 kWh	2 x 60 kW	ponad 350 km	ok. 80 pasażerów
Van Hool A330FC	13,1	2019	90 kWh (120 kWh)	2x85 kW	300 km	67 pasażerów
Mercedes Citaro FuelCELL-Hybrid	12	2009	26,9 kWh	120-160 kW	200-250 km	76 pasażerów
Caetano H2 City Gold	10,7	2020	60 kWh	180 kW	400 km	64 pasażerów
Caetano H2 City Gold	11,9	2020	60 kWh	180 kW	400 km	87 pasażerów

A - elektryczny na wodorowe ogniwa paliwowe

Źródło: Opracowanie własne

13 <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformativen/2021/februar-2021/wasserstoffantriebe-fuer-e-scooter-und-co.html>, dostęp: 05.07.2021

4.1.3. Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów napędzanych wodorem, generują koszty zarówno zakupu nie tylko samego taboru, ale także infrastruktury niezbędnej do tankowania autobusów. Koszty zakupu w materiałach i w podręczniku promującym zastosowanie ogniw wodorowych w transporcie publicznym, autobusu typu MAXI szacuje się na poziomie 650 tys. euro, zaś autobusu typu MEGA18 na poziomie 1 miliona euro¹⁴.

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów napędzanych wodorem o długości 13 m, cena może być niższa. Kontrakt wart był 13 mln euro, co oznacza, że jeden autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. Rynek autobusów napędzanych wodorem jest młody i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹⁵.

Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie dla MAXI – 3,25 mln zł netto, dla MEGA18 – 3,86 mln zł netto.



Rys. 4.3 Autobus z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI w Koninie

Źródło: Zbiory własne

Tab. 4.4 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam ¹⁶	2	Van Hool 13 m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia* (2018)	30	Van Hool 13 m	13,0mln €	430 tys. €
Kolonia* (2020)	15	Solaris Urbino 12 Hydrogen	brak danych	<625 tys. € (warunek przetargu, Van Hool zaproponował 650 tys. €)
Aberdeen ¹⁷	10	Van Hool 13 m	brak danych	~500 tys. £≈560 tys. €
Wuppertal	10	Van Hool	12,0 mln €	650 tys. €

Zamówienia dla Kolonii były częścią wspólnego zamówienia Kolonii i Wuppertalu, w 2018 30+10, w 2020 15+10

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykułów branżowych

14 JIVE and MEHRLIN Performance Assessment Handbook, Stefan Eckert, Michael Faltenbacher, Klaus Stolzenburg, Martin Gallmetzer

15 https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null_Emissio/2018_Datenblatt_Van_Hool.pdf, dostęp: 08.07.2021

16 <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp: 08.07.2021

17 <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses>, dostęp: 08.03.2021

Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów wodorowych polskich miast

Miasto	Producent	Model	Typ i długość	Liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Uwagi
Gdańsk	PAK-PCE Polski Autobus Wodorowy	NesoBus	MAXI, 12 m	10	17,16	cena za szt. za najem na 10 lat
Konin	Solaris Bus & Coach	Solaris Urbino 12 Hydrogen	MAXI, 12 m	1	2,916	dzierżawa na 4 lata, od 2021 r.
Konin	PAK-PCE Polski Autobus Wodorowy	NesoBus	MAXI, 12 m	1	3,6	
Konin			MAXI, 12 m	4		w trakcie przetargu
Konin			MEGA18	6		w trakcie przetargu
Lublin	Solaris Bus & Coach	Solaris Urbino 12 Hydrogen	MAXI, 12 m	1	3,7	
Poznań	Solaris Bus & Coach	Solaris Urbino 12 Hydrogen	MAXI, 12 m	25	3,604	
Rybnik	PAK-PCE Polski Autobus Wodorowy	NesoBus	MAXI, 12 m	20	3,307	
Rybnik			MAXI, 12 m	11	łącznie 48,0	w trakcie przetargu
Rybnik			MEGA18	3		w trakcie przetargu
Świdnik	Arthur Bus	Arthur Bus H2 Zero	MAXI, 12 m	3	3,285	
Wałbrzych	Solaris Bus & Coach	Solaris Urbino 12 Hydrogen	MAXI, 12 m	25	3,99	

Źródło: Opracowanie własne

4.1.4. Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów

Istnieją dwa sposoby zapewnienia dostaw wodoru do tankowania pojazdów – dostawa lub produkcja na miejscu. Podstawowymi elementami stacji tankowania są:

- magazyn wodoru (zbiornik nisko- i wysokociśnieniowy),
- sprężarka membranowa bezolejowa,
- wymiennik ciepła (chłodnica),
- dystrybutor dla autobusów (350 bar),
- dystrybutor dla samochodów osobowych (700 bar),
- układ sterowania stacją.

Koszt budowy stacji zależy od jej wielkości, sposobu dostarczania wodoru na stacji

(produkcja na miejscu, dostawa w formie płynnej lub gazowej)¹⁸ i wymagań, jakie stawiają założenia odnośnie do taboru i jej użytkowników. Według danych opublikowanych przez stowarzyszenie UKH2Mobility, na budowę sieci stacji tankowania wodoru w największych miastach do 2030 roku, potrzeba 418 mln funtów. Kwota ta ma pokryć koszty budowy blisko 1200 stacji, co oznacza, że średnio jedna stacja będzie kosztować 350 tys. funtów, czyli około 400 tys. euro. W artykułach traktujących o stacjach tankowania wodoru do aut osobowych, padają kwoty między 0,6 mln a 2,0 mln \$ oraz między 1,0 a 2,24 mln €^{19,20}.

¹⁸ <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing>, dostęp: 09.03.2021

¹⁹ Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, Forschungszentrum Jülich GmbH, 2018.

²⁰ <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp: 09.03.2021

Na potrzeby analizy założono, że wykorzystanie zostanie dokładnie taki sam system co w przypadku realizowanej inwestycji. Tym

samym nie wystąpi konieczność modyfikacji infrastruktury.

4.1.5. Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem

Do obsługi komunikacji miejskiej we Wałbrzychu przeznaczonych jest obecnie 61 autobusów. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej, potrzebne jest wykorzystywanie co najmniej 18 autobusów zeroemisyjnych. W kontekście obecnie realizowanej dostawy 20 autobusów wodorowych, niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych 14 autobusów z wodorowymi ogniwami

paliwowymi z wycofaniem najstarszych autobusów beneficjenta (Gminy Wałbrzych) oraz zastosowany zostanie system wynikający z realizowanej inwestycji. Wymianę autobusów spalinowych na autobusy napędzane wodorem założono w stosunku 1 do 1. Jednostkowa cena autobusów została ustalona na podstawie obecnych cen rynkowych.

Tab. 4.6 Liczba brygad w modelu opartym o pojazdy elektryczne wodorowe (dla 2028 r.)

Model oparty o autobusy elektryczne wodorowe	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - autobusy spalinowe	0	2	11	0	10	23
Liczba brygad - autobusy elektryczne wodorowe	0	0	34	0	0	34
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	0	2	45	0	10	57

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.7 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych wodorowych

Model oparty o autobusy elektryczne wodorowe	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - autobusy spalinowe	0	2	12	0	13	27
Stan taboru - autobusy elektryczne wodorowe	0	0	34	0	0	34
Stan taboru	0	2	46	0	13	61
Wskaźnik wykorzystania autobusów spalinowych		100%	92%		77%	85%
Wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych wodorowych			100%			100%
Udział pojazdów zeroemisyjnych		0%	74%		0%	56%

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.8 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	45,50 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	0,00 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	45,50 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

4.2. Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

4.2.1. Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

W ostatnich latach dynamicznie wzrasta liczba autobusów zeroemisyjnych – elektrycznych akumulatorowych. Według stanu na marzec 2024 r. w Polsce zarejestrowanych było 1 314 autobusów zeroemisyjnych²¹ (w tym 1 260 elektrycznych akumulatorowych oraz 54 wodorowych). Liczba autobusów elektrycznych w kwietniu 2024 r. w porównaniu:

- z rokiem 2023 (1 179 autobusów) była większa o 81 autobusów (o blisko 7%),
- z rokiem 2022 (821 autobusów) była większa o 439 autobusów (o prawie 54%),
- z rokiem 2021 (651 autobusów) była większa o 699 autobusów (o prawie 72%).

W latach 2021-2023 większość z nich wprowadzono do eksploatacji w 2023 r., kiedy zarejestrowano 358 autobusów elektrycznych sztuk.

Autobusy elektryczne w Polsce produkuje wielu producentów - ARP E-Vehicles Sp. z o.o., Huta Stalowa Wola S.A. (właściciel marki Autosan), MAN Truck & Bus oraz Solaris Bus & Coach S.A. Mają one masę większą średnio o około 750 kg w porównaniu do autobusów spalinowych²², ze względu na konieczność montażu akumulatorów. Wyróżniają się także lepszymi charakterystykami dynamicznymi – stosowane w autobusach elektrycznych silniki asynchroniczne, w przeciwieństwie do silników spalinowych, osiągają maksymalny moment

obrotowy już przy rozruchu. Do ich zasilania używa się przeważnie akumulatorów litowo-jonowych m.in.:

- litowo-niklowo-manganowo-kobaltowych – NMC, które charakteryzują się niskimi kosztami, niską masą, ale również niską żywotnością i małym zakresem temperatur pracy (>-10°C),
- litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C,
- litowo-tytanowych LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²³.

Najważniejszymi czynnikami charakteryzującymi eksploatację autobusów elektrycznych akumulatorowych jest ich zasięg oraz metoda ładowania. Ze względu np. na zużycie energii przez klimatyzację lub niską temperaturę (która ma wpływ na zmniejszenie pojemności akumulatorów), zasięg eksploatacyjny zmniejsza się względem maksymalnego. Długość trasy jaką bez ładowania może pokonać pojazd zależy od liczby zastosowanych akumulatorów, co przekłada się na masę pojazdu. Zwiększona masa pojazdu wiąże się ze zmniejszoną pojemnością pojazdu. Dlatego też nie zaleca się stosowania bardzo pojemnych akumulatorów.

21 <https://www.pzpm.org.pl/pl/Rynek-motoryzacyjny/Licznik-elektromobilnosci/Kwiecien-2024>

22 Koncepcja wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych w lubelskiej komunikacji miejskiej, Poznań 2014.

23 Przegląd aktualnych doświadczeń w eksploatacji autobusów elektrycznych, MZA Sp. z o.o., Kraków 2017.

Należy zwrócić uwagę, że im większa masa akumulatora oraz masa własna pojazdu, tym większe średnie zużycie energii na kilometr.



Rys. 4.4 Autobus MIDI elektryczny akumulatorowy w Hawie

Źródło: Zbiory własne

Ze względu na zakup przez Gminę Wałbrzych Założono, że dla autobusu MAXI (12 metrowego) zużycie energii kształtuje się na poziomie 1,25 kWh/km, natomiast dla autobusu MEGA18 (18 metrowego) – 2,00 kWh/km.



Rys. 4.5 Autobus MEGA18 elektryczny akumulatorowy MAXI w Bern, Szwajcaria

Źródło: Zbiory własne

Autobusy elektryczne akumulatorowe można ładować na kilka dostępnych sposobów. Najpowszechniejszymi w Polsce są ładowarki typu plug-in, które służą do ładowania podczas dłuższych postojów autobusów, np. na zajezdni. Wówczas zwykle wykorzystywany jest prąd o niskim natężeniu, co przekłada się na mniejszy spadek żywotności akumulatorów.

Drugim rozwiązaniem, stosowanym często równoległe z ładowarkami plug-in, jest ładowanie za pomocą pantografu. Dzięki zastosowaniu ładowania dużym prądem

(o natężeniu 30-60A) możliwe jest doładowywanie akumulatorów na przykład podczas postoju na pętli. Już 10 minutowe doładowanie pozwala wydłużyć zasięg autobusu o kolejne 20 – 40 km. Z tego względu autobusy najczęściej są ładowane niskim prądem metodą plug-in na zajezdni w porze nocnej, natomiast podczas eksploatacji są doładowywane podczas postojów na pętlach. Dzięki takiemu rozwiązaniu autobus może wykonać więcej kilometrów w ruchu liniowym, zanim konieczny będzie zjazd na ładowanie.

Trzecią metodą, pod względem eksploatacji autobusu zbliżoną do ładowania pantografowego, jest ładowanie indukcyjne. Ładowarka indukcyjna o natężeniu 125A potrafi w ciągu 10 min zwiększyć zasięg autobusu o 23 km. Zaletą ładowarek indukcyjnych jest ich nieinwazyjność dla przestrzeni miejskiej, ponieważ wyglądają jak płyta wbudowana w jezdnię. Z tego powodu są one często stosowane na obszarach zabytkowych centrów miast. Do ich wad należy zaliczyć dużą wrażliwość na niskie temperatury, przez co nie jest wskazane ich stosowanie w polskiej strefie klimatycznej. Jest to też zdecydowanie najdroższe rozwiązanie spośród zaprezentowanych metod.



Rys. 4.6 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Gdańsku

Źródło: Zbiory własne

Tab. 4.9 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast

Miasto	Producent	Długość autobusu	Liczba autobusów	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowarki zawarte w cenie
Inowrocław	Volvo	12m	8	2,086	8x plug in
Kraków	Solaris	12m	17	2,050	brak
Kraków	Solaris	18m	3	2,649	brak
Rzeszów	Solaris	12m	10	2,455	10x plug-in i 2x pantografowa
Szczecinek	Ursus	12m	10	2,060	11x plug-in
Poznań	Solaris	18m	15	3,130	brak
Poznań	Solaris	12m	6	2,198	brak
Łomianki	Solaris	12m	2	2,300	2x plug-in
Nowy Sącz	Ursus	12m	2	3,080	1x plug-in i 1x pantografowe
Szczecin	Solaris	18m	8	4,043	brak
Włocławek	Solaris	12m	3	2,285	5x plug-in
Warszawa	Solaris	18m	130	2,166	brak
Radom	Solaris	12m	10	2,599	10x plug-in i 2x pantografowe
Katowice	Solaris	12m	5	2,490	5x plug-in
Tychy	Solaris	12m	2	2,300	1x plug-in i 1x pantografowa
Ostrów Wielkopolski	Solaris	12m	10	2,408	5x plug in
Bełchatów	Solaris	12m	3	2,028	2x plug in
Świdnica	Volvo	12m	2	2,803	1x plug-in i 1x pantografowa
Legnica	Solaris	12m	5	3,747	3x plug-in i 1x pantografowa

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.7 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI podczas szybkiego ładowania, Nicea, Francja

Źródło: Zbiory własne

W Tab. 4.9 przedstawione zostały ceny jednostkowe pojazdów w wybranych przetargach na zakup autobusów elektrycznych akumulatorowych w przeciągu ostatnich lat. Na ich podstawie do dalszych analiz przyjęto następujące kwoty netto, niezbędne do zakupu autobusów

(z możliwością ładowania za pomocą pantografu):

- MINI – 2,0 mln zł,
- MIDI – 2,2 mln zł,
- MAXI – 2,7 mln zł,
- MEGA18 – 3,2 mln zł.



Rys. 4.8 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na ciągu pieszo-jezdnym w Düsseldorf, Niemcy

Źródło: Zbiory własne

4.2.2. Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in

Koszt zakupu ładowarek plug-in jest relatywnie niski – koszt jednego urządzenia to około 225 000 zł netto. W celu efektywnego ładowania pojazdów zwykle wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek (jednej na pojazd dla urządzeń jednostanowiskowych lub jednej na dwa pojazdy – dla urządzeń dwustanowiskowych).

Stosując ładowarki typu plug-in, bez doładowywania autobusów na trasie, istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych potrzebnych do obsłużenia zaplanowanych brygad będzie większa niż analogiczna liczba pojazdów spalinowych (autobusy elektryczne akumulatorowe musiałyby zjeżdżać do zajezdni po wykonaniu około 300 km na kilkugodzinne ładowanie). Alternatywnym rozwiązaniem jest kierowanie takich autobusów do obsługi zadań typu dodatek, zadanie jednozmiannowe

lub zadanie dwuzmiannowe z gwarancją obsługi na 1 ładowaniu.



Rys. 4.9 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MAXI z terenowej ładowarki typu plug-in zlokalizowanej przy dworcu kolejowym w Jeleniej Górze

Źródło: Zbiory własne

4.2.3. Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych i potrzebę ładowania akumulatorów dokonano analizy rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od organizatora. Dodatkowo ważnym aspektem jest profil docelowych tras, powodujący zwiększone zużycie energii elektrycznej

zmniejszając możliwy zasięg na naładowanym akumulatorze. W analizie przyjęto założenie, że autobus elektryczny może przejechać 300 km na jednym pełnym naładowaniu akumulatorów. Wariant zakłada ładowanie pojazdów jedynie na terenie zajezdni do pełnego naładowania akumulatorów.

Tab. 4.10 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.)

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - autobusy spalinowe	0	2	11	0	10	23
Liczba brygad – autobusy elektryczne wodorowe	0	0	20	0	0	20
Liczba brygad - autobusy elektryczne akumulatorowe	0	0	14	0	0	14
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	0	2	45	0	10	57

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy pozwalają na obsługę autobusami elektrycznymi akumulatorowymi ze względu na ograniczony

zasięg elektryfikację 20 dotychczasowych brygad obsługiwanych autobusami klasy MAXI z trwającego zadania w ramach projektu bez konieczności wprowadzania modyfikacji.

Tab. 4.11 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - autobusy spalinalowe	0	2	12	0	13	27
Stan taboru - autobusy elektryczne wodorowe	0	0	20	0	0	20
Stan taboru - autobusy elektryczne akumulatorowe	0	0	14	0	0	14
Stan taboru	0	2	46	0	13	61
Wskaźnik wykorzystania autobusów spalinalowych		100%	92%		77%	85%
Wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych wodorowych			100%			100%
Wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych akumulatorowych			100%			100%
Udział pojazdów zeroemisyjnych		0%	74%		0%	56%

Źródło: Opracowanie własne

4.2.4. Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami typu „plug-in” i za pomocą pantografu

Zastosowanie ładowarek pantografowych na trasie linii obsługiwanych taborem elektrycznym akumulatorowym przyczynia się do znaczącego zwiększenia zasięgu autobusu, przez co ogranicza się ryzyko zjazdu autobusu do zajezdni z powodu rozładowanych akumulatorów przed całkowitą realizacją zadania. Dodatkowym atutem jest możliwość zastosowania mniejszej liczby akumulatorów, co przekłada się na niższą masę pojazdów, większą pojemność autobusu, a także prowadzi do wolniejszej degradacji nawierzchni dróg i przystanków.

Koszt zakupu jednej ładowarki pantografowej szybkiego ładowania to około 1 500 000 zł netto, a w autobusie konieczny będzie montaż dodatkowej instalacji i urządzeń do ładowania. Liczba ładowarek pantografowych i plug-in zależy przede wszystkim od dystansu przejeżdżanego podczas zaplanowanej pracy

jednej brygady, dystansu między pętlami, czasu postoju na pętlach i nachyleń na trasie (większy zasięg będzie możliwy do zrealizowania na płaskim terenie).



Rys. 4.10 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MEGA18 z ładowarki pantografowej we Wrocławiu

Źródło: Zbiory własne

4.2.5. Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi

Analogicznie jak w modelu wyłącznie z ładowarkami plug-in wykonana została pogłębiona analiza rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od operatora komunikacji miejskiej oraz analiza

wielokryterialna linii. Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, zakłada oprócz standardowych ładowarek na terenie zajezdni operatora,

dotąd lokalizacje stacji szybkiego ładowania na obszarze miasta.

W celu wyboru optymalnych linii do wykorzystania autobusów elektrycznych, przeprowadzona została analiza wielokryterialna, uwzględniająca aspekty techniczno – eksploatacyjne (w tym ocenę możliwości obsługi ze względu na ograniczenia infrastrukturalne) oraz społeczne, w ramach których preferowane są linie posiadające następujące cechy:

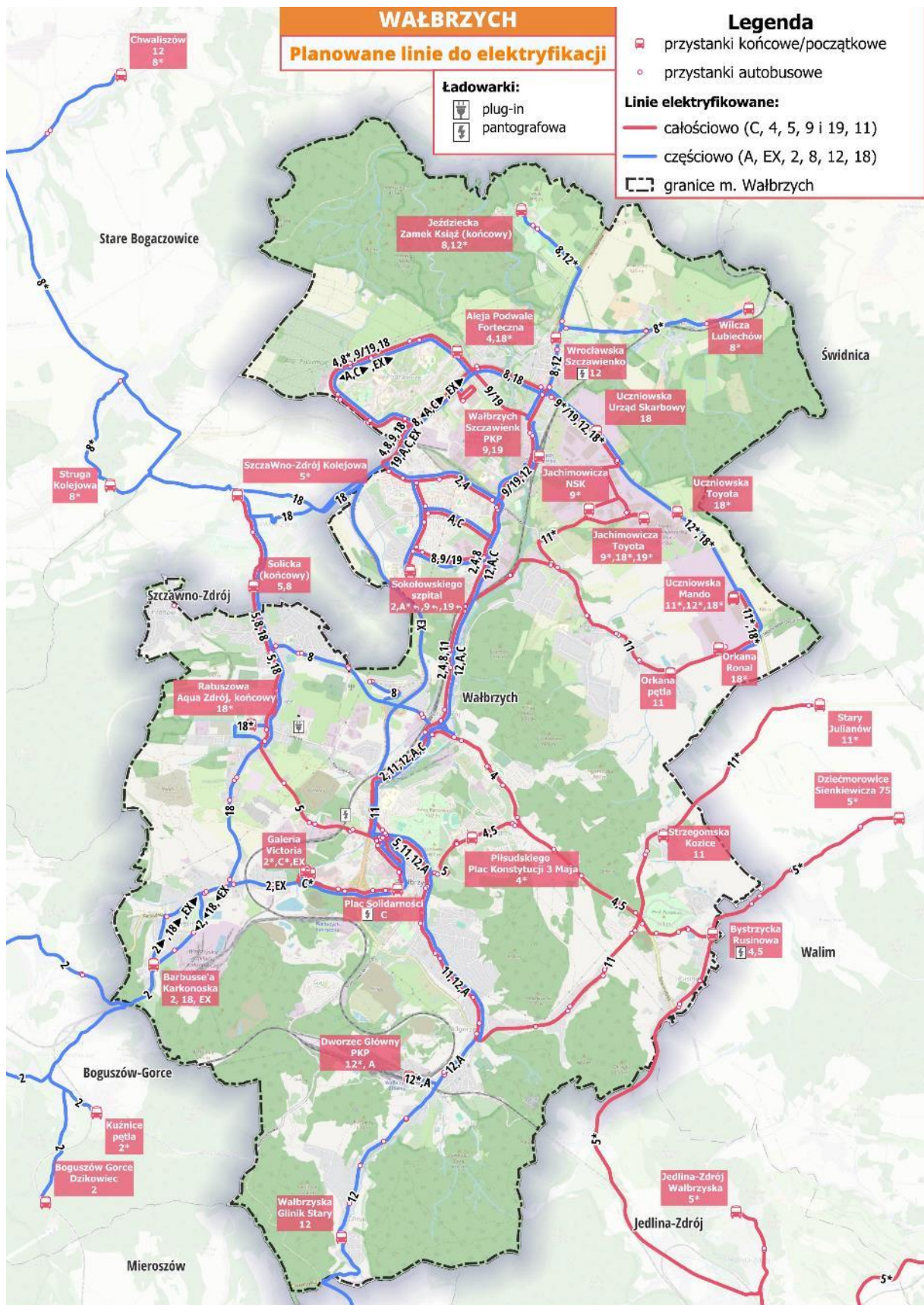
- linie z przeznaczeniem do elektryfikacji zdefiniowano, tak, aby w godzinach szczytów łączna liczba kursujących na nich brygad była zbliżona do wymaganej liczby autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora, przy założeniu, że wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych będzie wynosił w dzień roboczy 100%,
- niskie prędkości komunikacyjne,
- niski udział zadań szczytowych w systemie przerywanego czasu pracy (dodatki),
- regularna częstotliwość kursowania,
- posiadania obu krańców podstawowych na terenie gminy organizatora,
- posiadanie krańców wspólnych z innymi liniami,
- niskie zróżnicowanie typów taboru obsługujących linię,
- przebieg linii przez:
 - zabytkowe centrum miasta,
 - największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,
 - węzły przesiadkowe o charakterze lokalnym lub międzyregionalnym,
- większość trasy znajduje się w granicach administracyjnych miejscowości o statusie miejskim.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do wymiany taboru na autobusy elektryczne wytypowano następujące linie: C, 4, 5, 9, 11 oraz 19, a do częściowej elektryfikacji linie: A, EX, 2, 8, 12 i 18. Dla uzyskania wysokiego wykorzystania autobusów założono też, że w przypadku, zmniejszonego zapotrzebowania taborowego na wymienionych liniach, autobusy zeroemisyjne pojawią się także na zadaniach obsługujących inne linie w charakterze uzupełniającego taboru z napędem konwencjonalnym.

Dla zmaksymalizowania korzyści wynikających z niższych kosztów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych akumulatorowych, założono, że będą one silniej eksploatowane od autobusów spalinowych, pomimo konieczności wydłużenia przerw międzykursowych na doładowanie akumulatorów; przyjęto, że nawet jeśli zwiększy się liczba pojazdów w ruchu (w okresie międzyszczytowym i wieczornym) przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny typu MAXI w ruchu będzie wyższa w porównaniu do obecnego średniego przebiegu autobusu tego typu.

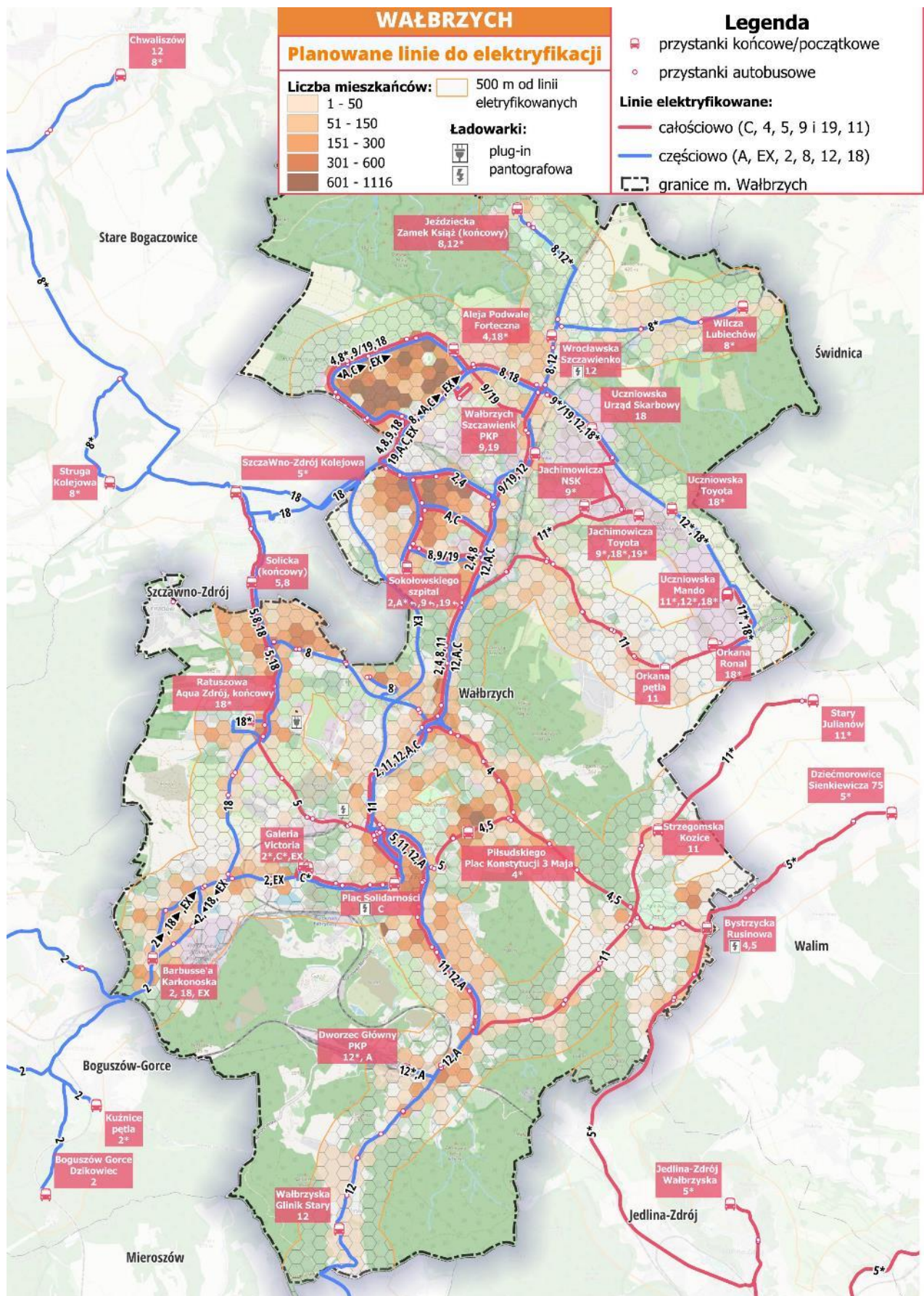
Przewidziano również lokalizację 4 ładowarek szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu na 4 pętlach: Bystrzycka – Rusinowa (linia 5), Plac Solidarności – Muzeum (linia C), Wrocławska – Szczawienko (linia 12) oraz Wałbrzych Centrum (linia 5, obecnie wyłączona z eksploatacji pętla zlokalizowana przy przystanku kolejowym, planowana jako docelowa pętla dla kursów kończących w centrum miasta w zamian za pl. Grunwaldzki).

Źródło: Zbiory własne



Rys. 4.11 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.12 Rozkład liczby mieszkańców w obrębie 500 m od linii objętych planowaną elektryfikacją.

Źródło: Opracowanie własne

Linie C, 5 i 12 obecnie obsługuje 19 brygad w dzień roboczy, w godzinach szczytu przewozowego:

- linia C: 4 brygady MAXI,
- linia 5: 11 brygad MAXI,
- linia 12: 4 brygady MAXI i 1 brygada MEGA18,

W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu utrzymania obecnie stosowanych częstotliwości kursowania do obsługi przewozów nie wystąpi zmiana potrzebnej liczby pojazdów.

Tab. 4.12 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie autobusów metodą plug-in i ładowarkę pantografową

Model oparty o ładowanie autobusów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - autobusy spalinowe	0	2	11	0	10	23
Liczba brygad - autobusy elektryczne wodorowe	0	0	20	0	0	20
Liczba brygad - autobusy elektryczne akumulatorowe	0	0	14	0	0	14
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	0	2	45	0	10	57

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych pojazdów nie wystąpi przyrost wielkości floty operatora. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 61 autobusów,

przy czym 34 autobusy wykorzystają napęd elektryczny (56% floty), w tym 20 pojazdów wodorowych (33% floty) i 14 pojazdów akumulatorowych (23% floty). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych względem ilostanu operatora.

Tab. 4.13 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie autobusów metodą plug-in i za pomocą pantografu

Model oparty o ładowanie autobusów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - autobusy spalinowe	0	2	12	0	13	27
Stan taboru - autobusy elektryczne wodorowe	0	0	20	0	0	20
Stan taboru - autobusy elektryczne akumulatorowe	0	0	14	0	0	14
Stan taboru	0	2	46	0	13	61
Wskaźnik wykorzystania autobusów spalinowych		100%	92%		77%	85%
Wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych wodorowych			100%			100%
Wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych akumulatorowych			100%			100%
Udział autobusów zeroemisyjnych		0%	74%		0%	56%

Źródło: Opracowanie własne

4.3. Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów

4.3.1. Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów

Obecnie w Polsce istnieją trzy systemy trolejbusowe: w Gdyni, Lublinie oraz w Tychach. Trolejbusy w Polsce korzystają z sieci trakcyjnej z prądem stałym o napięciu 600 V.

Do funkcjonowania komunikacji trolejbusowej potrzebne są także podstacje trakcyjne oraz zaplecze techniczne (zajeżdźnia trolejbusowa). Na przykładzie Gdyni, sieć trakcyjna jest zasilana

z podstacji o mocy 1-2 MW, rozmieszczonych od siebie w odległościach 2-4 km. Obecnie najbardziej popularnymi autobusami w polskich systemach trolejbusowych są autobusy produkcji krajowej w wersji MAXI (12 metrowej) i MEGA18. W ostatnim czasie we wszystkich miastach posiadających sieć trolejbusową w Polsce (Gdyni, Lublinie i Tychach) dokonano zakupu nowych trolejbusów z bateriami litowo-tytanowymi o mocy co najmniej 55 kWh, w celu obsługi odcinków bez sieci trakcyjnej. Baterie mają pozwolić na przejechanie odcinka o długości 10-30 kilometrów. Dodatkowo w ramach polskiego prawa, do trolejbusów można także zaliczyć zamawiane w 2020 r. przez Tyskie Linie Trolejbusowe pojazdy akumulatorowe, których podstawową metodą ładowania mają być odbieraki podłączone do trolejbusowej sieci trakcyjnej (automatycznie ładowanie w trakcie postoju, ale także możliwość wymuszenia ładowania w trakcie jazdy).

Kolejną zaletą jest możliwość awaryjnej zmiany trasy, podczas gdy występują utrudnienia na trasie linii trolejbusowej (remonty ulic i infrastruktury, wypadki drogowe, wyznaczone objazdy). Eliminuje to konieczność organizacji

i ponoszenia kosztów na zastępczą komunikację autobusową w przypadku utrudnień.



Rys. 4.13 Trolejbus MAXI w Lyon, Francja

Źródło: Zbiory własne



Rys. 4.14 Trolejbus MEGA25 w Zürich, Szwajcaria

Źródło: Zbiory własne

4.3.2. Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 r. w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup 15 sztuk trolejbusów klasy MEGA18. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²⁴. W 2018 r., także w Lublinie, przeprowadzono postępowanie na zakup taboru – 10 szt. trolejbusów klasy MAXI. Wymogi dotyczące wyposażenia pojazdów były podobne,

jak w postępowaniu przeprowadzonym w 2017 r. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 70 kWh, a koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 2,17 mln zł brutto²⁵. W Gdyni w 2018 r. zakupiono 14 sztuk trolejbusów MAXI z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 typu MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy

24 <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obslugi-linii-komunikacji-miejskiej-15-szt-trolejbusow-przegubowych-mega-numer-sprawy-dz-381-516/> , dostęp: 16.07.2021

25 <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obslugi-linii-komunikacji-miejskiej-10-szt-trolejbusow-maxi-numer-referencyjny-dz-381-ue-118/> . dostęp: 17.07.2021

trolejbus przegubowy klasy MEGA kosztował 3,15 mln zł brutto²⁶. W marcu 2019 rozstrzygnięto zaś przetarg na dostawę 6 pojazdów MAXI o większych bateriach (min. 84 kWh), przy cenie pojedynczego autobusu na poziomie 2,77 mln zł brutto²⁷. Zakupu nowego taboru dokonano także w trzecim systemie trolejbusowym – w Tychach, gdzie rozpisano przetarg na dostawę trzech pojazdów klasy MAXI z bateriami nie mniejszymi niż 55 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,29 mln zł brutto²⁸. Pod koniec 2020 r. także w tym mieście rozpisano przetarg na zakup 6 pojazdów klasy MAXI o akumulatorowych o minimalnej pojemności 80 kWh, których podstawową metodą ładowania mają być

4.3.3. Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową

W latach 2013-2015 w Lublinie wybudowano za 42 mln zł zajezdnię trolejbusową na 100 trolejbusów i 25 pojazdów zaplecza technicznego³⁰. W ostatnim czasie dokonano także rozbudowy sieci trakcyjnej. Budowa 2,5 km nowej trakcji (w jedną stronę), podstacji trolejbusowej, przyłączy zasilających na przystankach kosztowała 5,47 mln zł brutto (1,1 mln zł brutto za km)³¹.

W Tychach 1 km (w jedną stronę) trakcji, budowa jednej stacji transformatorowo – prostownikowej, przebudowa sieci trakcyjnej na jednym skrzyżowaniu z połączeniem projektowanej sieci z istniejącą siecią kosztowała 8,73 mln zł brutto³².

odbieraki i trolejbusowa sieć trakcyjna. 5 marca 2021 rozstrzygnięto przetarg, przeznaczając prawie 18,23 mln zł brutto (3,04 mln zł brutto za autobus)²⁹.



Rys. 4.15 Trolejbus MEGA18 w Ústí nad Labem, Czechy

Źródło: Zbiory własne



Rys. 4.16 Trolejbus typu MAXI w Lublinie

Źródło: Zbiory własne

26 <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html>,
dostęp: 16.07.2021

27 <https://bip.um.gdynia.pl/zamowienia-publiczne,738/postepowanie-na-dostawe-autobusow-elektrycznych-ladowanych-w-ruchu-i-na-postoju,529604>,
dostęp: 15.07.2021

28 <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727>,
dostęp: 16.07.2021

29 <https://platformazakupowa.pl/transakcja/384851>,
dostęp: 21.07.2021

30 http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184,
dostęp: 21.07.2021

31 <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczzone/2016/2016-12-14-robota-budowlana-przetarg-nieograniczony-na-budowe-trakcji-trolejbusowej-w-ul-jana-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-jana-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-jana-pawla-ii-i-ul-2017-01-25-informacja-z-otwarcia-ofert,4,14202,1.html>,
dostęp: 20.07.2021

32 https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa-_more_106289/,
dostęp: 20.07.2021

4.3.4. Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Wałbrzychu

W latach 1944 – 1973 w Wałbrzychu funkcjonowała już trakcja trolejbusowa, w szczytowym momencie sieć składała się z największą liczbą 12 linii obsługiwanych przez 63 trolejbusy. Docelowo udział autobusów zeroemisyjnych przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej w Wałbrzychu powinien wynosić 34 szt. na obecnie 61 eksploatowanych autobusów, w tym maksymalnie 57 autobusów w ruchu w dzień roboczy. Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy zakłada się w stosunku 1 do 1.

Optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby elektryfikację linii A, C i 12, ponieważ tworzą one wiązkę linii na możliwie długim wspólnym odcinku trasy, od Placu Grunwaldzkiego przez ul. Kolejową, ul. Bolesława Chrobrego, ul. Armii Krajowej, ul. Wrocławską do jej skrzyżowania z ul. Główną. Obecnie linie te obsługiwane są przez 15 brygad (10 autobusów MAXI i 5 autobusów MEGA18), w tym:

- linia A:
 - 2 autobusy MAXI,
 - 4 autobusy MEGA18,
- linia C:
 - 4 autobusy MAXI,
- linia 12:
 - 4 autobusy MAXI,
 - 1 autobus MEGA18.

W celu maksymalizacji wykorzystania autobusów elektrycznych założono, że rezerwę będą pełniły wyłącznie pojazdy spalinowe. Ze względu na konieczność wykonywania kursów podmiejskich na linii 12, w jej przypadku przewidziano obsługę hybrydową – 4 trolejbusy

będą wykonywały zadania głównie miejskie (w tym brygada MEGA18), a 1 autobus spalinowy będzie obsługiwał brygadę zawierającą najwięcej kursów wybiegających poza granice miasta. Zatem zakres rzeczowy inwestycji mógłby składać się z zakupu 14 trolejbusów, w tym 9 typu MAXI oraz 5 typu MEGA18.

Co istotne, niniejsze linie są ważne w wałbrzyskiej sieci komunikacji miejskiej, łączą najważniejsze osiedla mieszkaniowe, obiekty handlowe, dworce kolejowe oraz atrakcje turystyczne z centrum. W celu minimalizacji nakładów inwestycyjnych, zaplanowano wykorzystanie pojazdów z akumulatorami ładowanymi zarówno w trakcie postoju na pętli, jak i w trakcie jazdy na odcinkach z siecią trakcyjną, wykorzystywanymi już w regularnej eksploatacji w polskich systemach. Do zasilania sieci trakcyjnej potrzebne będzie zbudowanie 4 podstacji trakcyjnych.

Trasa linii A oraz C będzie pokryta siecią trakcyjną na całym odcinku od granicy pomiędzy miastami Wałbrzych i Szczawno-Zdrój w kierunku ich podstawowych pętli na południu miasta (odpowiednio Gdyńska – Dworzec Główny PKP oraz Plac Solidarności – muzeum) zaś linia 12 wykorzysta sieć trakcyjną od skrzyżowania ulic Niepodległości i Gdyńskiej do swojej pętli podstawowej na północy miasta, tj. Wrocławska – Szczawienko. Przebiegi tras oraz proponowany przebieg trakcji ilustruje Rys. 4.17. Wyjazdy z zajezdni będą odbywać się z wykorzystaniem akumulatorów. Łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Wałbrzychu docelowo może wynieść 14,1 km trakcji dwukierunkowej oraz 1 km trakcji jednokierunkowej.

Tab. 4.14 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych autobusów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1 800 000 zł	9	16 200 000 zł
MEGA18	2 050 000 zł	5	10 250 000 zł
Ogółem		14	26 450 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebnych będzie 9 trolejbusów MAXI oraz 5 trolejbusy MEGA18. Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem komunikacji trolejbusowej są podstacje trakcyjne, które powinny być rozmieszczone co około 4 km

– koszt budowy jednej podstacji szacuje się na poziomie około 2,1 mln zł netto.

Poniżej zestawiono łączne koszty uruchomienia traktacji trolejbusowej w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu.

Tab. 4.15 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	26,45 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	58,40 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	8,40 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	105,45 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.16 Liczba brygad w modelu opartym o trolejbusy

Model oparty o trolejbusy	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - autobusy spalinowe	0	2	16	0	5	23
Liczba brygad - autobusy elektryczne wodorowe	0	0	20	0	0	20
Liczba brygad - trolejbusy	0	0	9	0	5	14
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	0	2	45	0	10	57

Źródło: Opracowanie własne

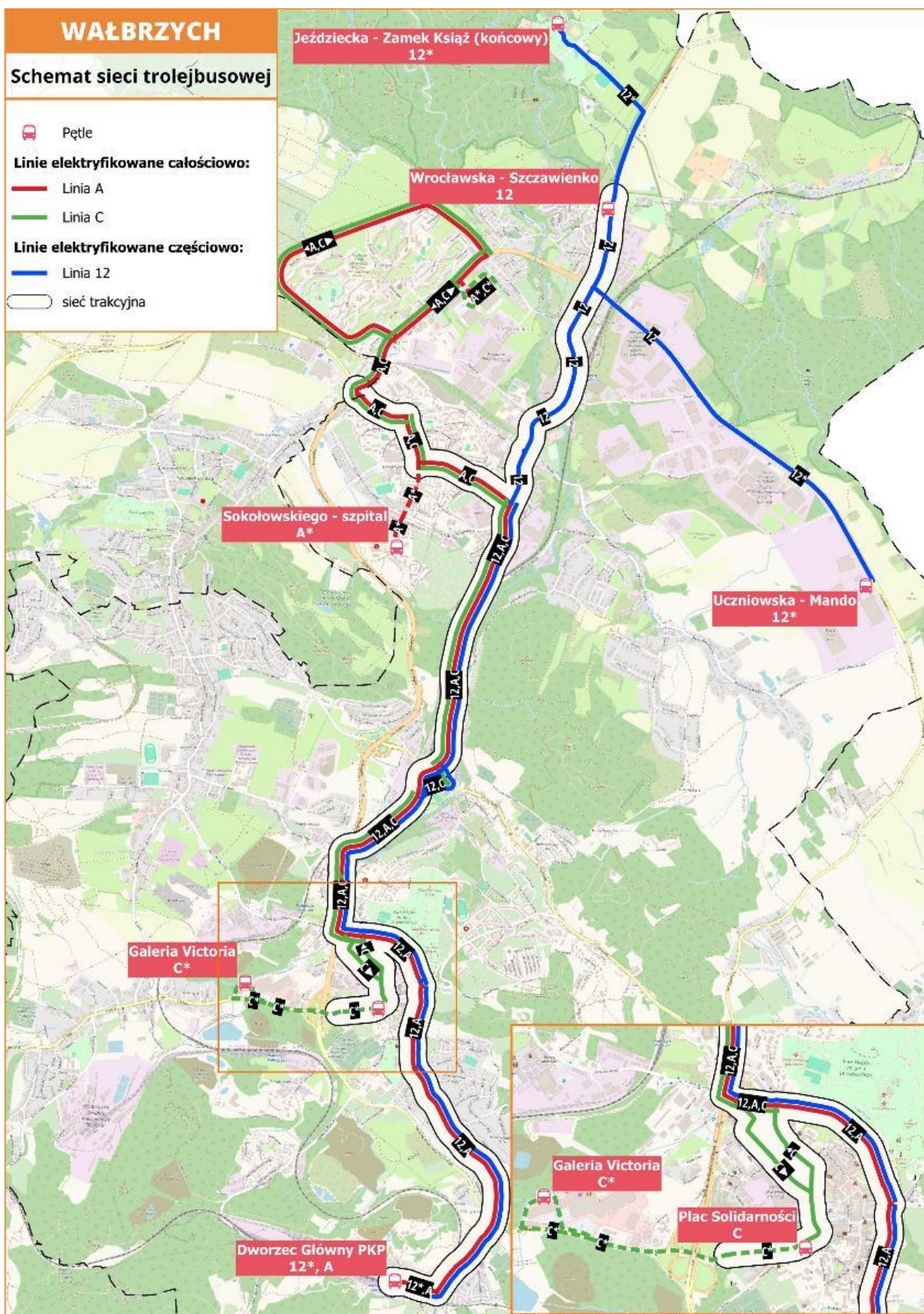
Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych autobusów nie wystąpi przyrost wielkości floty operatora, ponieważ rezerwę w dalszym ciągu będą pełniły autobusy spalinowe. W modelu opartym o trolejbusy do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie

61 autobusów, przy czym 34 autobusy wykorzystają napęd elektryczny (56% floty), w tym 20 autobusów wodorowych (33% floty) i 14 trolejbusów (23% floty). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych względem ilostanu operatora.

Tab. 4.17 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział pojazdów elektrycznych w modelu opartym o trolejbusy

Model oparty o trolejbusy	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - autobusy spalinowe	0	2	17	0	8	27
Stan taboru - autobusy elektryczne wodorowe	0	0	20	0	0	20
Stan taboru - trolejbusy	0	0	9	0	5	14
Stan taboru	0	2	46	0	13	61
Wskaźnik wykorzystania autobusów spalinowych		100%	94%		63%	85%
Wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych wodorowych			100%			100%
Wskaźnik wykorzystania trolejbusów			100%		100%	100%
Udział pojazdów zeroemisyjnych		0%	63%		38%	56%

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.17 Symulacja sieci trolejbusowej dla spełnienia warunków z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych

Źródło: Opracowanie własne

4.4. Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne

Eksploatacja wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym (uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne), pozwala uniknąć nakładów finansowych związanych ze zwiększeniem floty w ruchu (większość rozwiązań nie pozwala na wymianę 1:1 w każdej sytuacji), na dodatkową infrastrukturę do obsługi autobusów zeroemisyjnych – budowę stacji tankowania autobusów napędzanych wodorem, ładowarek do autobusów elektrycznych akumulatorowych, bądź sieci trakcyjnej. Dodatkowym atutem

jest brak konieczności dostosowania istniejącej infrastruktury (np. zajezdni) do obsługi autobusów zeroemisyjnych. Na potrzeby analizy przyjęto, że nowe autobusy o napędzie spalinowym będą mieć silniki spełniające co najmniej normy najwyższej obecnie normy emisji spalin EURO 6. Na podstawie ostatnich przetargów można założyć koszt pojedynczego autobusu klasy MAXI zasilanego ON na poziomie około 1,1 mln zł netto.

Tab. 4.18 Uśrednione koszty zakupu autobusów o napędzie konwencjonalnym

Klasa autobusu	Liczba autobusów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MAXI	14	1,1 mln zł	15 400 000
Koszt całkowity inwestycji:			15 400 000

Źródło: Opracowanie własne

4.5. Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru

Analizę wielokryterialną wyboru wariantu wymiany taboru oceniono metodą ekspercką w skali od 1 do 5 dla poszczególnych wariantów pod względem następujących aspektów jakościowych:

- aspekt techniczny:
 - łatwość wprowadzenia rozwiązania i konieczność budowy nowej lub przebudowy infrastruktury,
 - zasięg oferowany przez rozwiązanie,
 - elastyczność zarządzania taborem i możliwość używania autobusów na innych liniach,
- aspekt społeczny:
 - liczba potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taborem,
- potencjalny wpływ zastosowania autobusów zeroemisyjnych na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym,
- aspekt dostępności technologicznej:
 - dostępność danego rozwiązania technologicznego w Polsce,
- aspekt środowiskowy:
 - emisja spalin,
 - emisja hałasu drogowego,
- aspekt ekonomiczno-finansowy:
 - koszt pojazdów,
 - koszt infrastruktury.

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

Tab. 4.19 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom

L.p.	Aspekt	Waga aspektów szczegółowych		Waga aspektu	
		Częstkowa	Łączna		
1.1	Techniczny	łatwość wprowadzenia	0,20	1,00	0,2
1.2		zasięg autobusu	0,50		
1.3		elastyczność zarządzania taborem	0,30		
2.1	Społeczny	liczba potencjalnych pasażerów obsługiwanych linii wybranym typem taboru	0,70	1,00	0,1
2.2		potencjalny wpływ zastosowania autobusów zeroemisyjnych na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym	0,30		
3.1	Dostępność technologiczna	dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	1,00	0,1
4.1	Środowiskowy	emisja spalin	0,50	1,00	0,4
4.2		emisja hałasu drogowego	0,50		
5.1	Ekonomiczno-finansowy	koszt pojazdów	0,6	1,00	0,2
5.2		koszt infrastruktury	0,4		

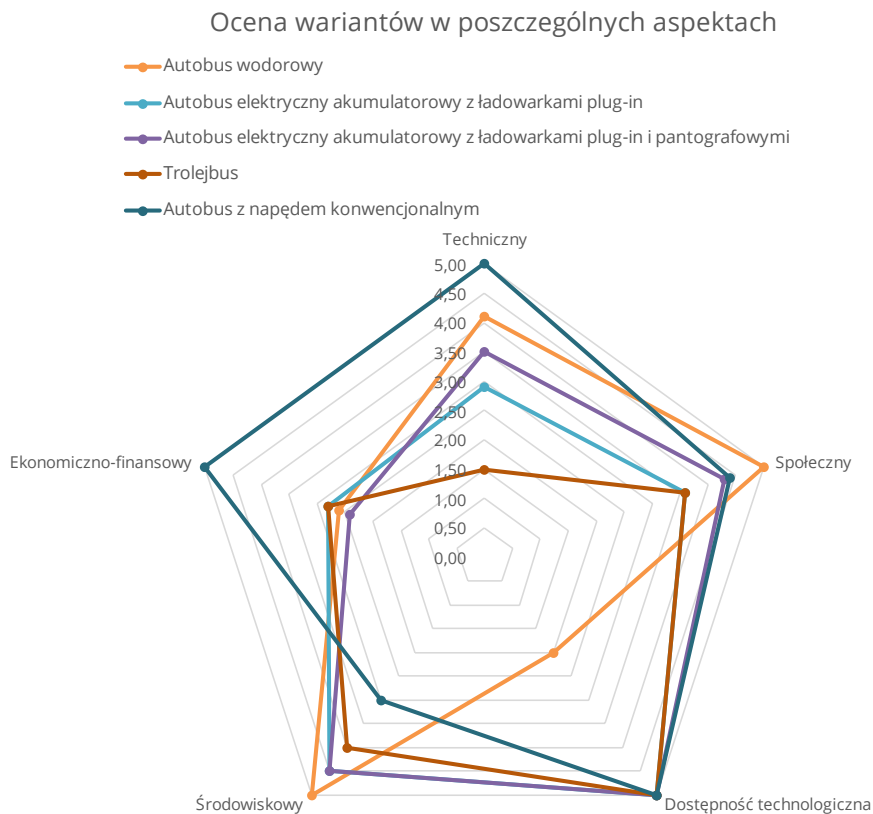
Źródło: Opracowanie własne

Kolejnym etapem było przypisanie ocen poszczególnym wariantom, które zostały zaprezentowane w poniższej tabeli, a następnie przemnożono poszczególne oceny wariantów przez wagi aspektów szczegółowych.

Tab. 4.20 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

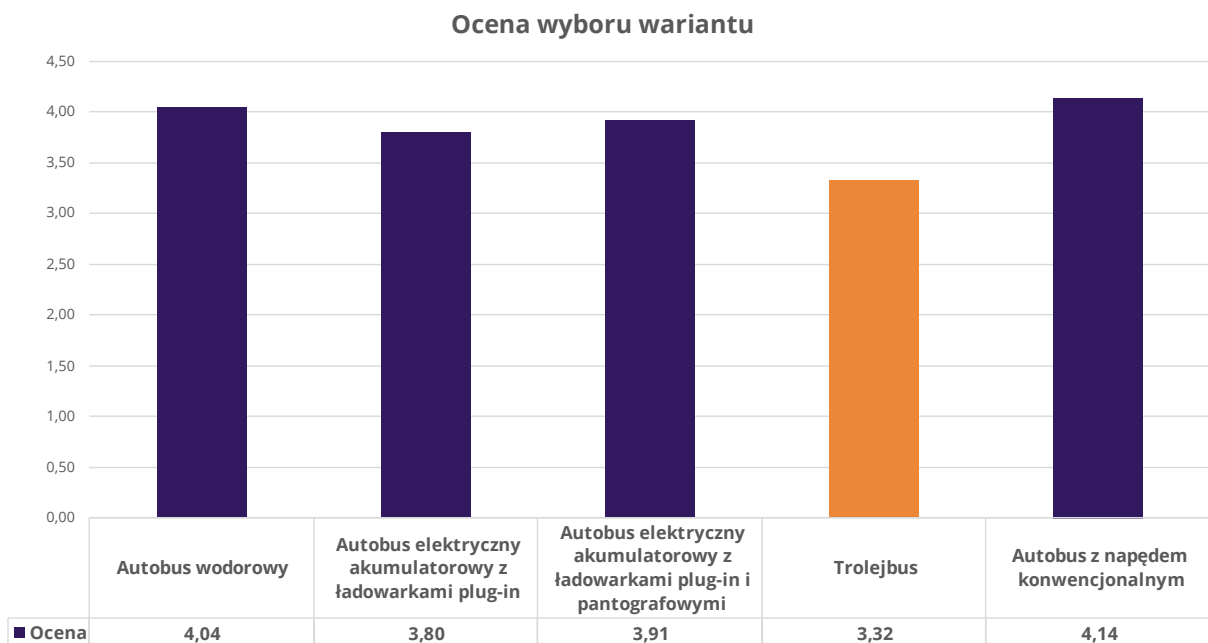
Aspekt szczegółowy	Autobus:				
	napędzany wodorem	elektryczny akumulatorowy		Trolejbus	z napędem konwencjonalnym
		z ładowarkami plug-in	z ładowarkami plug-in i pantografowymi		
łatwość wprowadzenia	2,00	4,00	3,00	1,00	5,00
zasięg autobusu	5,00	3,00	4,00	2,00	5,00
elastyczność zarządzania taborem	4,00	2,00	3,00	1,00	5,00
liczba potencjalnych pasażerów obsługiwanych linii wybranym typem taboru	5,00	3,00	4,00	3,00	5,00
potencjalny wpływ zastosowania autobusów zeroemisyjnych na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00
dostępność rozwiązania technologicznego	2,00	5,00	5,00	5,00	5,00
emisja spalin	5,00	4,00	4,00	4,00	3,00
emisja hałasu drogowego	5,00	5,00	5,00	4,00	3,00
koszt pojazdów	1,00	2,00	2,00	4,00	5,00
koszt infrastruktury	5,00	4,00	3,00	1,00	5,00

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.18 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.19 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie ocen wyboru wariantów poprzez obliczenie iloczynu ocen wariantów w aspektach szczegółowych z wagami ocen aspektów.

Najlepszym wariantem z minimalną przewagą okazały się autobusy z napędem konwencjonalnym z oceną na poziomie 4,14. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne wykorzystujące ogniwa paliwowe (wodorowe) z oceną 4,04.

Ostatnie miejsce na podium zajęły autobusy akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 3,91.

Kolejną pozycję uzyskały autobusy akumulatorowe wykorzystujące wyłącznie ładowarki plug-in z łączną oceną 3,80.

Model z wykorzystaniem trolejbusów jako jedyny istotnie odstaje od innych modeli (ocena 3,32) z tego też powodu został wykluczony z dalszej analizy szczegółowej analizie w następnych rozdziałach.

Od tej pory, w dokumencie analizowane warianty będą zdefiniowane odpowiednio jako:

- W0 – wariant bazowy, oparty o odtwarzanie autobusów w oparciu o obecnie stosowane napędy,
- W1 – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów o napędzie elektrycznym, doładowywanych na krańcach energią z ładowarek pantografowych,
- W2 – wariant inwestycyjny mieszany, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów o napędzie elektrycznym, zarówno doładowywanych na krańcach energią z ładowarek pantografowych, jak i przystosowanych do ładowania wyłącznie z ładowarek zajezdniowych typu plug – in,
- W3 – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi wykorzystujący rozwiązania z obecnie realizowanej inwestycji w Wałbrzychu.

Tab. 4.21 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu.

<p>W0 autobusy z obecnym napędem</p>	<p>W1 autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane z ładowarek pantografowych</p>	<p>W2 model mieszany: autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane z ładowarek pantografowych oraz autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane wyłącznie z ładowarek zajezdniowych plug-in z akumulatorami o dużej pojemności energii</p>	<p>W3 autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi</p>
<p>Odnowa floty w oparciu o autobusy konwencjonalne z napędem spalinowym oraz wodorowe w ramach realizowanego obecnie projektu „Wałbrzyski Autobus Wodorowy” obejmującego zakup 20 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI (z prawem opcji do 45 szt.)</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 20 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi w ramach projektu „Wałbrzyski Autobus Wodorowy”</p> <p>Wprowadzenie do eksploatacji 14 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych</p> <p>Całościowo elektryfikowane linie: C, 4, 5, 9, 11, 19</p> <p>Częściowo elektryfikowane linie: A, EX, 2, 8, 12, 18</p> <p>Uzupełniająco elektryfikowane linie: wszystkie pozostałe funkcjonujące w sieci, wcześniej niewymienione</p> <p>Budowa 7 szt. dwustanowiskowych lub 14 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych</p> <p>Budowa 4 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in</p> <p>Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 20 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi w ramach projektu „Wałbrzyski Autobus Wodorowy”</p> <p>Wprowadzenie do eksploatacji 14 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych</p> <p>Wprowadzenie do eksploatacji 14 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych</p> <p>Całościowo elektryfikowane linie: C, 4, 5, 9, 11, 19</p> <p>Częściowo elektryfikowane linie: A, EX, 2, 8, 12, 18</p> <p>Uzupełniająco elektryfikowane linie: wszystkie pozostałe funkcjonujące w sieci, wcześniej niewymienione</p> <p>Budowa 7 szt. dwustanowiskowych lub 14 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych</p> <p>Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 20 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi w ramach projektu „Wałbrzyski Autobus Wodorowy”</p> <p>Wprowadzenie do eksploatacji 14 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi</p> <p>Całościowo elektryfikowane linie: C, 4, 5, 9, 11, 19</p> <p>Częściowo elektryfikowane linie: A, EX, 2, 8, 12, 18</p> <p>Uzupełniająco elektryfikowane linie: wszystkie pozostałe funkcjonujące w sieci, wcześniej niewymienione</p> <p>Założono, że zostanie wykorzystany model tankowania wodoru związany z projektem „Wałbrzyski Autobus Wodorowy”</p> <p>Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>

Źródło: Opracowanie własne

5. Analiza finansowo – ekonomiczna

Na podstawie analizy wielokryterialnej do dalszej analizy wybrano wariant tzw. bezinwestycyjny z odtwarzaniem floty wałbrzyskiej komunikacji miejskiej o autobusy z obecnie stosowanymi napędami (wariant W0) oraz trzy warianty inwestycyjne:

- z autobusami z wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in i pantografowymi (wariant W1),
- z autobusami z wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in (wariant W2),
- wyłącznie z autobusami wyposażonymi w wodorowe ogniwa paliwowe (wariant W3).

Uwzględniając wysoki poziom luki finansowej obliczonej w rozdziale 7.4., zasadne jest nabywanie autobusów zeroemisyjnych z odpowiednio wysokim dofinansowaniem. Dofinansowanie do leasingu autobusów elektrycznych, wodorowych i trolejbusów było przewidziane w dwóch pierwszych fazach programu NFOŚiGW *Zielony Transport Publiczny*, jednakże w ostatniej (trzeciej) w 2023 r., taki model pozyskania taboru nie zaliczał się już do wydatków kwalifikowanych.

W przypadku modelu jakim jest klasyczny zakup, w przeszłości każdy nabór wniosków o dofinansowanie przewidywał objęcie wsparciem finansowym, stąd uznaje się go za tryb podstawowy przy elektryfikacji floty autobusowej.

5.1. Założenia i metodyka analizy finansowej

Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji. Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.

Analiza została przeprowadzona na lata 2025-2043. W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 3%. Została ona przeprowadzona w cenach stałych i nie uwzględnia wpływu inflacji. Analizę sporządzono w cenach netto (bez podatku VAT). Analiza została przeprowadzona w oparciu o model różnicowy.

Prognoza finansowa została przeprowadzona w okresach rocznych. Pierwsze nakłady inwestycyjne obejmujące zakup 14 autobusów zeroemisyjnych w analizie zostaną podjęte w 2025 roku, a ich eksploatacja rozpocznie się od 2026 roku.

Wartość rezydualna inwestycji została skalkulowana jako wartość środków trwałych

po odpisach amortyzacyjnych w ostatnim roku analizy. Wartości kosztów operacyjnych oparto o dane historyczne lub na podstawie metody eksperckiej. Założono, że projekt wymiany taboru nie generuje dochodów oprócz wartości rezydualnej.

Wymiana taboru nie spowoduje wzrostu wielkości popytu (tj. liczby pasażerów) oraz wozokilometrów – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej. W 2022 r. z usług komunikacji miejskiej w Wałbrzychu skorzystało 17 897 053 pasażerów.

Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI przystosowane do szybkiego ładowania z ładowarek pantografowych realizować będą pracę eksploatacyjną na poziomie 55 tys. wkm rocznie.

Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI przystosowane wyłącznie do czasochłonnego ładowania w technologii plug-in, realizować będą zmniejszoną pracę eksploatacyjną na poziomie

42,169 tys. wzkm rocznie, wynikającym z konstrukcji obecnych zadań przewozowych.

Autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI nabyte w projekcie „Wałbrzyski Autobus Wodorowy” wykonywać będą po 100 tys. wzkm rocznie, zaś pozostałe z tym napędem analizowane w wariantcie W3 pracę

5.2. Nakłady inwestycyjne

Nakłady inwestycyjne zostały oszacowane w oparciu o analizę rynku oraz wiedzę ekspercką osób przeprowadzających analizę. Wszystkie nakłady inwestycyjne zostały podane w kwotach netto.

Założono, że lata inwestycji będą zbieżne z okresami przejściowymi w ustawie

eksploatacyjną przypadającą na każdy inny autobus typu MAXI w sieci komunikacyjnej (ok. 60,1 tys. wzkm rocznie).

Średnia gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii elektryfikowanych całościowo wynosi 1 688,90 osób/ km².

o elektromobilności i paliwach alternatywnych (inwestycje w roku poprzedzającym wejście kolejnego progu).

Dodatkowo przyjęto założenie, że 1 ładowarka dwustanowiskowa wolnego ładowania przypada na 2 autobusy (w przypadku nieparzystej liczby autobusów wartość zaokrąglono w górę).

Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1

Wariant W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 14 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2025	39 200 000 zł
Budowa 7 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2025	1 575 000 zł
Budowa 4 ładowarek pantografowych z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej	2025	6 750 000 zł
Suma:		47 525 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2

Wariant W2		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 14 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2025	47 600 000 zł
Budowa 14 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2025	3 150 000 zł
Nakłady inwestycyjne na przygotowanie infrastruktury energetycznej i trafostacji w zajezdni	2025	1 250 000 zł
Suma:		52 000 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3

Wariant W3		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 14 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2025	45 500 000 zł
Suma:		45 500 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych – wszystkie warianty inwestycyjne

Stopień elektryfikacji linii		
LINIE	2025 r.	2028 r.
A	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA
C	PEŁNA	PEŁNA
EX	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA
2	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA
4	BRAK	PEŁNA
5	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
8	BRAK	CZĘŚCIOWA
9/ 19	BRAK	PEŁNA
11	BRAK	PEŁNA
12	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA
18	BRAK	CZĘŚCIOWA

Źródło: Opracowanie własne

5.3. Wartość nakładów odtworzeniowych

W obu wariantach inwestycyjnych założono ponoszenie nakładów o charakterze odtworzeniowym, które mają na celu utrzymanie odpowiedniego poziomu świadczonych usług.

Założono, że nakłady te będą ponoszone po 15 latach użytkowania pojazdu o napędzie zeroemisyjnym. W przypadku obecnie posiadanych pojazdów o napędzie konwencjonalnym okres eksploatacji wynosić będzie maksymalnie 17 lat, przy czym po każdej ich kolejnej wymianie okres żywotności wynosić będzie 10 lat.

Dla każdego autobusu z napędem konwencjonalnym wyprodukowanego

po 2024 r., pierwsze nakłady odtworzeniowe zostaną poniesione po 10 latach eksploatacji.

Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu.

Dokładną założoną długość eksploatacji dla autobusów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.5. . Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatorów stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2033 r. ich cena spadnie o 10% względem dzisiejszej. W Tab. 5.6 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych we wszystkich analizowanych wariantach.

Tab. 5.5 Okres eksploatacji środków trwałych

Rodzaj środka trwałego	Okres eksploatacji (żywotności) w latach	Stopień odtworzenia po zakończeniu eksploatacji (żywotności) w %
Zakup autobusów	Autobusy spalinowe: od 10 do 15 lat w zależności od roku produkcji, przy czym 10 lat dla wszystkich autobusów wyprodukowanych po 2024 r. (okres zgodny z wytycznymi w Niebieskiej Księdze). Autobusy elektryczne akumulatorowe oraz autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi: 15 lat (połowa długości okresu między cyklem życia autobusu spalinowego na poziomie 10 lat i trolejbusu na poziomie 20 lat, wskazanych w Niebieskiej Księdze)	100%
Infrastruktura energetyczna do ładowania autobusów	15	100%
Stacje ładowania	15	100%
Akumulatory w autobusach elektrycznych	8	100%

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.6 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach objętych analizą.

Rok	Wartość nakładów odtworzeniowych – W0	Wartość nakładów odtworzeniowych – W1	Wartość nakładów odtworzeniowych – W2	Wartość nakładów odtworzeniowych – W3
2024	- zł	- zł	- zł	- zł
2025	50 200 000,00 zł	34 800 000,00 zł	34 800 000,00 zł	34 800 000,00 zł
2026	- zł	- zł	- zł	- zł
2027	- zł	- zł	- zł	- zł
2028	- zł	- zł	- zł	- zł
2029	- zł	- zł	- zł	- zł
2030	- zł	- zł	- zł	- zł
2031	- zł	- zł	- zł	- zł
2032	- zł	- zł	- zł	- zł
2033	- zł	- zł	- zł	- zł
2034	- zł	- zł	- zł	- zł
2035	50 200 000,00 zł	34 800 000,00 zł	34 800 000,00 zł	34 800 000,00 zł
2036	- zł	- zł	- zł	- zł
2037	- zł	- zł	- zł	- zł
2038	- zł	- zł	- zł	- zł
2039	45 500 000,00 zł	45 500 000,00 zł	45 500 000,00 zł	45 500 000,00 zł
2040	19 500 000,00 zł	60 520 000,00 zł	65 840 000,00 zł	65 000 000,00 zł
2041	- zł	- zł	- zł	- zł
2042	- zł	- zł	- zł	- zł
2043	- zł	- zł	- zł	- zł
SUMA	165 400 000,00 zł	175 620 000,00 zł	180 940 000,00 zł	180 100 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2024-2043	165 400 000,00 zł	175 620 000,00 zł	180 940 000,00 zł	180 100 000,00 zł
Zmiana do W0		10 220 000,00 zł	15 540 000,00 zł	14 700 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

5.4. Prognoza kosztów operacyjnych

Do kosztów operacyjnych zaliczono wszystkie koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów zeroemisyjnych we wszystkich wariantach inwestycyjnych. Analizę przeprowadzono z podziałem na warianty oraz rozróżnieniem na poszczególne składowe.

W każdym wariantcie analizy (bezinwestycyjnym W0 oraz inwestycyjnych W1, W2, W3) wielkość pracy eksploatacyjnej jest jednakowa – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej w zakresie tras i rozkładów jazdy.

Poniżej przedstawiono opis założeń do kalkulacji kosztów operacyjnych w arkuszu kalkulacyjnym.

Tab. 5.8 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych Analizy porównawczej wyników badania średnich kosztów jednostkowych przedsiębiorstw międzynarodowego transportu ciężarowego w relacjach z rynkami wschodnimi oraz krajów UE, w latach 2009-2021	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych Analizy porównawczej wyników badania średnich kosztów jednostkowych przedsiębiorstw międzynarodowego transportu ciężarowego w relacjach z rynkami wschodnimi oraz krajów UE, w latach 2009-2021. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych Analizy porównawczej wyników badania średnich kosztów jednostkowych przedsiębiorstw międzynarodowego transportu ciężarowego w relacjach z rynkami wschodnimi oraz krajów UE, w latach 2009-2021. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych Analizy porównawczej wyników badania średnich kosztów jednostkowych przedsiębiorstw międzynarodowego transportu ciężarowego w relacjach z rynkami wschodnimi oraz krajów UE, w latach 2009-2021. Dla autobusów z wodorowymi ogniwoami paliwowymi obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.
Średnie spalanie ON	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen S.A. w latach 2022 i 2023.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen S.A. w latach 2022 i 2023.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen S.A. w latach 2022 i 2023.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen S.A. w latach 2022 i 2023.
Średnie zużycie energii	-	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI – 130 kWh/100 km).	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI – 130 kWh/100 km).	-

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zużycia energii	-	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika TAURON S.A.	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika TAURON S.A.	-
Średnie zużycie wodoru	Oszacowano na podstawie doświadczeń operatorów z innych systemów komunikacyjnych (autobusy MAXI 8,5 kg/ 100 km)	Oszacowano na podstawie doświadczeń operatorów z innych systemów komunikacyjnych (autobusy MAXI 8,5 kg/ 100 km)	Oszacowano na podstawie doświadczeń operatorów z innych systemów komunikacyjnych (autobusy MAXI 8,5 kg/ 100 km)	Oszacowano na podstawie doświadczeń operatorów z innych systemów komunikacyjnych (autobusy MAXI 8,5 kg/ 100 km)
Koszty zużycia wodoru	Oszacowano na podstawie kosztu 1 kg na funkcjonujących stacjach tankowania wodoru (tj. 11,5 € zł brutto/ 1 kg)	Oszacowano na podstawie kosztu 1 kg na funkcjonujących stacjach tankowania wodoru (tj. 11,5 € zł brutto/ 1 kg)	Oszacowano na podstawie kosztu 1 kg na funkcjonujących stacjach tankowania wodoru (tj. 11,5 € zł brutto/ 1 kg)	Oszacowano na podstawie kosztu 1 kg na funkcjonujących stacjach tankowania wodoru (tj. 11,5 € zł brutto/ 1 kg)
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia ogumienia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV.	Koszty zużycia ogumienia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV.	Koszty zużycia ogumienia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV.	Koszty zużycia ogumienia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV.
Koszty napraw	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów zeroemisyjnych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów zeroemisyjnych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów zeroemisyjnych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów zeroemisyjnych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XXX/391/2016 Rady Miejskiej Wałbrzycha z dnia 27 października 2016 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XXX/391/2016 Rady Miejskiej Wałbrzycha z dnia 27 października 2016 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XXX/391/2016 Rady Miejskiej Wałbrzycha z dnia 27 października 2016 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XXX/391/2016 Rady Miejskiej Wałbrzycha z dnia 27 października 2016 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych
Ubezpieczenia	Koszty ubezpieczenia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV	Koszty ubezpieczenia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV	Koszty ubezpieczenia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV	Koszty ubezpieczenia oszacowano w oparciu o informacje Niebieskiej Księgi sektora transportu publicznego HGV
Koszty wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Założono, że koszty 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

5.5. Wartość rezydualna

W ostatnim roku analizy wyznaczono wartość rezydualną inwestycji jako wartość aktywów

netto, z uwagi na niedochodowy charakter inwestycji. Wyniki zostały przedstawione poniżej:

Tab. 5.9 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych

Wyszczególnienie	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Wartość rezydualna w zł	16 408 000,00 zł	35 436 000,00 zł	16 408 000,00 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	84 187 000,00 zł	183 654 000,00 zł	78 612 000,00 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	100 595 000,00 zł	219 090 000,00 zł	95 020 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

5.6. Efektywność finansowa projektu zakupu taboru

Efektywność finansową projektu wyliczono za pomocą wskaźnika FNPV oraz FRR na podstawie przepływów finansowych w okresie analizy. Pod uwagę wzięto:

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,

- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

Powyższe przepływy pieniężne po zsumowaniu zostały zdyskontowane przy przyjęciu stopy dyskontowej na poziomie 3%.

Tab. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.

Kategoria	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
FNPV/C	- 56 764 629,97	- 40 094 008,06	- 56 925 431,48
FRR/C	-34%	-11%	-35%

Źródło: Opracowanie własne

Wskaźnik FNPV/C przyjmuje wartości ujemne, a FRR/C niższą od przyjętej stopy dyskontowej. Dla większości takich projektów wartości tych wskaźników przyjmują wartości ujemne. Taka wartość wskaźników oznacza, że bieżąca wartość przyszłych przychodów nie pokrywa bieżącej wartości kosztów projektu.

Niewątpliwie największy wpływ na ujemną wartość wskaźnika FNPV/C mają znacznie wyższe wartości nakładów inwestycyjnych, generowane przez wyższe koszty jednostkowe autobusów elektrycznych akumulatorowych oraz z wodorowymi ogniwami paliwowymi w porównaniu do autobusów konwencjonalnych.

Ponadto w wariantach W1 i W2 wartość nakładów odtworzeniowych znacznie wzrasta z uwagi na konieczność wymiany akumulatorów

po 7. roku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych.

Wielkość kosztów operacyjnych w wariantach W1 i W2 będzie niższa dzięki oszczędnościom wynikającym z obniżonych kosztów części zamiennych oraz przede wszystkim z tytułu niższych kosztów zużycia energii elektrycznej w porównaniu do kosztów zużycia oleju napędowego w autobusach spalinowych.

Obliczono także lukę finansową jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik dla całego okresu analizy przy docelowym wolumenie autobusów zeroemisyjnych wyniósł 100% w przypadku wariantu W3.

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż dalsza elektryfikacja komunikacji miejskiej

w Wałbrzychu zaplanowana w wariantcie W3, którego wskaźnik ENPV w dalszej części analizy jest najwyższy spośród wszystkich wariantów inwestycyjnych, nie zaburzy stabilności finansowej Gminy Wałbrzych w całym okresie analizy. Nie zostanie przekroczony poziom:

- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określonego w art. 243 Ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o *finansach publicznych* (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 1270 ze zm.), po uwzględnieniu zobowiązań związku współtworzonego przez jednostkę samorządu

terytorialnego oraz po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń, obliczonego w oparciu o plan 3 kwartałów roku poprzedzającego rok budżetowy,

- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określony w art. 243 ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o *finansach publicznych*, po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń w oparciu o wykonanie roku poprzedzającego pierwszy rok prognozy (wskaźnik ustalony w oparciu o średnią arytmetyczną z 3 poprzednich lat).

6. Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji

Autobusy spalinowe są napędzane spalinowymi silnikami o samoczynnym zapłonie i znane są ekologiczne negatywne skutki ich stosowania. Najważniejsze z nich to emisja hałasu, powodowanie drgań oraz emisja zanieczyszczeń szkodliwych dla ludzi i środowiska. Dodatkowo sytuację ekologiczną pogarsza fakt, że autobusy są intensywnie użytkowane w centrach ośrodków miejskich, a więc w miejscach o dużym zaludnieniu i natężeniu ruchu drogowego. Emisja w pojazdach spalinowych, w porównaniu do pojazdów zeroemisyjnych, jest wyższa ze względu na wykorzystywanie większej ilości płynów eksploatacyjnych, jak i elementów mechanicznych, a także stosowanie oleju w obiegu silnika.

Głównym efektem spalania paliw w autobusach o napędzie konwencjonalnym są mieszaniny substancji – przede wszystkim gazowe, również frakcje ciekłe oraz stałe. Dodatkowo, w porównaniu z pojazdami elektrycznymi, w autobusach spalinowych występuje zwiększona emisja cząstek stałych, a także tlenków azotu. Są one jednymi z najpoważniejszych źródeł emisji cząstek stałych oraz tlenków azotu wytwarzanych w centrach miast pochodzących z transportu drogowego.

W porównaniu do autobusów konwencjonalnych, emisja w pojazdach elektrycznych jest niższa dzięki wyeliminowaniu procesu spalania paliwa (brak silnika spalinowego). Silniki elektryczne najczęściej chłodzone są powietrzem, wyeliminowany został obieg oleju, wykorzystuje się znacznie mniejsze ilości płynów i elementów mechanicznych.

Nie występują filtry paliwa, powietrza, oleju. Sprawność poprawiają systemy odzysku energii podczas hamowania (dłuższa żywotność elementów ciernych w układzie hamulcowym, mniejsze zużycie energii).

Pojazdy elektryczne, podobnie jak konstrukcje spalinowe, podlegają wymogom homologacyjnym i przechodzą testy zderzeniowe. Zgodnie z zapewnieniami producentów, akumulatory podczas wypadku nie powinny ulec zapłonowi czy rozlaniu przez wzgląd na konstrukcję przewidującą takie zdarzenia.

Jedynym produktem ubocznym eksploatacji w pełni zeroemisyjnych autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi jest emisja pary wodnej powstająca w wyniku przekształcania wodoru w energię elektryczną.

Emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, wywołując silne i przewlekłe choroby nawet ze skutkiem śmiertelnym. Emisja cząstek stałych PM 2,5, PM 10 prowadzi do³³:

- przewlekłych lub ostrych chorób układu oddechowego, układu krążeniowo – oddechowego, naczyń mózgowych u osób dorosłych, będąc również substancją kancerogenną,
- astmy i przewlekłego lub ostrego zapalenia ucha u dzieci.

Emitowanie tlenków azotu wywołuje choroby ze skutkiem śmiertelnym oraz w szczególności choroby układu oddechowego i sercowo – naczyniowego. Wpływa negatywnie na zdrowie

33 Update of the Handbook on External Costs of Transport, RICARDO-AEA, 2014.

dzieci, powodując astmę, białaczkę, ograniczony wzrost płuc.

Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

- śmiertelnych chorób dotykających dzieci (nagłą śmierć łóżeczkową) oraz osoby starsze (zastoinową niewydolność serca),
- chorób układu krążenia diagnozowanych wśród osób starszych oraz do niskich mas urodzeniowych noworodków.

Niemniej jednak, należy zaznaczyć, iż eksploatacja autobusów elektrycznych akumulatorowych wiąże się z ograniczeniem niskiej emisji, która w niniejszym opracowaniu definiowana jest jako emisja lokalna.

W poniższej tabeli zestawiono zmianę wielkości emisji spalin i gazów cieplarnianych w wyniku realizacji poszczególnych wariantów inwestycyjnych na przestrzeni lat 2024-2043. Ukazuje ona zsumowane emisje szkodliwych substancji dla dolnych warstw atmosfery, które bezpośrednio wpływają na stan zdrowia oraz samopoczucie ludzi. Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego, odpowiednio skorygowanymi o założenia opisane w rozdziale 7.1.

Z kolejnej tabeli można wywnioskować, iż w wariantach W1 i W2 redukcja emisji dotknie tlenki azotu NO_x (odpowiednio o 10,62 Mg i 8,14 Mg) oraz pyły PM_{2,5} (o 0,15 Mg w wariantach W1 i o 0,42 Mg w W2). Emisja metanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC obniży się w wariantach W1 o 6,03 Mg, natomiast w wariantach W2 paradoksalnie wzrośnie o 7,46 Mg, z uwagi na niskie realne przebiegi autobusów elektrycznych, co wymusi wzrost

pracy eksploatacyjnej nie ekologicznych autobusów spalinowych. Spadek emisji dwutlenku węgla w wariantach W1 wyniesie 3 578 Mg, a w W2 2 744 Mg.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że udział odnawialnych źródeł energii stale wzrasta, co warunkuje przede wszystkim Dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. określa ich udział w strukturze wytwarzania energii elektrycznej w 2030 r. na poziomie co najmniej 27% (według danych KOBIZE za 2022 r. udział wyniósł ponad 17%). Dlatego też przewiduje się, iż wskaźniki emisyjności dla pojazdów elektrycznych akumulatorowych w najbliższych latach ulegną poprawie.



Rys. 6.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Berlinie, Niemcy

Źródło: Zbiory własne

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi w wariantach W3 zaowocuje redukcją emisji wszystkich obecnie emitowanych w komunikacji miejskiej szkodliwych substancji, tj.:

- tlenki azotu NO_x – mniej o 27,00 Mg,
- pyły zawieszone PM_{2,5} – mniej o 0,67 Mg,
- metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC – mniej o 11,60 Mg,
- oraz dwutlenek węgla CO_2 – mniej o 16 829,65 Mg.

Tab. 6.1 Roczne zestawienia emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery oraz gazów cieplarnianych w analizowanych wariantach [w Mg]

Rok	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3
	SO ₂				NO _x				PM 2,5				NHMC/NMVOC				CO ₂			
2024	0,00	0,00	0,00	0,00	35,49	35,49	35,49	35,49	0,32	0,32	0,32	0,32	8,32	8,32	8,32	8,32	4405,58	4405,58	4405,58	4405,58
2025	0,00	0,00	0,00	0,00	25,28	25,28	25,28	25,28	0,22	0,22	0,22	0,22	5,97	5,97	5,97	5,97	3078,01	3078,01	3078,01	3078,01
2026	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2693,62	2704,68	1806,04
2027	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2680,31	2694,47	1806,04
2028	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2666,98	2684,26	1806,04
2029	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2653,67	2674,05	1806,04
2030	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2640,36	2663,84	1806,04
2031	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2613,80	2643,48	1806,04
2032	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2587,24	2623,12	1806,04
2033	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2560,69	2602,76	1806,04
2034	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2534,13	2582,39	1806,04
2035	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2507,57	2562,03	1806,04
2036	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2492,94	2550,81	1806,04
2037	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2478,31	2539,59	1806,04
2038	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2463,67	2528,37	1806,04
2039	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2449,05	2517,16	1806,04
2040	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2434,41	2505,94	1806,04
2041	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2434,41	2505,94	1806,04
2042	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2434,41	2505,94	1806,04
2043	0,00	0,44	0,33	0,00	4,33	3,74	3,88	2,84	0,11	0,10	0,08	0,07	1,46	1,13	1,87	0,82	2741,03	2434,41	2505,94	1806,04
Suma	0,00	7,86	6,02	0,00	138,79	128,17	130,65	111,80	2,49	2,34	2,07	1,81	40,57	34,54	48,03	28,97	56822,04	53243,57	54078,34	39992,39
Zmiana do W0		7,86	6,02	0,00		-10,62	-8,14	-27,00		-0,15	-0,42	-0,67		-6,03	7,46	-11,60		-3578,46	-2743,70	-16829,65

Źródło: Opracowanie własne

7. Analiza społeczno-ekonomiczna

7.1. Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym

W analizie społeczno-ekonomicznej nie rozróżniono wyceny kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji ze względu na sposób ładowania autobusu elektrycznego akumulatorowego. Emisja szkodliwych dla środowiska substancji zależy głównie od rodzaju napędu i sposobu jej wytwarzania, a nie od systemu dostarczania energii do pojazdu.

Jednym z istotnych aspektów realizacji inwestycji polegających na zakupie taboru autobusowego jest obniżenie emisji zanieczyszczeń w niższych warstwach atmosfery poprzez wykorzystanie jak największej liczby pojazdów niskoemisyjnych bądź zeroemisyjnych. W poniższej tabeli przedstawiono zsumowaną emisję szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych dla całego okresu objętego analizą, zarówno w wariantcie bezinwestycyjnym W0, jak i we wszystkich inwestycyjnych, tj. W1, W2 i W3.

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych Tablicach kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści³⁴. Zakładają one uwzględnienie:

- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla gazów cieplarnianych CO₂, wynikających ze struktury produkcji energii elektrycznej w Polsce, wytwarzanej głównie przez elektrownie ciepłownicze, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,

- w wariantach W0, W1, W2 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych wyłącznie przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej,
- w wariantcie W3 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych wyłącznie przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej, uwzględniając brak emisji z autobusów wodorowych.

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE³⁵ za 2022 rok, wskaźniki emisyjności NO_x, PM_{2,5}, SO₂ w Polsce obniżyły się w latach 2019 - 2022 odpowiednio o 20,8%, 37,9%

³⁴ Źródło: <https://www.cupt.gov.pl/strefa-beneficjenta/wdrazanie-projektow/analiza-kosztow-i-korzysci/narzedzia/tablice-kosztow-jednostkowych-do-wykorzystania-w-analizach-kosztow-i-korzysci/>

³⁵ Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji z 2022 roku

i 14,7%. Dlatego też na potrzeby niniejszego dokumentu uwzględniono następujące wartości rzeczywiste z 2022 r. emisji szkodliwych substancji przy produkcji energii elektrycznej w Polsce:

- dla NO_x: 0,456 g/kWh,
- dla PM: 0,018 g/kWh,

- dla CO₂: 685 kg/MWh,
- dla SO₂: 0,436 g/kWh.

Niemniej jednak w przypadku CO₂ przyjęto jeszcze niższą wartość, wynikającą wprost z Kalkulatora kosztów jednostkowych CUPT, obejmującą prognozowaną zmianę emisyjności w czasie.

Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2024-2043

Związek chemiczny	W0	W1	W2	W3
	Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych			
SO ₂	0,00 zł	908 987,70 zł	696 943,38 zł	- zł
Zmiana do W0		908 987,70 zł	696 943,38 zł	0,00 zł
NO _x	13 737 428,59 zł	12 371 462,96 zł	12 690 108,92 zł	10 782 269,06 zł
Zmiana do W0		-1 365 965,63 zł	-1 047 319,68 zł	-2 955 159,53 zł
PM 2,5	4 279 382,00 zł	3 507 194,72 zł	3 128 241,87 zł	3 061 511,56 zł
Zmiana do W0		-772 187,28 zł	-1 151 140,12 zł	-1 217 870,43 zł
NHMC/NMVOC	512 037,53 zł	429 542,28 zł	614 001,17 zł	385 464,95 zł
Zmiana do W0		-82 495,25 zł	101 963,64 zł	-126 572,58 zł
CO ₂	13 790 143,19 zł	12 850 264,24 zł	13 069 514,72 zł	9 585 614,32 zł
Zmiana do W0		-939 878,95 zł	-720 628,46 zł	-4 204 528,87 zł
SUMA	32 318 991,31 zł	30 067 451,90 zł	30 198 810,07 zł	23 814 859,90 zł
Zmiana do W0		-2 251 539,41 zł	-2 120 181,24 zł	-8 504 131,41 zł

Źródło: Opracowanie własne

W wariantach W1 i W2 największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na ich korzyść, można dostrzec w kosztach emisji tlenków azotu NO_x. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x wynosić będą w wariantcie W1 ok. 1,37 mln zł, a wariantcie W2 ok. 1,05 mln zł.

W wariantcie W2 koszty emisji PM 2,5 obniżą się ok. 1,15 mln zł, a w W1 o 0,77 mln zł. Koszty emisji metanowych lotnych związków organicznych w wariantcie W1 spadną o ok. 0,08 mln zł, a w wariantcie W2 wzrosną o 0,10 mln zł.

W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji spadną o ok. 0,94 mln zł w wariantcie W1 i 0,72 mln zł w wariantcie W2.

Największy przyrost kosztów w wyniku realizacji wariantów W1 i W2 cechuje emisję tlenków siarki, mającą miejsce wyłącznie przy użytkowaniu autobusów elektrycznych

akumulatorowych i wynosi on ok. 0,91 mln zł w wariantcie W1 i ok. 0,70 mln zł w wariantcie W2.

Znacznie korzystniej prezentują się efekty płynące z monetyzacji kosztów emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w wariantcie inwestycyjnym W3, który przewiduje eksploatację autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Redukcja wszystkich analizowanych związków przełoży się na zmniejszenie kosztów zewnętrznych emisji tlenków azotu NO_x o ok. 2,96 mln zł, pyłów zawieszonych PM 2,5 o ok. 1,22 mln zł, metanowych lotnych związków organicznych o ok. 0,13 mln zł, a CO₂ o ok. 8,5 mln zł.

W wyniku wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych poprawie ulegnie poziom i jakość życia w Wałbrzychu oraz ościennych gminach, za sprawą zmniejszonej emisji szkodliwych substancji poprawiającej jakość powietrza, jak i ograniczonemu hałasowi polepszając tym samym stan klimatu akustycznego. Elektryfikacja floty operatora

komunikacji miejskiej nie będzie wiązała się ze zmianą oferty przewozowej dla pasażerów, toteż nie będzie ona wpływała na dostępność usług komunikacyjnych.

Podsumowując:

- realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 2,26 mln zł,

- realizacja wariantu W2 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 2,12 mln zł,
- realizacja wariantu W3 przełoży się na spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych związków chemicznych o ok. 8,50 mln zł.

7.2. Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym

Hałasem określa się każdy dźwięk, który może doprowadzić do utraty słuchu, albo być szkodliwy dla zdrowia lub niebezpieczny z innych względów, zwykle o dużym natężeniu, niskiej częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak i psychiczny człowieka. Hałas powyżej 85 dB jest w stanie uszkodzić słuch trwale, natomiast niższy poziom hałasu może oddziaływać w bardzo niekorzystny sposób na psychikę, zwiększać ciśnienie krwi, być źródłem powstawania stresu.

Dla obliczenia kosztów emitowanego hałasu przez autobusy elektryczne oraz spalinowe założono zindeksowaną jednostkową cenę za hałas typowy dla autobusów, wskazaną w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT.

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów na obszarze miejskim wskazane Kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT,
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,85 oraz noc=0,15), zgodnie z założeniami

w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,

- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych³⁶.



Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na stacji szybkiego ładowania w Gdyni

Źródło: Zbiory własne

Poniższa tabela przedstawia zindeksowane koszty hałasu emitowanego we wszystkich wariantach analizy w latach 2024-2043 oraz zmonetyzowane korzyści zewnętrzne w wyniku jego redukcji.

³⁶ Quieter buses socioeconomic effects”, Koucky & Partners A.B, 2014.

Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2024-2043

Rok	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W0	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W1	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W2	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W3
2024	180 330,61 zł	180 330,61 zł	180 330,61 zł	180 330,61 zł
2025	145 151,43 zł	145 151,43 zł	145 151,43 zł	145 151,43 zł
2026	131 739,73 zł	109 385,07 zł	114 599,86 zł	107 352,83 zł
2027	135 185,34 zł	112 246,01 zł	117 597,19 zł	110 160,61 zł
2028	138 741,40 zł	115 198,64 zł	120 690,59 zł	113 058,39 zł
2029	142 300,40 zł	118 153,72 zł	123 786,55 zł	115 958,57 zł
2030	145 971,44 zł	121 201,83 zł	126 979,97 zł	118 950,05 zł
2031	149 640,64 zł	124 248,41 zł	130 171,79 zł	121 940,03 zł
2032	153 425,80 zł	127 391,27 zł	133 464,48 zł	125 024,50 zł
2033	157 206,37 zł	130 530,33 zł	136 753,19 zł	128 105,23 zł
2034	161 101,80 zł	133 764,75 zł	140 141,81 zł	131 279,56 zł
2035	164 984,58 zł	136 988,67 zł	143 519,42 zł	134 443,59 zł
2036	168 846,50 zł	140 195,27 zł	146 878,89 zł	137 590,61 zł
2037	172 681,55 zł	143 379,55 zł	150 214,98 zł	140 715,74 zł
2038	176 481,48 zł	146 534,69 zł	153 520,53 zł	143 812,25 zł
2039	180 096,10 zł	149 535,94 zł	156 664,87 zł	146 757,75 zł
2040	183 797,35 zł	152 609,14 zł	159 884,57 zł	149 773,85 zł
2041	187 438,69 zł	155 632,59 zł	163 052,17 zł	152 741,12 zł
2042	191 010,79 zł	158 598,55 zł	166 159,52 zł	155 651,98 zł
2043	194 660,34 zł	161 628,81 zł	169 334,25 zł	158 625,94 zł
SUMA	3 260 792,35 zł	2 762 705,27 zł	2 878 896,65 zł	2 717 424,64 zł
Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu w latach 2024 – 2043	-	498 087,08 zł	-	543 367,71 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że dalsza elektryfikacja wałbrzyskiej komunikacji miejskiej przełoży się na znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów zeroemisyjnych.

Największe zmonetyzowane korzyści z tytułu redukcji emisji hałasu zostaną wygenerowane w wariancie W3 z autobusami wodorowymi w wysokości ok. 0,54 mln zł w całym okresie objętym analizą, zaś w przypadku autobusów elektrycznych akumulatorowych na poziomie

od ok. 0,38 mln zł w wariancie W2 do ok. 0,50 mln zł w wariancie W1.

Redukcja pozwoli wyciszyć ogólny hałas generowany w ruchu miejskim przez transport publiczny. Ponadto obniżona emisja hałasu wpłynie na zwiększenie komfortu podróżowania komunikacją miejską oraz na bezpieczeństwo podróży pasażerów. Warto dodać, że zredukowany hałas wpłynie również na lepsze samopoczucie mieszkańców oraz zwierząt.

7.3. Inne korzyści zewnętrzne

Eksploatacja autobusów elektrycznych akumulatorowych w polskich miastach wiąże się z pośrednim generowaniem emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych, powstających w procesie produkcji energii elektrycznej. Emisję tę można uznać za proces o rozproszonym charakterze, o znacząco

mniejszym nasileniu w miejscu eksploatacji autobusów elektrycznych. Wykorzystanie autobusów elektrycznych akumulatorowych de facto nie powoduje powstawania lokalnej emisji do niższych warstw atmosfery, co stanowi istotną korzyść dla mieszkańców ośrodków miejskich, w których eksploatowane są pojazdy

tego typu (brak emisji lokalnej cechuje także eksploatację autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi). Korzyść tą oszacowano na podstawie różnicy kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji przez autobusy

spalinowe, liczoną między wariantami inwestycyjnymi (w których część pracy eksploatacyjnej autobusów spalinowych będzie wykonywana przez autobusy zeroemisyjne) i wariantem W0.

Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2024-2043.

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w latach 2024-2043	32 318 991,31 zł	26 263 911,31 zł	29 402 722,55 zł	23 814 859,90 zł
Zmiana do W0		- 6 055 080,00 zł	- 2 916 268,75 zł	- 8 504 131,41 zł

Źródło: opracowanie własne Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Analiza została przeprowadzona w oparciu o „Niebieską Księgę – Wydanie uaktualnione 2023 – Sektor transportu publicznego w miastach, aglomeracjach i regionach”. Przeprowadzając analizę ekonomiczną, a zarazem porównawczą dwóch wariantów, przyjęto następujące założenia:

- wskaźniki efektywności ekonomicznej wyliczono metodą różnicową,
- społeczna stopa dyskontowa wynosi 3%,
- analiza została przeprowadzona w latach 2024-2043,
- wyceny kosztów i korzyści dokonano w cenach netto.

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

- skorygowane nakłady inwestycyjne oraz odtworzeniowe,
- skorygowane koszty eksploatacyjne,
- skorygowana wartość rezydualna,
- koszty ekonomiczne,
- korzyści ekonomiczne.

Wykorzystano także, współczynniki korekty w analizie ekonomicznej, które zaprezentowano w Tab. 7.4.

Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

Współczynnik korekty dla nakładów, remontów i wartości rezydualnej	Wartość współczynnika
Infrastruktura	0,83
Tabor	0,87
Koszty operacyjne	0,81

Źródło: Opracowanie własne

W celu dokonania oceny ekonomicznej wariantu wymiany taboru obliczono ekonomiczny wskaźnik efektywności:

- ekonomiczną wartością bieżącą netto (ENPV), która dla projektów efektywnych jest większa od zera,
- ekonomiczną stopę zwrotu (ERR), która dla projektów efektywnych jest

wyższa niż społeczna stopa dyskontowa na poziomie 3,0%,

- relację korzyści do kosztów (B/C), która powinna być wyższa od jedności.

Wskaźniki zostały obliczone na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowane. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy zeroemisyjne jest

nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ w każdym z analizowanych wariantów inwestycyjnych wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną, ERR przyjął wartość mniejszą od stopy dyskontowej, a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1.

Zmonetyzowane koszty z tytułu eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w docelowym wymiarze 34 autobusów przewyższającym wymagania wskazane w art. 36 i 68a uopa przewyższą poziom korzyści ekonomiczno - społecznych. Zatem osiągnięcie poziomów minimalnego udziału autobusów zeroemisyjnych zgodnie z zapisami ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, we flocie operatora komunikacji miejskiej w Wałbrzychu formalnie nie jest wymagane. Niemniej jednak, uwzględniając potencjalne korzyści finansowe, ekonomiczne i społeczne dla mieszkańców Wałbrzycha i ościennych gmin, planowane jest kontynuowanie modernizacji floty w oparciu o autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi,

ponieważ najwyższy wynik ENPV uzyskał wariant W3. Uzyskanie dofinansowania ze źródeł zewnętrznych zrekompensuje wyższe nakłady inwestycyjne w porównaniu do zakupu autobusów o napędach konwencjonalnych (np. autobusów spalinowych).

Dla poszczególnych przedsięwzięć inwestycyjnych dotyczących nabycia autobusów zeroemisyjnych będą przeprowadzane odrębne analizy kosztów i korzyści, które będą wskazywały na zasadność i słuszność inwestycji w zakresach rzeczowych mniejszych aniżeli analizowany w niniejszym dokumencie cały system komunikacji miejskiej zakładający wprowadzenie do eksploatacji docelowo 34 autobusów zeroemisyjnych. Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu z wodorowymi ogniwami typu MAXI obniży się z zakładanego w analizie poziomu 3 250 000 PLN netto do ok. 1 506 700 PLN netto.

Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	W1	W2	W3
ENPV	- 40 885 827,36 zł	- 39 705 576,34 zł	- 35 035 396,97 zł
ERR (%)	-27,8%	-28,8%	-26,3%
B/C	0,27	0,23	0,38

Źródło: Opracowanie własne

7.4. Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej

Analiza wrażliwości jest częścią analiz finansowo - ekonomicznych, w której zbadano wpływ zmian poszczególnych zmiennych (ich spadek i wzrost) na wskaźniki efektywności finansowej (FNPV/C). Do analizy przyjęto następujące czynniki wrażliwości:

- nakłady inwestycyjne +25%, 15%, -15%, -25%,
- koszty operacyjne +25%, 15%, -15%, -25%,

- wariant pesymistyczny: nakłady inwestycyjne +15% (wzrost cen autobusów elektrycznych akumulatorowych i infrastruktury), koszty operacyjne -15% (wzrost kosztów eksploatacyjnych przyczynia się do zmniejszenia korzyści z tytułu eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych).

Niniejszą analizę przeprowadzono dla wariantu W3, który jest najbardziej korzystnym wariantem

inwestycyjnym polegającym na dalszej w oparciu o autobusy z wodorowymi ogniwami elektryfikacji wałbrzyskiej komunikacji miejskiej paliwowymi.

Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
Wartość bazowa		-35 035 396,97 zł		-26,3%		0,38	
Nakłady inwestycyjne	25%	-44 643 406,68 zł	27,42%	-26,41%	0%	0,32	-15%
	15%	-40 800 202,79 zł	16,45%	-26,39%	0%	0,34	-9%
	-15%	-29 270 591,14 zł	-16,45%	-26,30%	0%	0,42	11%
	-25%	-25 427 387,26 zł	-27,42%	-26,27%	0%	0,46	21%
Koszty operacyjne	25%	-39 051 088,52 zł	11,46%	-28,27%	7%	0,35	-7%
	15%	-37 444 811,90 zł	6,88%	-27,52%	4%	0,36	-4%
	-15%	-32 625 982,04 zł	-6,88%	-25,10%	-5%	0,40	4%
	-25%	-31 019 705,42 zł	-11,46%	-24,22%	-8%	0,41	8%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		-43 209 617,73 zł	23,33%	-27,55%	5%	0,33	-13%

Źródło: Opracowanie własne

Za zmienne krytyczne uznaje się zmienne, których zmiana wartości o +/-1% powoduje zmianę wartości bazowej ENPV o co najmniej +/- 1%. W badanej analizie występują zmienne krytyczne, których zmiana wartości powoduje zmianę wartości bazowej ENPV o co najmniej

+/- 1%. W związku z powyższym wyznaczono wartości progowe dla ENPV. Zwiększenie udziału autobusów zeroemisyjnych w oparciu o kolejne autobusy wodorowe, będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 91,17%.

Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości

Badana zmienna	Wartość ENPV po zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV przy zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV=0
Nakłady inwestycyjne (+1%)	- 35 419 717,36 zł	1,10%	-91,17%
Koszty operacyjne (+1%)	- 35 196 024,63 zł	0,46%	-

Źródło: Opracowanie własne

7.5. Analiza ryzyka

Analiza ryzyka ma na celu rozpoznanie ryzyka występującego podczas wdrażania i czasu trwania projektu. W opracowaniu została wykonana jakościowa metoda analizy obejmująca: możliwe przyczyny i skutki, zmienne kluczowe, które mogą ulec zmianie, określenie

poziomu ryzyka, możliwości zarządzania czynnikiem ryzyka oraz określenie sposobów, jakimi beneficjent może zapobiegać danemu ryzyku. Niniejszą analizę sporządzono dla wariantu inwestycyjnego W3, którego wskaźnik ENPV osiągnął najwyższą wartość.

Tab. 7.8 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
Ryzyko techniczne			
R1	Bardzo wysoki popyt na autobusy o napędzie wodorowym	Zbyt duża liczba zamówień na autobusy zeroemisyjne, wynikająca z obowiązku spełnienia minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych wskazanych w <i>uepa</i> .	Opóźnienie we wdrażaniu zeroemisyjnych autobusów do ruchu w terminach wynikających z <i>uepa</i> .
R2	Opóźnienia w budowie stacji tankowania wodoru	Opóźnienie w budowie stacji tankowania wodorem może wynikać z opóźnień finansowych, projektowych i administracyjnych (decyzje, uzgodnienia, pozwolenia). Mogą również wystąpić opóźnienia ze względu na sezonowość robót budowlanych (brak możliwości prowadzenia robót w miesiącach zimowych przy bardzo niskich temperaturach).	Opóźnienie we wprowadzaniu zeroemisyjnych autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi do ruchu lub niepełna obsługa linii przez autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi (brak możliwości tankowania autobusów).
R3	Ryzyka związane z wykonawcą	Nieodpowiednie zarządzanie firmy wykonującej roboty (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.).	Wzrost ceny zeroemisyjnych autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz kosztów infrastruktury do ich utrzymania i obsługi. Opóźnienie we wprowadzaniu nowych autobusów do ruchu.
Ryzyko eksploatacyjne			
R4	Awarie stacji tankowania wodoru	Awaryjność urządzeń, w tym dystrybutorów wodoru.	W zależności od skali awarii – zastąpienie zeroemisyjnych autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi autobusami spalinowymi lub brak realizacji części kursów (brak możliwości tankowania autobusów wodorowych).
R5	Przerwa w dostawie wodoru na stację tankowania wodoru	Brak możliwości tankowania skutkujące brakiem obsługi linii komunikacji miejskiej przez autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi.	W zależności od długości przerwy w dostawie wodoru – zaburzenie harmonogramu tankowania autobusów wodorowych, albo częściowe lub całkowite zaburzenie funkcjonowania komunikacji miejskiej.
R6	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Częstsze naprawy autobusów, wyższe koszty paliwa (wodoru) i energii oraz materiałów eksploatacyjnych.	Wzrost kosztów eksploatacyjnych autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi.
R7	Ryzyko niezawodności technicznej	Wady fabryczne autobusu, napędu i pozostałych podzespołów.	Problem z realizacją obsługi linii komunikacji miejskiej autobusami z wodorowymi ogniwami paliwowymi.
R8	Wzrost cen wodoru	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach paliw i energii, cykle koniunkturalne oraz wzrost kosztów produkcji wodoru.	Wyższe koszty eksploatacyjne autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi.

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
R9	Awaryjność taboru związana z zastosowaniem nowej technologii	Problemy związane z zastosowaniem nowej technologii (brak części i podzespołów, dłuższy czas oczekiwania) oraz ze zwiększeniem problemów związanych z naprawą taboru.	Brak możliwości wykorzystania autobusu do zadań przewozowych do czasu zakończenia naprawy oraz wzrost kosztów napraw.
R10	Opóźnienia w dostawie autobusów	Zbyt duża liczba zamówień na autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi lub zaburzenie w łańcuchu dostaw do fabryki, niepozwalające producentowi na zrealizowanie zamówienia w terminie uzgodnionym w umowie	Opóźnienie we wdrażaniu autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi do ruchu w terminach wynikających z <i>uepa</i> .
R11	Uszkodzenia napędu zeroemisyjnych autobusów wodorowych	Nieodpowiednia oraz niewłaściwa eksploatacja, obsługa i serwisowanie autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi i ich obsługa, a także brak lub nieodpowiednie przeszkolenie kierowców i pracowników technicznych.	Częstsze ponoszenie kosztów wynikających z problemów z eksploatacją autobusów, z napraw i wymiany części.
Ryzyko administracyjne			
R12	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Problemy w negocjacjach lub w uzgodnieniach z dostawcą energii elektrycznej oraz brak odpowiednich decyzji do podłączenia infrastruktury stacji tankowania wodoru.	Opóźnienie we wprowadzeniu autobusów wodorowymi ogniwami paliwowymi do ruchu lub brak możliwości obsługi linii komunikacji miejskiej przez autobusy wodorowe (brak możliwości tankowania wodorem). Czasowy brak wykorzystania wybudowanej infrastruktury stacji tankowania wodoru.
R13	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	Zmiana priorytetów we wspieranej technologii – z autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi na autobusy elektryczne akumulatorowe lub zmiana w zapisach ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych.	Zaprzestanie prowadzenia projektu i zwiększona niepewność podmiotów dokonujących inwestycji w tabor zeroemisyjny.
R14	Opóźnienia w usuwaniu kolizji z istniejącymi sieciami dystrybucyjnymi	Kolidowanie istniejących sieci dystrybucyjnych z budowaną infrastrukturą stacji tankowania wodorem lub budowanymi sieciami energetycznymi do zasilania tej infrastruktury.	Opóźnienie we wdrożeniu zeroemisyjnych autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi do ruchu.
R15	Opóźnienia w realizacji procedur	Nieprawidłowości w zakresie organizacji oraz ogłaszania procedur przetargowych oraz problem z wyłonieniem dostawcy autobusów.	Opóźnienie we wdrożeniu zeroemisyjnych autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi do ruchu.
Ryzyko finansowe			
R16	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Zaprzestanie prowadzenia programów wspierających rozwój elektromobilności lub ich mocne ograniczenie w zakresie liczby nowego taboru.	Opóźnienie w realizacji lub ograniczenie zakresu projektu lub zaprzestanie jego wdrażania ze względu na poszukiwanie innych źródeł finansowania lub ich brak.

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
R17	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Wzrost popytu na zeroemisyjne autobusy wodorowe i infrastrukturę do tankowania wodorem – wzrost cen jednostkowych, a także rosnący koszt usług budowlanych.	Opóźnienie w realizacji lub ograniczenie zakresu projektu oraz zwiększenie kosztów wdrożenia całego projektu
R18	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach oraz cykle koniunkturalne, rzutujące na cenę zakupu oraz eksploatacji autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi – czynnik zewnętrzny, niezależny od Wnioskodawcy.	Opóźnienie w realizacji projektu oraz zwiększenie kosztów projektu, w tym także możliwa konieczność ograniczenia liczby kupowanych autobusów.
R19	Wzrost kosztów finansowania	Wzrost stopy procentowej i oprocentowania kredytów	Opóźnienie w realizacji oraz zwiększenie kosztów projektu lub zaprzestanie wdrażania ze względu na poszukiwanie innych źródeł finansowania lub ich brak.
Ryzyko klimatyczne i środowiskowe			
R20	Możliwość wystąpienia szkody w środowisku	Modyfikacja środowiska spowodowana budową infrastruktury do obsługi i utrzymania nowego taboru	Wystąpienie szkody w środowisku
Ryzyko popytowe			
R21	Poziom ruchu niższy, niż prognozowany	Przyspieszenie negatywnych tendencji demograficznych, starzenie się społeczeństwa, mniejsza mobilność osób starszych.	Spadek ekonomicznej opłacalności projektu.

Źródło: Opracowanie własne

Następnie oceniono skalę prawdopodobieństwa oraz siłę oddziaływania ryzyka na projekt na podstawie poniższych kryteriów.

Tab. 7.9 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: Opracowanie własne

Tab. 7.10 Siła oddziaływania na projekt

Siła oddziaływania na projekt	
Opis	Wartość punktowa
Brak wpływu na dobrobyt społeczny, nawet bez podejmowania działań zaradczych	1
Mały wpływ na dobrobyt społeczny, mały wpływ na efekty finansowe projektu – działania zaradcze i korygujące są jednak potrzebne.	2
Umiarkowany wpływ na dobrobyt społeczny, głównie negatywne efekty finansowe nawet w średnim lub długim terminie.	3


Siła oddziaływania na projekt	
Opis	Wartość punktowa
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.	4
Poziom katastroficzny: Fiasko projektu, zdarzenie może wywołać całkowity brak realizacji celu projektu, główne efekty projektu nie będą uzyskane w średnim i długim terminie	5



Źródło: Opracowanie własne

Tab. 7.11 Macierz oceny ryzyka

		Siła oddziaływania				
		1	2	3	4	5
Prawdopodobieństwo	A					R13; R16
	B		R14; R15	R18, R20	R5; R12	
	C		R1; R2; R10	R3; R4; R6; R8;R19	R7; R9; R11; R21	
	D			R17		
	E					

Legenda:

 Niski poziom ryzyka
 Średni poziom ryzyka

 Wysoki poziom ryzyka
 Bardzo wysoki poziom

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnym kroku zaproponowano sposób zapobiegania danemu ryzyku oraz określono wpływ podmiotu wdrażającego projekt na ryzyko.

Tab. 7.12 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
Ryzyko techniczne			
R1	Zbyt duży popyt na zeroemisyjne autobusy wodorowe	Założenie dłuższego czasu produkcji autobusu lub wcześniejsze rozpięcie przetargu, wprowadzenie kar umownych dla producenta.	średni
R2	Opóźnienia w budowie stacji tankowania wodoru	Założenie dłuższego czasu produkcji ładówek oraz budowy w okresie letnim, wprowadzenie kar umownych dla wykonawcy, odpowiednie zaplanowanie inwestycji.	średni
R3	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.)	Wybór wykonawcy, który może się wykazać realizacją podobnych inwestycji i posiada stabilną sytuację finansową i kadrową. Zabezpieczenie materiałów przez wykonawcę u kontrahentów na wypadek problemów z dostępnością komponentów.	średni
Ryzyko eksploatacyjne			
R4	Awarie stacji tankowania wodoru	Przeszkolenie pracowników, wpisanie wymogu minimalnego wskaźnika niezawodności urządzenia.	średni
R5	Przerwa w dostawie wodoru na stację tankowania wodoru	Możliwość zlokalizowania dodatkowych zbiorników rezerwowych.	niski
R6	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen oraz ich zmiany.	średni

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
R7	Ryzyko niezawodności technicznej	Wykupienie gwarancji na autobusy od producenta. Właściwe serwisowanie oraz egzekwowanie od producenta usunięcia powstałych wad fabrycznych autobusu.	wysoki
R8	Wzrost cen wodoru	Podpisywanie długookresowych kontraktów na dostawę energii, w tym z gwarancją utrzymania cen lub ustaleniem zakresu zmiany cen.	wysoki
R9	Awaryjność taboru związana z zastosowaniem nowej technologii	Zabezpieczenie dostaw części zamiennych i podzespołów oraz utrzymanie na stanie własnego serwisu określonego minimum podstawowych części i podzespołów. Objęcie autobusów gwarancją producenta.	średni
R10	Opóźnienia w dostawie autobusów	Wydłużenie czasu realizacji zamówienia.	średni
R11	Uszkodzenia napędu zeroemisyjnych autobusów wodorowych	Objęcie pojazdów autobusów producenta. Wysoki poziom obsługi i serwisowania autobusów oraz szkolenie kierowców i pracowników technicznych.	średni
Ryzyko administracyjne			
R12	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Przyspieszenie negocjacji z dystrybutorem energii, odpowiednie zaplanowanie inwestycji, w tym pod kątem możliwego rzeczywistego terminu uruchomienia stacji tankowania wodoru.	średni
R13	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	brak	niski
R14	Opóźnienia w usuwaniu kolizji z sieciami dystrybucyjnymi	Aktualizowanie map z sieciami dystrybucyjnymi. Zaplanowanie rezerwy czasowej na ewentualne usuwanie kolizji.	średni
R15	Opóźnienia w realizacji procedur	Dostosowanie procedur przetargowych tak, aby uniknąć konieczności wydłużania postępowania przetargowego.	średni
Ryzyko finansowe			
R16	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Finansowanie inwestycji w całości ze środków własnych.	niski
R17	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Założenie wyższych nakładów inwestycyjnych przy prowadzeniu postępowania.	średni
R18	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen.	niski
R19	Wzrost kosztów finansowania	Pozyskiwanie finansowania o stałym oprocentowaniu.	średni
Ryzyko klimatyczne			
R20	Możliwość wystąpienia szkody w środowisku	Zapobieganie znaczącej modyfikacji środowiska przyrodniczego na obszarze inwestycji oraz w okolicach infrastruktury.	niski
Ryzyko popytowe			
R21	Poziom ruchu niższy niż prognozowany	Realizacja kursów zgodnie z zaplanowanym rozkładem jazdy. Dbanie o stan techniczny autobusów oraz wykonywanie bieżących przeglądów i napraw, tak aby możliwe było wykonanie zaplanowanej pracy eksploatacyjnej.	średni

Źródło: Opracowanie własne

8. Rekomendacje w zakresie wymiany taboru, podsumowanie i wnioski

Wymiana taboru wałbrzyskiej komunikacji zbiorowej jest działaniem wynikającym z *Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu dla Wałbrzycha*, w którym założono realizację celu strategicznego 2 „Dostosowanie systemu komunikacji publicznej do skutków zmian klimatu [...]” poprzez m.in. „[...] wprowadzenie elektrycznych autobusów miejskich”.

Funkcjonowanie komunikacji miejskiej jest permanentnym procesem, wymagającym ciągłego monitorowania i udoskonalania prowadzącego do podnoszenia jakości świadczonych usług. Z uwagi na naturę zużywających się w wyniku eksploatacji pojazdów, konieczna jest systematyczna wymiana autobusów, najlepiej w okresach przyjętych w niniejszym dokumencie, tak aby odpowiadały one aktualnym potrzebom i oczekiwaniom pasażerów. Stale rosnące koszty przewozów przy coraz większych niedoborach kierowców w zasadzie w całej Unii Europejskiej wymuszają, aby komunikacja miejska funkcjonowała sprawnie i efektywnie. Wprowadzanie do eksploatacji wysoce wartościowych autobusów zeroemisyjnych przemawia za nadawaniem transportowi publicznej większego znaczenia w systemie komunikacyjnym. Jednym ze skutecznych rozwiązań jest wprowadzanie skutecznego priorytetu w ruchu, którego swoistym beneficjentem dzięki różnym sposobom, mogą być m.in. poddane niniejszej analizie autobusy zeroemisyjne. Finalnie jednak, największe korzyści mogą objąć mieszkańców, którym zapewnione mogłyby zostać szybsze, bardziej punktualne i niezawodne przewozy w komunikacji miejskiej.

Każdy autobus wprowadzany do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu powinien spełniać zalecenia określone w *Planie*

zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla gminy Wałbrzych. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, nowe autobusy przeznaczone do świadczenia usług w wałbrzyskiej komunikacji miejskiej powinny co najmniej:

- spełniać aktualne wymagania środowiskowe,
- być nowoczesne w zakresie rozwiązań w układach napędowych i hamulcowych,
- mieć estetyczny wygląd i być wykonane z trudnych do zniszczenia materiałów (dotyczy to szczególnie wnętrza autobusów),
- posiadać niską podłogę – niskopodłogowe (LF) na całej długości autobusu i niskowejściowe (LE) z niską podłogą w przestrzeni przeznaczonej dla wózków inwalidzkich i dziecięcych,
- przykłąk w autobusach, uruchamiany przez kierowcę, ułatwiający wejście osobom o ograniczonej mobilności oraz rampę wjazdową ułatwiająca wejście osobom niepełnosprawnym na wózkach inwalidzkich lub osobom z wózkami dziecięcymi – jako obowiązujący standard,
- posiadać oznakowanie i wydzielanie miejsc w autobusie dla osób niepełnosprawnych, w tym miejsc na wózek inwalidzki lub wózek dziecięcy, wraz z dostępem do przycisków sygnalizacyjnych,
- posiadać czytelne oznakowanie numeru oraz trasy linii na zewnątrz i wewnątrz autobusów, w tym dodatkowe boczne (po prawej stronie) oznakowanie numeru linii za I drzwiami na wysokości wzroku oraz dodatkowo

także po lewej stronie autobusu za kabiną kierowcy,

- posiadać głosową i elektroniczną zapowiedź kolejnego przystanku w każdym nowym oraz kupowanym używanym autobusie,
- posiadać zewnętrzne informacje głosowe obejmujące oznaczenie linii i kierunek jazdy,
- posiadać przyciski sygnalizacyjne podświetlane oraz opisane alfabetem Braille'a
- posiadać system lokalizacji GPS oraz monitoring przestrzeni pasażerskiej,
- posiadać klimatyzację przestrzeni pasażerskiej.

Uwzględniając znaczny koszt wymiany taboru, należy przyjąć, że w ramach służb całodziennych oraz w dni wolne od pracy powinien być eksploatowany nowy, ekologiczny tabor, natomiast starszy w ograniczonym zakresie – jako służby szczytowe i jednozmianowe oraz jako rezerwa.

Nowe autobusy powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane autobusy we flocie, wciąż gwarantując dopasowanie wielkości pojazdów do popytu efektywnego na przewozy w komunikacji miejskiej. Rekomendowane jest utrzymanie zróżnicowania klas posiadanych autobusów, w zbliżonej strukturze względem obecnej floty operatora.

Sukcesywna wymiana taboru wykorzystywanego do świadczenia usług komunikacji miejskiej przemawiać będzie za wprowadzaniem usprawnień w ruchu dla pojazdów transportu publicznego, tak aby nowe pojazdy sprawnie przewoziły jak największą liczbę pasażerów bez strat czasu w zatorach drogowych.

Miejski Plan Adaptacji do zmian klimatu dla Wałbrzycha wyznacza katalog działań

planowanych przez Miasto Wałbrzych do wdrażania elektromobilności, wynikającego ze strategicznych dokumentów krajowych, a także ustawy o *elektromobilności i paliwach alternatywnych*. W treści dokumentu zawarto cel strategiczny związany z transportem publicznym – rozwój zeroemisyjnej komunikacji miejskiej:

- w ramach celu 1 budowa kolektorów fotowoltaicznych do zasilania oświetlenia lub autobusów elektrycznych,
- w ramach celu 2 budowa centrum przesiadkowego oraz poprawę systemów zarządzania ruchem,
- wprowadzenie autobusów elektrycznych.

W kolejnych latach wraz z rozwojem technologii i spadkiem cen autobusów zeroemisyjnych wynik następnej analizy kosztów i korzyści może wskazywać na zasadność wprowadzenia ich do eksploatacji, niezależnie od zastosowanych rozwiązań technicznych.

Gmina Wałbrzych deklaruje gotowość do wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych, przy uzyskaniu środków zewnętrznych na ten cel. Realizacja zakupu powinna zostać poprzedzona odpowiednią analizą wykonalności inwestycji, w tym np. analizą kosztów i korzyści sporządzoną wyłącznie w zakresie np. zakresu rzeczowego projektu, w przeciwieństwie do niniejszego dokumentu, w którym analizowany jest kompleksowo cały system komunikacji miejskiej w Wałbrzychu i okolicznych miejscowościach.

W zależności od potrzeb i uwarunkowań zewnętrznych, dopuszcza się nakłady inwestycyjne na zakup pojazdów zeroemisyjnych w latach innych, aniżeli w terminach wskazanych w AKK.

9. Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania

Na podstawie art. 9 ustawy o *publicznym transporcie zbiorowym* gminy, którym powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia międzygminnego, których obszar liczy łącznie co najmniej 80 000 mieszkańców mają obowiązek sporządzenia planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 r. w sprawie *szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego* (Dz. U. z 2011 nr 117 poz. 684) w paragrafie 4 określa szczegółowo zawartość planu transportowego. Wymagania zostały

przedstawione w poniższej tabeli razem ze wskazaniami dotyczącymi konieczności aktualizacji planu.

Wyniki niniejszej analizy kosztów i korzyści wskazują, że wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu ekonomicznie nie jest zasadne, niemniej jednak przewidziano aktualizację „Planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Wałbrzych (...)”. Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie zostały przedstawiony w Tab. 9.1.

Tab. 9.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym

Zakres	Konieczność aktualizacji
Ocena i prognoza potrzeb przewozowych z uwzględnieniem w szczególności:	
lokalizacji obiektów użyteczności publicznej	Nie wymaga aktualizacji
gęstości zaludnienia obszaru objętego planem transportowym,	Nie wymaga aktualizacji
zapewnienia dostępu osobom niepełnosprawnym oraz osobom o ograniczonej zdolności ruchowej do publicznego transportu zbiorowego;	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane finansowanie usług przewozowych, w tym źródła i formy finansowania	Nie wymaga aktualizacji
Preferencje dotyczące wyboru rodzaju środków transportu, w szczególności propozycje dotyczące wyboru rodzaju tych środków, uwzględniając infrastrukturę transportową znajdującą się na obszarze objętym planem transportowym	Nie wymaga aktualizacji
Pożądany standard usług przewozowych w przewozach o charakterze użyteczności publicznej, poprzez określenie standardu przewozów i jakości usług przewozowych, uwzględniając potrzebę zapewnienia w szczególności:	
ochrony środowiska naturalnego,	Nie wymaga aktualizacji
dostępu osób niepełnosprawnych oraz osób o ograniczonej zdolności ruchowej do publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywany sposób organizowania systemu informacji dla pasażera, w tym uwzględniając potrzeby pasażerów związane z dostępem do informacji w zakresie:	
godzin przyjazdu lub odjazdu środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
obowiązujących opłat za przejazd	Nie wymaga aktualizacji

Zakres	Konieczność aktualizacji
obowiązujących uprawnień do ulgowych przejazdów środkami publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
węzłów przesiadkowych	Nie wymaga aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	<p>Dotyczy rozdziału 5.5. Wykorzystanie autobusów zeroemisyjnych</p> <p>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Wałbrzychu, na których powinny być eksploatowane pojazdy zeroemisyjne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ całościowo elektryfikowane linie: C, 4, 5, 9, 11, 19 ■ częściowo elektryfikowane linie: A, EX, 2, 8, 12, 18 ■ uzupełniająco elektryfikowane linie: wszystkie pozostałe linie w sieci komunikacyjnej wcześniej niewymienione <p>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</p>
geograficzne położenie stacji gazu ziemnego	Nie wymaga uwzględnienia
geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zwanej dalej „infrastrukturą ładowania”	Nie wymaga uwzględnienia
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	Nie wymaga uwzględnienia – kontynuacja elektryfikacji odbywać się będzie w oparciu o autobusy z wodorowymi z ogniwami paliwowymi
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

10. Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

Wskaźnik luki finansowej wyniósł 100% w wariantcie W3, co oznacza, że niezbędne jest uzyskanie dofinansowania zewnętrznego przy inwestycjach polegających na zakupie autobusów zeroemisyjnych.

W perspektywie finansowej 2021 – 2027 źródłem finansowania mogą być programy operacyjne ze środków Unii Europejskiej. W Umowie Partnerstwa dla realizacji Polityki Spójności 2021-2027 w Polsce w Celu Priorytetowym 2. „Bardziej przyjazna dla środowiska niskoemisyjna Europa” w obszarze transport niskoemisyjny i mobilność miejska przewidziano m.in. następujące działania:

- wsparcie systemów publicznego transportu zbiorowego w ramach miast i ich obszarów funkcjonalnych, w tym dalsza rozbudowa systemu metra, inwestycje w infrastrukturę i nowoczesny tabor szynowy oraz nisko i **zeroemisyjny tabor kołowy (energia elektryczna, wodór, hybrydy, LNG, CNG)**,
- **budowa i rozbudowa infrastruktury do ładowania i tankowania zeroemisyjnych** komunikacji publicznej, a także rozwój systemów autonomicznych w transporcie miejskim;
- podnoszenie świadomości mieszkańców, pracodawców i władz samorządowych wszystkich szczebli w zakresie propagowania korzystania z niskoemisyjnego transportu zbiorowego i ruchu niezmotoryzowanego.



Rys. 10.1 Autobus MAXI wałbrzyskiej komunikacji miejskiej oczekujący na podjęcie kursu z Dworca Głównego.

Źródło: Zbiory własne

Do 2029 r. środki na zakup autobusów zeroemisyjnych mogą pochodzić także ze środków krajowych w ramach wieloletniego zobowiązania Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, które zastąpiło zlikwidowany 30.09.2020 r.³⁷ Fundusz Niskoemisyjnego Transportu. Maksymalny limit wydatków z budżetu państwa w latach 2022 – 2029 na finansowanie tegoż zobowiązania w postaci docelowej dla NFOŚiGW wynosi 4 175 300 000 zł, przy czym wsparcie na zakup autobusów zeroemisyjnych oraz infrastruktury ich ładowania jest jednym z wielu obszarów potencjalnej alokacji (z zobowiązania finansowane mogą być także inwestycje w budowę stacji dystrybucji lub sprzedaży CNG, LNG, wodoru oraz dofinansowanie zakupu zeroemisyjnych pojazdów M1, czy współfinansowanie FRPA³⁸). Jako dotąd, przeprowadzone zostały 3 nabory wniosków w programie priorytetowym Zielony Transport

37 Ustawa z dnia 14 sierpnia 2020 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2020 r., poz. 1565)

38 Art. 401 ust. 9c pkt 1-12 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2020 r., poz. 1219 z późn. zm.)

Publiczny, przy czym ostatni z nich z 2023 r. nie został jeszcze rozstrzygnięty.

Budżet na realizację naboru wyniósł do 480 435 670,00 zł, w tym:

- dla bezzwrotnych form dofinansowania (dotacji) – do 276 679 011,00 zł, docelowo 2 055 268 688,00 zł (pod warunkiem uruchomienia środków w ramach Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO)),
- dla zwrotnych form dofinansowania (pożyczek) – do 203 756 659,00 zł.

Łączna kwota wnioskowanych dotacji ze wszystkich złożonych 79 wniosków wyniosła 2 720 277 110,00 zł, przekraczając tym samym dostępną wówczas alokację. Zawarcie umów o dofinansowanie powyżej kwoty budżetu

naboru (do 276 679 011,00 zł) uzależnione jest od uruchomienia środków w ramach KPO.

Subregion Wałbrzyski został uznany za jeden z nielicznych obszarów w Polsce kwalifikujących się do korzystania ze wsparcia Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji.

W dokumencie stanowiących bazę do wykorzystania FST pn. „*Społeczny Terytorialny Plan Sprawiedliwej Transformacji Subregionu Wałbrzyskiego*” zdefiniowany został m.in. Program kluczowy dla powodzenia transformacji pn. „*Program rozwoju publicznego transportu zbiorowego*”, zakładający wprowadzenie do eksploatacji taboru bezemisyjnego i niskoemisyjnego (ok. 60 autobusów wyposażonych w wodorowe ogniwa paliwowe). Przyjęto, iż oprócz źródeł takich jak środki własne, KPO, RPO WD 21-27, zadanie będzie finansowane również z FST.

11. Spis tabel

Tab. 2.1 Liczba ludności w latach 2014– 2023 w analizowanym obszarze.	15
Tab. 3.1 Podstawowe wielkości wykonanych zadań w lokalnym transporcie zbiorowym w latach 2012–2024 i planowane na rok 2024 i 2025	17
Tab. 3.2 Wykaz linii komunikacji miejskiej organizowanych przez Gminę Wałbrzych.....	19
Tab. 3.3 Struktura autobusów według typu i norm spalania.....	21
Tab. 3.4 Struktura autobusów według wieku i typu w 2024 r.	21
Tab. 3.5 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2025 r.	22
Tab. 3.6 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2026 r.	22
Tab. 3.7 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2028 r.	22
Tab. 3.8 Symulacja struktury autobusów według wieku i typu w styczniu 2030 r.	22
Tab. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich autobusach eksploatowanych przez operatora	23
Tab. 3.10 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz jego wykorzystania dla dnia roboczego	24
Tab. 3.11 Linie autobusowe między powiatowe i pozamiejskie przebiegające przez Wałbrzych.....	25
Tab. 3.12 Liczba par połączeń kolejowych kursujących na obszarze dokumentu	27
Tab. 4.1 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach według obecnego stanu taboru	28
Tab. 4.2 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym.	31
Tab. 4.3. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	32
Tab. 4.4 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	33
Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów wodorowych polskich miast	34
Tab. 4.6 Liczba brygad w modelu opartym o pojazdy elektryczne wodorowe (dla 2028 r.).....	35
Tab. 4.7 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych wodorowych.....	35
Tab. 4.8 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym	35
Tab. 4.9 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	38
Tab. 4.10 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.).....	39
Tab. 4.11 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	40
Tab. 4.12 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie autobusów metodą plug-in i ładowarkę pantografową.....	44
Tab. 4.13 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie autobusów metodą plug-in i za pomocą pantografu	44
Tab. 4.14 Koszty netto zakupu trolejbusów	47
Tab. 4.15 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów	48
Tab. 4.16 Liczba brygad w modelu opartym o trolejbusy	48
Tab. 4.17 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział pojazdów elektrycznych w modelu opartym o trolejbusy	48
Tab. 4.18 Uśrednione koszty zakupu autobusów o napędzie konwencjonalnym	50
Tab. 4.19 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom.....	51
Tab. 4.20 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych.....	51

Tab. 4.21 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Wałbrzychu.	54
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1	56
Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2	56
Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3	56
Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych – wszystkie warianty inwestycyjne.....	57
Tab. 5.5 Okres eksploatacji środków trwałych	57
Tab. 5.6 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach objętych analizą.	58
Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach	58
Tab. 5.8 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	59
Tab. 5.9 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych	62
Tab. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.	62
Tab. 6.1 Roczne zestawienia emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery oraz gazów cieplarnianych w analizowanych wariantach [w Mg].....	66
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2024-2043.....	68
Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2024-2043	70
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2024-2043.	71
Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej	71
Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	72
Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy	73
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości	73
Tab. 7.8 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki	74
Tab. 7.9 Skala prawdopodobieństwa	76
Tab. 7.10 Siła oddziaływania na projekt.....	76
Tab. 7.11 Macierz oceny ryzyka.....	77
Tab. 7.12 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	77
Tab. 9.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym	81

12. Spis rysunków

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Opolu w trakcie szybkiego ładowania ze stacji ładowania pantografowego	5
Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Stalowej Woli.....	6
Rys. 1.3 Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18 w Aachen, Niemcy	6
Rys. 1.4 Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej organizowanej przez Wałbrzych.....	7
Rys. 1.5 Przykład oznakowania autobusu zeroemisyjnego, Częstochowa	8
Rys. 1.6 Przykład oznakowanie autobusu zeroemisyjnego z tyłu, Wrocław	8
Rys. 1.7 Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18 na stacji szybkiego ładowania w trakcie postoju wyrównawczego w Amsterdamie, Holandia	10
Rys. 1.8 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na stacji szybkiego ładowania na pętli w Świdnicy	10
Rys. 1.9 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi MAXI w Poznaniu.....	11
Rys. 3.1 Zmiany w podstawowych parametrach zadań przewozowych w latach 2012-2023	18
Rys. 4.1 Autobus MAXI z wodorowymi ogniwami paliwowymi.....	29
Rys. 4.2 Autobus MAXI z wodorowymi ogniwami paliwowymi w Seulu, Korea Południowa	30
Rys. 4.3 Autobus z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI w Koninie	33
Rys. 4.4 Autobus MIDI elektryczny akumulatorowy w ławie.....	37
Rys. 4.5 Autobus MEGA18 elektryczny akumulatorowy MAXI w Bern, Szwajcaria	37
Rys. 4.6 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Gdańsku	37
Rys. 4.7 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI podczas szybkiego ładowania, Nicea, Francja	38
Rys. 4.8 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na ciągu pieszo-jezdnym w Düsseldorf, Niemcy	38
Rys. 4.9 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MAXI z terenowej ładowarki typu plug-in zlokalizowanej przy dworcu kolejowym w Jeleniej Górze	39
Rys. 4.10 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MEGA18 z ładowarki pantografowej we Wrocławiu	40
Rys. 4.11 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek	42
Rys. 4.12 Rozkład liczby mieszkańców w obrębie 500 m od linii objętych planowaną elektryfikacją.	43
Rys. 4.13 Trolejbus MAXI w Lyon, Francja.....	45
Rys. 4.14 Trolejbus MEGA25 w Zürich, Szwajcaria	45
Rys. 4.15 Trolejbus MEGA18 w Ústí nad Labem, Czechy.....	46
Rys. 4.16 Trolejbus typu MAXI w Lublinie	46
Rys. 4.17 Symulacja sieci trolejbusowej dla spełnienia warunków z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych	49
Rys. 4.18 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych.....	52
Rys. 4.19 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK.....	52
Rys. 6.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Berlinie, Niemcy.....	65
Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na stacji szybkiego ładowania w Gdyni	69
Rys. 10.1 Autobus MAXI wałbrzyskiej komunikacji miejskiej oczekujący na podjęcie kursu z Dworca Głównego.....	83