

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych dla Miasta Jeleniej Góry



Wrocław - Jelenia Góra
2021

TRAKO
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	Cel analizy	5
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	6
2	Uwarunkowania techniczne i prawne	8
2.1	Uwarunkowania prawne	8
2.2	Uwarunkowania techniczne	10
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej	13
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	13
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych	13
3.1.2	Obecny układ sieci	14
3.1.3	Koszty eksploatacyjne	20
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy	21
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	21
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane	21
3.2.2	Normy emisji spalin	22
3.2.3	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru.....	23
3.2.4	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych	24
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	25
3.3.1	Wskaźnik wykorzystania taboru.....	26
3.3.2	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzm przez brygady	26
3.3.3	Analiza rozkładów jazdy	26
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych.....	29
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	29
4.1.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	30
4.1.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	31
4.1.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów	32
4.1.5	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Jeleniej Górze.....	33
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	33
4.2.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym.....	33
4.2.2	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	35
4.2.3	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in.....	36
4.2.4	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami typu „plug-in” i za pomocą pantografu	36

4.2.5	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi.....	37
4.3	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów	40
4.3.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów	40
4.3.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	41
4.3.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	42
4.3.4	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Jeleniej Górze.....	43
4.4	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	46
4.5	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	46
5	Analiza finansowa.....	50
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej	50
5.2	Nakłady inwestycyjne	50
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych	51
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych	53
5.5	Wartość rezydualna	54
5.6	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru.....	55
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi	56
7	Analiza społeczno-ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji	59
7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym	59
7.2	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym	60
7.3	Inne korzyści zewnętrzne	63
7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej	64
7.5	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej	66
8	Analiza ryzyka.....	67
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru	73
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania	75
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych.....	77

1 Cel analizy

Niniejszy dokument został sporządzony w celu określenia realnych kosztów i korzyści wynikających z eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze. Opracowanie zostało wykonane przede wszystkim w oparciu o ustalenia płynące z treści zapisów Ustawy z dnia 11 stycznia 2018r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r., poz. 110) oraz niżej wymienionych aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U. z 2021 r., poz. 1371 z późn. zm.),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.).

Ponadto opracowanie sporządzono zgodnie z niżej wymienionymi dokumentami:

- „Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach” Nowa edycja, Jaspers, sierpień 2015 r.,
- „Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych, współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej. Vademecum Beneficjenta”, CUPT, 2016 r.,
- „Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020”, opracowanie Komisja Europejska, 2014 r.,
- „Najlepsze praktyki w analizach kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków unijnych”, CUPT, 2014 r.,
- „Wytyczne w zakresie zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym projektów generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020”,
- „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.



Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie
Źródło: Zbiory własne

W pierwszych rozdziałach analizy 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 Jeleniej Górze.

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 i hybrydowe. W końcowej części opracowania przedstawiono analizę ryzyka, rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze oraz wskazano potencjalne źródła finansowania inwestycji w tabor zeroemisyjny.



Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern

Źródło: Zbiory własne

1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- **AKK** – analiza kosztów i korzyści,
- **BCR, B/C** – (ang. benefit cost ratio) wskaźnik korzyści do kosztów,
- **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,
- **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,
- **HVAC** – (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*) ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja,
- **IMC** – (ang. In Motion Charging) ładowanie w trakcie jazdy pojazdu,
- **LNG** – (ang. liquefied natural gas) ciekły gaz ziemny,
- **LPG** – (ang. liquefied petroleum gas) ciekła 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. 12 metrów,
- **MEGA15** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 15 metrów,
- **MEGA18** – autobus dwuczłonowy o długości ok. 18 metrów,
- **MZK** – Miejski Zakład Komunikacyjny sp. z o.o. w Jeleniej Górze,
- **NMC** – (ang. akumulatory litowo-jonowe 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 eksploatacyjna** – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich i długości przerw między kursowych,
- **Prędkość komunikacyjna** – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich,
- **uepa** – Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r., poz. 110),
- **W0** – wariant bazowy,
- **W1** – 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,
- **Ve** – prędkość eksploatacyjna (uwzględnia postoje na pętach końcowych),
- **Vk** – prędkość komunikacyjna (wynikająca wyłącznie z realizacji przewozów).

2 Uwarunkowania techniczne i prawne

2.1 Uwarunkowania prawne

Rozwój elektromobilności w Polsce wspierany jest przez Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r., poz. 110), której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w ustawie definicja autobusu zeroemisyjnego precyzuje ten typ pojazdu jako autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach 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 (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.) oraz trolejbus¹. Analizując ustalenia Ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, w której wskazano, że do grona tych substancji należą m.in. tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), benzo(a)piren, to za autobusy zeroemisyjne można uznać wyłącznie:

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

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



Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego

Źródło: Zbiory własne

¹ Art. 2 ust. 1 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r. r., poz. 110 z późn. zm.).

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, gdyż każda jednostka samorządu terytorialnego licząca co najmniej 50 000 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 udziału na poziomie 30% ma być osiągnięte etapowo³:

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

Wskazane wymagane minimalne udziały uznaje się za odnoszące się wprost do sumarycznej liczby pojazdów przeznaczanych wyłącznie lub częściowo do obsługi przewozów w ramach danej 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 jednostek samorządu terytorialnego, sporządza co 36 miesięcy analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, przy czym pierwszą analizę należało opracować w terminie do 31 grudnia 2018 r⁴.

Miasto Jelenia Góra z liczbą mieszkańców 78 778⁵, pełniące 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 i 3 w Dziale III 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 (Dz. U. z 2021 r., poz. 247).

Dokument ten został poddany do konsultacji społecznych w terminie od 14.05.2021 r. do 05.07.2021 r. Do treści dokumentu nie zgłoszono żadnych uwag i wniosków.

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

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

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

⁴ Ibidem, art. 72.

⁵ Dane według stanu na dzień 30.06.2020 r., źródło: <https://bdl.stat.gov.pl>, dostęp 06.04.2021 r.

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

- ministrowi właściwemu do spraw energii – obecnie Ministrowi Klimatu i Środowiska,
- ministrowi właściwemu do spraw gospodarki – obecnie Ministrowi Rozwoju, Pracy i Technologii,
- ministrowi właściwemu do spraw środowiska – aktualnie Ministrowi Klimatu i Środowiska.

Jeżeli wyniki analizy 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.

2.2 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.

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”).



Rys. 2.2 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

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 stosowane akumulatory pozwalają na wykonanie maksymalnie do 150 - 200 km na jednym ładowaniu autobusu, przez co rozwijają 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. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania 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 nawet do 300 – 400 km dziennie.

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

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



Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi

Źródło: Travelar, <https://commons.wikimedia.org/wiki/>, dostęp: 23.03.2021 r.

Eksploracja autobusów napędzanych wodorem wiąże się z koniecznością budowy odpowiednich stacji do ich tankowania. Jako że obecnie na terenie Polski nie ma stacji tankowania wodorem, niezbędnym do zasilania ogniw paliwowych, jak i nie jest prowadzona dystrybucja czystego wodoru na potrzeby transportowe.

Trolejbusy są swego rodzaju hybrydą pomiędzy autobusem i tramwajem. Tradycyjne pojazdy 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, gdyż 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 pętach, jak ma to miejsce w przypadku pojazdów poruszających się wyłącznie na zasilaniu bateryjnym. Rozszerza to możliwości zastosowania tego typu pojazdów, 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.

3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

3.1.1 Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych

Obecnie obowiązująca umowa pomiędzy organizatorem, a operatorem (Miejski Zakład Komunikacyjny sp. z o.o. w Jeleniej Górze zwany dalej MZK Jelenia Góra) została zawarta w dniu 30.09.2019 r. jako umowa wykonawcza o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego z 10-letnim okresem obowiązywania (do 30.09.2029 r.). W umowie mają zastosowanie przepisy Rozporządzenia (WE) 1370/2007 oraz ustawy o publicznym transporcie zbiorowym. Umowa uprawnia organizatora do:

- tworzenia polityki transportowej,
- kontrolowania jakości wykonywanych usług,
- kontroli udostępnionych składników majątkowych,
- proponowania zmian w zakresie świadczonych usług,
- w przypadku zmian organizacji ruchu kołowego mających wpływ na usługi umowy, związanych m.in. z remontami, organizator ma prawo zmienić charakterystykę przewozową,
- weryfikacji liczby wykonywanych wozokilometrów oraz należnej rekompensaty operatorowi,
- szczegółowej rocznej weryfikacji rozliczenia rekompensaty w oparciu o dane finansowo – analityczne na podstawie sprawozdań finansowych i weryfikacji biegłego rewidenta.

W przypadku zdarzeń losowych (np. awarii autobusu) dopuszcza się czasowo inny autobus zastępczy do wykonania usług z jednoczesnym powiadomieniem organizatora. Według umowy pojazdy powinny być wyposażone w:

- wydzielone miejsce na wózek dziecięcy lub inwalidzki z przypisanym miejscem siedzącym oraz rampą wraz z przyciskami sygnalizacyjnymi,
- oświetlenie wnętrza pojazdu umożliwiające przygaszenie w przedniej części pojazdu dla poprawy widoczności kierowcy, pojazdy fabrycznie nowe dodatkowy wymóg niskiego zużycia energii,
- antypoślizgową powierzchnię podłogi,
- minimum 31 miejsc dla pasażerów (stojących oraz siedzących),
- przyciski stop sygnalizujące potrzebę zatrzymania przy każdym drzwiach i miejscu dla osoby niepełnosprawnej z sygnalizacją dźwiękową i świetlną dla kierowcy,
- funkcję przykłąku autobusu (oprócz pojazdów klasy mini),
- kontrastową kolorystykę podłogi w strefach wydzielonych,
- siedzenia z miękką tapicerką lub wkładką tapicerską,
- urządzenia do wentylacji i ogrzewania pojazdu zapewniające minimalną temperaturę w pojeździe na poziomie 5°C z regulacją oddzielną dla kierowcy i przestrzeni pasażerskiej (dla pojazdów klasy mini bez rozdziału),
- dla pojazdów fabrycznie nowych wymagana jest co najmniej klimatyzacja całopojazdowa, w przestrzeni pasażerskiej włączana automatycznie przy temperaturze powyżej 24°C lub przez kierowcę,

- dla autobusów bez klimatyzacji okna przesuwne lub uchylne, gdzie minimalna powierzchnia otwarcia to 20% powierzchni całkowitej okna,
- urządzenia do kasowania biletów – minimum tyle samo, ile drzwi, co najmniej 1 dwufunkcyjny,
- dostosowanie kabiny kierowcy do możliwości sprzedaży biletów,
- automat biletowy min. 1 sztuka (dla pojazdów klasy MEGA15 i MEGA18 2 sztuki),
- system lokalizacji GPS i łączności dyspozytorskiej,
- monitoring wizyjny,
- zewnętrzna sygnalizacja dźwiękowa podczas cofania,
- w pojazdach fabrycznie nowych dodatkowo ładowarki USB, głosowa informacja pasażerska,
- bramki do liczenia pasażerów w wybranych pojazdach oraz fabrycznie nowych,
- umieszczenie w widocznym miejscu informacji porządkowych i komunikatów dla pasażerów, w tym piktogramów,
- tablice kierunkowe,
- odpowiednie oznakowanie – logo operatora, nr boczny oraz kolorystykę pojazdów.

Realizując umowę operator jest zobowiązany do:

- świadczenia usług przewozowych zgodnie z warunkami umowy,
- utrzymania jakości usług spełniającej Standardy Jakości,
- zapewnienia wszelkich niezbędnych dokumentów,
- utrzymania autobusów i wszelkich systemów oraz urządzeń w należytym stanie technicznym,
- sprawowanie kontroli i nadzoru ruchu wraz z koordynacją,
- prowadzenia działań marketingowych i promocyjnych w zakresie komunikacji miejskiej,
- dostarczania raportów zgodnych z umową oraz innych na wniosek organizatora,
- monitorowania i zarządzania tabliczkami informacji pasażerskich,
- współdziałania z organizatorem w celu podnoszenia jakości usług,
- przekazania sprawozdania finansowego w podziale na część powierzoną w ramach umowy oraz pozostałą.

Umowa nie reguluje stosowanego napędu w pojazdach, ale narzuca, by pojazdy spełniały określoną normę czystości spalin.

3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze składa się z 28 linii komunikacyjnych, wśród których można wyróżnić:

- według kryterium przestrzennego:
 - 15 linii miejskich wewnątrz Jeleniej Góry: 6, 7, 12, 13, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 26, N1, N2,
 - 1 linię miejską wewnątrz Piechowic: 29,
 - 2 linie międzymiastowe łączące Miasta Jelenia Góra i Piechowice: 9, 15,
 - 7 linii podmiejskich: 3, 4, 5, 10, 11, 19, 33,
 - 3 linie miejsko – podmiejskie: 1, 2, 8;
- według kryterium charakteru trasy:
 - 6 linii o charakterze promienistym: 8, 9, 10, 13, 15, 19,
 - 19 linii o charakterze średnicowym: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 11, 12, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 33, N1, N2,
 - 3 linie lokalne: 4, 18, 29;

- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - 27 linii całorocznych: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 33, N1, N2,
 - 1 linię kursującą tylko w dni nauki szkolnej: 29;
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
 - 23 linie kursujące codziennie: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 33, N1, N2,
 - 1 linię kursującą od poniedziałku do soboty: 16,
 - 3 linie kursujące od poniedziałku do piątku: 23⁶, 26, 29,
 - 1 linię kursującą tylko w środy i soboty: 18;
- według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:
 - 18 linii kursujących przez cały dzień lub większą część dnia: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 19, 23, 26,
 - 10 linii okresowych: 13, 18, 20, 21, 22, 24, 29, 33, N1, N2;
- według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - linie podstawowe I rzędu: 6+26, 7,
 - linie podstawowe II rzędu: 2, 12, 17,
 - linie uzupełniające I rzędu (co ok. 60 min., w godzinach szczytu co ok. 30 min.): 1, 3+33, 8+10, 11,
 - linie uzupełniające II rzędu (co ok. 60 min.): 4, 9, 15, 16, 23,
 - linie dodatkowe: 5, 13, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 29, N1, N2.

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Miasta Jelenia Góra, pełniącemu funkcję jej organizatora oraz Gminy Janowice Wielkie, Gminy Jeżów Sudecki, Gminy Mysłakowice, Gminy Podgórzyn i Gminy Miejskiej Piechowice na mocy stosownych porozumień międzygminnych.

W Tab. 3.1 Wielkość planowanej do realizacji pracy eksploatacyjnej przez MZK Jelenia Góra przedstawiono wielkość pracy eksploatacyjnej w jeleniogórskiej komunikacji miejskiej, z nieznacznym wzrostem w latach 2017 – 2020.

Tab. 3.1 Wielkość planowanej do realizacji pracy eksploatacyjnej przez MZK Jelenia Góra

Rok	Wozokilometry planowane do realizacji	Dynamika r/r
2017	4 209 440,4	
2018	4 220 924,8	+0,3%
2019	4 239 052,3	+0,4%
2020	4 271 570,6	+0,8%
2021	4 237 151,1	-0,8%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MZK.

W

⁶ W soboty i niedziele wykonywany jest wyłącznie kurs zjazdowy Podchorążych – Zajezdnia MZK

Tab. 3.2 przedstawiono wielkość popytu na usługi przewozowe w przekroju linii komunikacyjnych. Z ogólnej liczby prawie 900 tys. pasażerów miesięcznie największy udział w strukturze popytu cechuje linię 7, przewożącą prawie 20% wszystkich pasażerów, kolejne miejsca zajmują linie 6 i 2 (po ok. 10%). Najniższy udział w wielkości popytu charakteryzuje linie 18, 29 oraz nocne N1 i N2 (po ok. 0,05% - 0,20%, łączny udział to zaledwie 0,50%). W Tab. 3.3 zestawiono przebiegi tras oraz podstawowe parametry linii obsługiwanych przez MZK Jelenia Góra. Najkrótszymi liniami są „18” o długości ok. 3 km i „29” o długości ok. 6 km. Obie linie wykonują dziennie wyłącznie kilka kursów – linia 18 kursuje tylko w środy i soboty zapewniając obsługę cmentarza komunalnego w Cieplicach, a linia 29 tylko w dni nauki szkolnej realizując zadanie dowozu uczniów w Piechowicach. Do najdłuższych połączeń w sieci należą linie międzygminne obsługujące Gminę Mysłakowice (3, 11, 33), Gminę Miejską Piechowice (linie 9 i 15) oraz wariantowe kursy linii 1 do Chrośnicy w Gminie Jeżów Sudecki i linii 2 do Komarna w Gminie Janowice Wielkie.

Tab. 3.2 Zestawienie miesięcznej liczby pasażerów MZK sp. z o.o. w Jeleniej Górze w przeciętnym miesiącu

Linia	Miesięczna liczba pasażerów	Udział w przewozach pasażerów [%]
1	53 669	5,99
2	92 813	10,36
3	41 565	4,64
4	11 397	1,27
5	15 054	1,68
6	93 490	10,44
7	178 473	19,93
8	24 601	2,75
9	70 524	7,88
10	14 670	1,64
11	32 918	3,68
12	39 802	4,44
15	36 020	4,02
16	14 149	1,58
17	67 053	7,49
18	225	0,03
19	8 863	0,99
20	5 383	0,60
21	16 058	1,79
22	12 647	1,41
23	10 321	1,15
26	43 428	4,85
29	798	0,09
33	8 152	0,91
N1	1 671	0,19
N2	1 792	0,20
Razem	895 536	100,00

Źródło: Opracowanie własne na podstawie opracowania „Badania marketingowe wielkości popytu na usługi jeleniogórskiej komunikacji miejskiej wraz z koncepcją zmian oferty przewozowej”, PTC Public Transport Consulting Marcin Gromadzki, 2018.

Tab. 3.3 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze stan na dzień 15.03.2021 r.

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
1	Jeżów Sudecki: JEŻÓW SUDECKI – GÓRNA – Długa – Jelenia Góra: Podchorążych – Grunwaldzka – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – pl. Niepodległości -Bankowa – J. Matejki (powrót Sudecka) – al. Wojska Polskiego – Wolności – L. Wyczółkowskiego – G. Morcinka – B. Głowackiego – A. Mickiewicza – E. Orzeszkowej – Strumykowa – Czarnoleska – WRZOSOWA Wybrane kursy wydłużone do Chrońnicy lub Siedlęcina, skrócone do Podchorążych, G. Morcinka lub Dworu Czarne	miejsko - podmiejska	uzupełniająca I rzędu
2	W. STWOSZA – Cieplicka – Cervi – Wolności – pl. Niepodległości (powrót J. Korczaka) – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – Jana Sobieskiego – Podwale – Mostowa – al. Jana Pawła II – L. Różyckiego – Żłotnicza – W. Pola – łączna – Wrocławska – TRZCIŃSKA Wybrane kursy wydłużone do Komarna	miejsko - podmiejska	podstawowa II rzędu
3	Jelenia Góra: K. MIARKI – K. Miarki – J. Sobieskiego – al. Jana Pawła II – L. Różyckiego – Żłotnicza – W. Pola – Kozia – Łomnicka – Łomnica: Karkonoska – Mysłakowice: Jeleniogórska – I. Daszyńskiego – MYSŁAKOWICE „ORZEŁ” Wybrane kursy przez 1 Maja i Wojska Polskiego w Mysłakowicach, wydłużone do Bukowca lub skrócone do przystanków Łomnica Szkoła, Łomnicka, w okresie 01.05-31.10 wybrane kursy z dodatkowym zajazdem przez J. Sobieskiego.	podmiejska	uzupełniająca I rzędu (z linią 33)
4	Jelenia Góra: PODGÓRZYŃSKA - Podgórzyńska – Podgórzyń: Szkolna – Żołnierska – Jana Pawła II – Żołnierska – Przesieka: Karkonoska – PRZESIEKA Wybrane kursy do Dworca Kolejowego (trasą linii 6), przez Urząd Gminy Podgórzyń, do Borowic lub Zachełmia	podmiejska	uzupełniająca II rzędu
5	Jelenia Góra: WRZOSOWA – Czarnoleska – Strumykowa – E. Orzeszkowej – A. Mickiewicza (powrót J. Słowackiego) – al. Wojska Polskiego – Sudecka (powrót J. Matejki) – Bankowa – pl. Niepodległości – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Sobieskiego – Siedlęcina: Górna (powrót Topolowa – Lwówecka – Jeżów Sudecki: Leśna – Długa – Jelenia Góra: Podchorążych – Grunwaldzka – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego) – Długa – Lwówecka - Wrzeszczyn: WRZESZCZYN ELEKTROWNIA Wybrane kursy skrócone do G. Morcinka lub Siedlęcina, wybrane kursy do przystanku Jeżów Sudecki – Górna	podmiejska	dodatkowa
6	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – al. Jana Pawła II – L. Różyckiego – Żłotnicza – W. Pola – 1 Maja – DWORZEC KOLEJOWY – 1 Maja – al. Wojska Polskiego – Wolności – Podgórzyńska – PODGÓRZYŃSKA	miejska	podstawowa I rzędu (z linią 26)
7	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Flisaków – M. Drzymały – J. Kilińskiego – Osiedle Robotnicze – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Korczaka (powrót pl. Niepodległości) – Wolności – K. Marcinkowskiego – Dworcowa – Sobieszowska – M. Rataja – Cieplicka – SOBIESZÓW	miejska	podstawowa I rzędu
8	Jeżów Sudecki: JEŻÓW SUDECKI – OSIEDLE JEŻÓWKA – Polna – Jelenia Góra: J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Flisaków – M. Drzymały – J. Kilińskiego – Osiedle Robotnicze – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – pl. Niepodległości – Bankowa – J. Matejki (powrót Sudecka) – al. Wojska Polskiego – 1 Maja – DWORZEC KOLEJOWY Wybrane kursy skrócone z J. Kiepury lub z zajazdem na W. Kilara	miejsko - podmiejska	uzupełniająca I rzędu (z linią 10)

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
9	<p>Jelenia Góra: DWORZEC KOLEJOWY – 1 Maja – al. Wojska Polskiego – Sudecka (powrót J. Matejki) – Bankowa – pl. Niepodległości – J. Korczaka – Wolności (powrót bezpośrednio Wolności – Bankowa) – Cervi – Cieplicka – Piechowice: Przemysłowa – Kryształowa – PIECHOWICE GÓRNE</p> <p>Wybrane kursy różnymi trasami przez Piechowice: wydłużone do przystanków Górzyniec, przez dworzec kolejowy lub Kromnów, przez ul. Jeleniogórską i Cmentarną, przez ul. Orzeszkowej. Wybrane kursy do Piechowic od Cieplickiej przez Karkonoską i Michałowicką (jak linia 15)</p>	miejska (2 miasta)	uzupełniająca II rzędu
10	<p>Dziwiszów: DZIWISZÓW GÓRNY – Jelenia Góra: Legnicka – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Flisaków – M. Drzymały – J. Kilińskiego – Osiedle Robotnicze – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – pl. Niepodległości – Bankowa – J. Matejki (powrót Sudecka) – al. Wojska Polskiego – 1 Maja – DWORZEC KOLEJOWY</p> <p>Wybrane kursy do przystanków Jeżów Sudecki – Górna</p>	podmiejska	uzupełniająca I rzędu (z linią 8)
11	<p>Jelenia Góra: GODUSZYŃSKA – Goduszyńska – Trasa Czeska – Spółdzielcza – Lipowa (powrót Powstańców Wielkopolskich) – Wolności – pl. Niepodległości (powrót J. Korczaka) – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Sobieskiego – Podwale – Mostowa – al. Jana Pawła II – L. Różyckiego – Złotnicza – W. Pola – Kozia – Łomnicka – Łomnica: Karkonoska – Karpnicka – Wojanów: - Bobrów: WOJANÓW BOBRÓW</p> <p>Wybrane kursy do Gruszkowa (jak linia 33), skrócone do przystanków Łomnicka lub Łomnica Szkoła, wybrane kursy trasą przez Dąbrowicę lub z dodatkowym zajazdem na pętlę K. Miarki</p>	podmiejska	uzupełniająca I rzędu
12	<p>KALINOWA – Sudecka – al. Wojska Polskiego – W. Pola – Złotnicza – L. Różyckiego – M. Ogińskiego – G. Bacewicz – T. Sygietyńskiego – J. Kiepur – al. Jana Pawła II – Grunwaldzka – Podchorążych – PODCHORAŻYCH</p> <p>Wybrane kursy skrócone do J. Kiepur lub z zajazdem do przystanku Nowowiejska</p>	miejska	podstawowa II rzędu
13	<p>DWORZEC KOLEJOWY – 1 Maja – Krakowska – al. Solidarności – W. Pola – KOZIA – W. Pola – L. Waryńskiego – Powstańców Śląskich – Złotnicza – L. Różyckiego – M. Ogińskiego – Wiejska – WIEJSKA</p>	miejska	dodatkowa
15	<p>Jelenia Góra: DWORZEC KOLEJOWY – 1 Maja – al. Wojska Polskiego – Sudecka (powrót J. Matejki) – Bankowa – pl. Niepodległości – J. Korczaka – Wolności (powrót bezpośrednio Wolności – Bankowa) – K. Marcinkowskiego – Dworcowa – Sobieszowska – M. Rataja – Cieplicka – Karkonoska – Michałowicka – Piechowice: Sudecka – Kryształowa – A. Mickiewicza – PIECHOWICE DW. PKP</p> <p>Wybrane kursy wydłużone do przystanku Piechowice Orzeszkowej, wybrane kursy z zajazdem na pętlę Górzyniec, wybrane kursy skrócone do przystanków Dom Gerharta Hauptmanna lub Michałowice</p>	miejska (2 miasta)	uzupełniająca II rzędu
16	<p>WRZOSOWA – Czarnoleska – Strumykowa – E. Orzeszkowej – A. Mickiewicza – B. Głowackiego – G. Morcinka – L. Wyczółkowskiego – Wolności – al. Wojska Polskiego – Sudecka (powrót J. Matejki) – Bankowa – pl. Niepodległości – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Sobieskiego – Podwale – Mostowa – Osiedle Robotnicze – J. Kilińskiego – M. Drzymały – Flisaków – L. Różyckiego – M. Ogińskiego – Wiejska – WIEJSKA</p> <p>Wybrane kursy skrócone do G. Morcinka</p>	miejska	uzupełniająca II rzędu

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
17	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Złotnicza – W. Pola – al. Wojska Polskiego – Sudecka (powrót J. Matejki) – Bankowa – pl. Niepodległości – J. Korczaka – Wolności (powrót bezpośrednio Wolności – Bankowa) – Cervi – S. Staszica – K. Pułaskiego – Cieplicka – W. STWOSZA	miejska	podstawowa II rzędu
18	PODGÓRZYŃSKA – Podgórzyńska – Wolności – Krośnieńska – KROŚNIEŃSKA – CMENTARZ	miejska	dodatkowa
19	Jelenia Góra: TEATR – al. Wojska Polskiego – Sudecka (powrót J. Matejki) – Bankowa – pl. Niepodległości – J. Korczaka – Wolności – J. Słowackiego – A. Mickiewicza (powrót bezpośrednio A. Mickiewicza - Wolności – Bankowa) – Stanisław: Witosza – Sosnowka: Jeleniogórska – Karkonoska – Liczyrzepy – SOSNÓWKA GÓRNA Wybrane kursy skrócone do przystanku Stanisław Górny lub wydłużone do Dworca Kolejowego	podmiejska	dodatkowa
20	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – al. Jana Pawła II – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – K. Miarki – Spółdzielcza – Lubańska – Sobieszowska – ŚW. J. ŚLĄSKIEJ	miejska	dodatkowa
21	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Flisaków – M. Drzymały – J. Kilińskiego – Osiedle Robotnicze – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Korczaka (powrót pl. Niepodległości) – Wolności – Powstańców Wielkopolskich (powrót Lipowa) – Spółdzielcza – Lubańska – Sobieszowska – M. Rataja – Cieplicka – SOBIESZÓW Wybrane kursy skrócone do pętli W. Stwosza	miejska	dodatkowa
22	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Flisaków – M. Drzymały – J. Kilińskiego – Osiedle Robotnicze – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Korczaka (powrót pl. Niepodległości) – Wolności – Powstańców Wielkopolskich (powrót Lipowa) – Spółdzielcza – Lubańska – Dworcowa – K. Marcinkowskiego – Wolności – Cervi – Cieplicka – SOBIESZÓW Wybrane kursy skrócone z Dworca Kolejowego lub przez Wojska Polskiego	miejska	dodatkowa
23	PODCHORAŻYCH – Podchorążych – Grunwaldzka – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Korczaka (powrót pl. Niepodległości) – Wolności – Podgórzyńska – PODGÓRZYŃSKA Wybrane kursy do W. Stwosza	miejska	uzupełniająca II rzędu
24	W. STWOSZA – Cieplicka – M. Rataja – Sobieszowska – Lubańska – Trasa Czeska – Spółdzielcza – K. Miarki – J. Sobieskiego – Podwale – Mostowa – al. Jana Pawła II – G. Bacewicz – T. Sygietyńskiego – J. Kiepury – J. KIEPURY	miejska	dodatkowa
26	PODGÓRZYŃSKA – Podgórzyńska – Wolności – al. Wojska Polskiego – W. Pola – Złotnicza – L. Różyckiego – M. Ogińskiego – G. Bacewicz – T. Sygietyńskiego – J. Kiepury – J. KIEPURY	miejska	podstawowa I rzędu (z linią 6)
29	Piechowice: PIECHOWICE ORZESZKOWEJ – E. Orzeszkowej – Tysiąclecia – Szkolna – Krysztalowa – Szkolna – Cmentarna (powrót bezpośrednio Cmentarna – Tysiąclecia) – Jeleniogórska – Piastów - Piechowice Orzeszkowej – Kromnów: KROMNÓW	miejska ⁷	dodatkowa

⁷ Przystanek końcowy znajduje się tuż za granicą Miasta Piechowice na terenie gminy Stara Kamienica, ze względu na możliwość bezpiecznego zawrócenia z jednoczesną obsługą obszaru Piastowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
33	Jelenia Góra: K. MIARKI – K. Miarki – J. Sobieskiego – al. Jana Pawła II – L. Różyckiego – Żłotnicza – W. Pola – Kozia – Łomnicka – Łomnica: Karkonoska – Karpnicka – al. Lipowa – Krogulec: al. Lipowa – Karpniki: al. Lipowa – Krogulec: - Karpniki: al. Lipowa – Rudawska – Strużnica: - Gruszków: GRUSZKÓW Wybrane kursy skrócone do przystanków Łomnica Szkoła, wybrane kursy skierowane od Łomnicy do Dąbrowicy lub Wojanowa.	podmiejska	uzupełniająca I rzędu (z linią 3)
N1	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Flisaków – M. Drzymały – J. Kilińskiego – Osiedle Robotnicze – Mostowa – Podwale – J. Sobieskiego – pl. Kard. S. Wyszyńskiego – J. Korczaka (powrót pl. Niepodległości) – Wolności – Cervi – Cieplicka – Cieplicka – SOBIESZÓW	miejska	dodatkowa
N2	J. KIEPURY – J. Kiepury – T. Sygietyńskiego – G. Bacewicz – M. Ogińskiego – L. Różyckiego – Żłotnicza – W. Pola – 1 Maja – DWORZEC KOLEJOWY – 1 Maja – al. Wojska Polskiego – Wolności – Cervi – Cieplicka – Cieplicka – SOBIESZÓW	miejska	dodatkowa

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK sp. z o.o. w Jeleniej Górze

3.1.3 Koszty eksploatacyjne

W ramach umowy operatorowi przysługuje rekompensata wyłącznie za prowadzoną na podstawie umowy działalność podstawową. Pozostałe obszary działalności rozliczane są osobno, jednakże dodatni wynik finansowy z działalności komercyjnej obniża wartość rekompensaty za działalność powierzoną. Za świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych objętych umową operator otrzymuje rekompensatę za wozokilometr zgodną z Rozporządzeniem (WE) 1370/2007. Do rekompensaty powinny zostać wpisane wszystkie koszty związane z działalnością przewozową (także koszty amortyzacji), koszty związane z niezbędną infrastrukturą techniczną, koszty wnikające z zakupów inwestycyjnych na potrzeby realizacji umowy, podatek dochodowy (jeżeli sytuacja wymaga) oraz pozostałe koszty operatora, które są związane ze świadczeniem usług przewozów pasażerskich w ramach umowy, a nie zostały ujęte jako osobna jednostka (np. koszty zmiany rozkładów).

Do celów obliczenia rocznej wartości rekompensaty stosuje się następujący wzór:

$$R = K_{suma} - P_{suma} + RZ + P_{doch} - Z_{ub} - KZ, \text{ gdzie:}$$

- R – rekompensata roczna wyliczona na podstawie danych uwzględniających rok (01.01-31.12),
- K_{suma} – koszty wykonywania działalności powierzonej w ramach umowy wykonawczej,
- P_{suma} – przychody ze sprzedaży biletów i inne przychody powiązane z realizacją działalności powierzonej,
- P_{doch} – podatek dochodowy związany z realizacją działalności powierzonej,
- RZ – rozsądny zysk z usług powierzonych, będący iloczynem kapitału własnego na koniec poprzedniego roku obrotowego i stawki referencyjnej NBP powiększonej o 1,5% (średnia stopa zwrotu nie może przekroczyć 6% w ujęciu realnym),
- Z_{ub} – suma dodatnich wyników finansowych z pozostałej działalności,
- KZ – przekazana kwota zwiększająca kapitał zakładowy w związku z wykonywaniem działalności powierzonej.

Następnie rekompensata przeliczana jest na przeciętną stawkę na 1 wzkm. Stawka ustalana jest łącznie dla wszystkich rodzajów autobusów niezależnie od ich klasy wielkości i wykorzystywanego paliwa. Podstawą rozliczenia rekompensaty są sprawozdania zawierające liczbę wykonanych wozokilometrów ze wskazaniem dni ich realizacji. Rozliczenie rekompensaty za świadczone usługi będzie następować w cyklach miesięcznych. Liczba wykonywanych wozokilometrów oraz wysokość należnej rekompensaty będzie weryfikowana przez organizatora cyklicznie w miesięcznych i rocznych okresach. W przypadku zmiany założeń strony dokonają stosownych rozliczeń wysokości wypłacanej rekompensaty.

Tab. 3.4 Wysokość rekompensaty, przychodów ze sprzedaży biletów oraz nakładów inwestycyjnych w ostatnich latach

Rok	Sprzedaż biletów	Rekompensata	Nakłady inwestycyjne
2018	9 511 160,86 zł	19 435 237,80 zł	25 070 049,03 zł
2019	7 242 783,22 zł	23 960 717,94 zł	1 730 531,56 zł
2020	4 298 638,93 zł	26 790 740,65 zł	6 568 213,73 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez MZK

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

Jednym z zadań własnych Miasta Jelenia Góra, określonego w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym, jest zapewnianie lokalnego transportu zbiorowego, poprzez organizację przewozów w komunikacji miejskiej. Jelenia Góra posiada własny plan transportowy (obecnie sporządzana jest nowa wersja tego dokumentu). Komunikacja miejska w Jeleniej Górze została opisana w Planie gospodarki niskoemisyjnej dla Miasta Jelenia Góra, który zawiera ocenę aktualnego stanu środowiska oraz opis przedsięwzięć pozwalających na ograniczenie nadmiernego zużycia ciepła, energii elektrycznej i paliw gazowych. Dodatkowo Miasto Jelenia Góra posiada porozumienia międzygminne z gminami Janowice Wielkie, Jeżów Sudecki, Mysłakowice, Podgórzyn oraz Gminą Miejską Piechowice w sprawie powierzenia Miastu Jelenia Góra organizacji lokalnego transport zbiorowego. Realizację przewozów gwarantuje umowa wieloletnia z operatorem komunikacji miejskiej, która została zawarta na okres do 30.09.2029 r.

3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

Analizy w niniejszym rozdziale zostały wykonane według stanu na dzień 1 marca 2021 r.

3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

W ostatnich latach zakupiono 33 autobusy przeznaczone do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze. W 2017 r. wprowadzono do ruchu 2 używane pojazdy klasy MAXI z normą emisji spalin EEV. W 2018 r. wprowadzono łącznie 20 fabrycznie nowych pojazdów spełniających normę spalin EURO 6 – 3 hybrydowe klasy MAXI, 15 spalinowych klasy MAXI oraz 2 spalinowe klasy MEGA18. Niniejsza inwestycja była współfinansowana przez Unię Europejską w ramach programu RPO Województwa Dolnośląskiego na lata 2014-2020 (projekt pn. „Zakup nowoczesnych i ekologicznych autobusów wraz z zakupem i montażem stacjonarnych automatów do sprzedaży biletów, tablic do systemu informacji pasażerskiej oraz doposażenie autobusów w system monitoringu łącznie z instalacją monitoringu miejsc postojowych na terenie zajezdni Miejskiego Zakładu Komunikacyjnego sp. z o.o. w Jeleniej Górze”). W 2019 r. wprowadzono 2 autobusy używane z normą spalin EURO 6 – po

1 klasy MAXI i MEGA15. W 2020 wprowadzono 9 pojazdów używanych klasy MAXI z normą spalin EURO 6. W kręgu zainteresowań znajdują się 3 technologie:

- zeroemisyjne pojazdy wodorowe – technologia w trakcie rozwoju, szczególnie w krajach rozwiniętych, w Polsce w fazie testów, na terenie województwa dolnośląskiego Politechnika Wrocławska wykonuje ekspertyzę dotyczącą wykorzystania w Wałbrzychu, posiadającym podobne warunki hipsometryczne,
- zeroemisyjne pojazdy akumulatorowe – użytkowane już w wielu systemach na terenie Polski, m.in. Zielonej Górze (43 pojazdy, 48% floty), dodatkowo warto podkreślić, że w 2020 prawie co 2 autobus tego typu zakupiony na terenie Unii Europejskiej został wyprodukowany w Polsce⁸,
- niskoemisyjny CNG, z powodzeniem wykorzystywany w niektórych systemach komunikacji zbiorowej, np. w Tarnowie, Przemyślu i Powiecie Lubińskim, aczkolwiek jej wdrożenie w przypadku jeleniogórskiej komunikacji miejskiej wymagałoby dużej modyfikacji infrastruktury (rozbudowa dotychczasowego gazociągu), co nie jest obecnie planowane.

Tab. 3.5 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na 01.03.2021 r.)

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2017	MAN A78	MAXI	1	2012	EEV
2017	Mercedes Citaro O530	MAXI	1	2013	EEV
2018	Volvo B4SC 7900 Hybrid	MAXI	3	2018	EURO 6
2018	MAN NL293	MAXI	15	2018	EURO 6
2018	MAN A23	MEGA18	2	2018	EURO 6
2019	MAN A44	MEGA15	1	2016	EURO 6
2019	MAN A21	MAXI	1	2012	EURO 6
2020	Scania Citywide	MAXI	9	2016	EURO 6

Źródło: Opracowanie własne

3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby obsługi jeleniogórskiej komunikacji miejskiej eksploatowanych jest 80 pojazdów. Wszystkie posiadają silniki spalinowe zasilane olejem napędowym, z tego 4 stanowią hybrydy spalinowo-elektryczne. Większość pojazdów jest niskopodłogowa (oprócz 10 najstarszych pojazdów będących pojazdami niskowejściowymi: 4 szt. Volvo B10BLE klasy MAXI, 5 Volvo B10BLE6x2 klasy MEGA15 i 1 Mercedes Staro 815D klasy MINI). Największym udziałem cechują się pojazdy o najwyższej normie spalania EURO 6 – 43 pojazdy (54%). Kolejną liczną grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 2, które stanowią 20% całego taboru. We flocie użytkowanej przez MZK Jelenia Góra znajduje się także 9 pojazdów spełniających standard EEV oraz po 6 pojazdów o normie spalania EURO 3 i EURO 4. Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.6.

Tab. 3.6 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 01.03.2021 r.)

Paliwo i Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
ON EURO 2	1		8	5	2	16
ON EURO 3		1	5			6

⁸ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/polska-najwiekszym-eksporterem-autobusow-elektrycznych-w-ue-67498.html> dostęp: 05.03.2021

ON EURO 4			4		2	6
ON EEV		5	3			8
ON (HYBRYDOWY) EEV			1			1
ON EURO 6			37	1	2	40
ON (HYBRYDOWY) EURO 6			3			3
Liczba pojazdów	1	6	61	6	6	80

Źródło: Opracowanie własne

3.2.3 Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru

Obecnie średni wiek pojazdów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze wynosi ok. 10 lat (mediana jest znacząco niższa i wynosi 7 lat). Najstarsze pojazdy wyprodukowano w 1997 r. – Volvo B10BLE klasy MAXI, a najmłodsze autobusy w 2018 r. – 15 szt. MAN NL293,A37 klasy MAXI, 2 szt. MAN A23 klasy MEGA18 oraz 3 hybrydowe Volvo B4SC 7900 HYBRID.

Pojazdy w wieku 15 lat i więcej stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – aż 31,3% i co należy podkreślić obejmują wszystkie typy taboru (wszystkie klasy MINI, większościowy udział w grupie MEGA15). Kolejnymi grupami są pojazdy w wieku poniżej 3 lat – stanowią one 25,0% wszystkich autobusów. W Tab. 3.7 zaprezentowano obecną strukturę pojazdów według wieku i typu.

Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 01.03.2021 r.)

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 3 LAT			18		2	20
3-4 LATA			9	1		10
5-6 LAT			12			12
7-8 LAT			3			3
9-10 LAT		5	2			7
11-12 LAT						
13-14 LAT			1		2	3
15 LAT I WIĘCEJ	1	1	16	5	2	25

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnych tabelach przedstawiono przewidywaną strukturę wieku pojazdów eksploatowanych w sieci komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze w perspektywie do 2028 r., z wyszczególnieniem okresów przejściowych analogicznych do wskazanych w Ustawie z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Symulacja wymiany taboru została sporządzona w oparciu o:

- wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego, wskazujące na maksymalnie 10-letni okres eksploatacji autobusu, które będą wprowadzane stopniowo.

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

Tab. 3.8 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 3 LAT	1	1	11	1	6	20
3-4 LATA			18		2	20
5-6 LAT			9	1		10

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
7-8 LAT			12			12
9-10 LAT			3			3
11-12 LAT		5	2			7
13-14 LAT						
15 LAT I WIĘCEJ			6		2	8

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.9 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 3 LAT	1	1	22	1	8	33
3-4 LATA						
5-6 LAT			18		2	20
7-8 LAT			9	1		10
9-10 LAT			12			12
11-12 LAT						
13-14 LAT		5				5
15 LAT I WIĘCEJ						

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.10 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 3 LAT		5	12		2	19
3-4 LATA			11		2	13
5-6 LAT	1	1	11	1	6	20
7-8 LAT						
9-10 LAT			18			18
11-12 LAT			9	1		10
13-14 LAT						
15 LAT I WIĘCEJ						

Źródło: Opracowanie własne

3.2.4 Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych

Wielkość emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji wynika 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. 3.11 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 10.03.2021 r.)

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g	NO _x w g	PM w g	CO ₂ w kg
EURO 2				
MAN A 21	819 114,46	5 212 546,53	111 697,43	193 503,13

MAN A11	409 557,23	2 606 273,27	55 848,71	96 751,57
Volvo B10BLE	819 114,46	5 212 546,53	111 697,43	193 503,13
Volvo B10BLE6x2	1 023 893,07	6 515 683,17	139 621,78	241 878,91
MERCEDES Stario 815 D	204 778,61	1 303 136,63	27 924,36	48 375,78
EURO 3				
MAN A 21	491 468,67	3 723 247,52	74 464,95	193 503,13
MAN NM223	122 867,17	930 811,88	18 616,24	48 375,78
Jelcz M121/3	122 867,17	930 811,88	18 616,24	48 375,78
EURO 4				
MAN A 21	342 538,77	2 606 273,27	14 892,99	193 503,13
MAN A 23	171 269,39	1 303 136,63	7 446,50	96 751,57
EEV				
SOLARIS U10	428 173,47	1 861 623,76	18 616,24	241 878,91
MAN A78	171 269,39	744 649,50	7 446,50	96 751,57
MAN A37 HYBRID	85 634,69	372 324,75	3 723,25	48 375,78
MERCEDES CITARO O530	85 634,69	372 324,75	3 723,25	48 375,78
EURO 6				
MAN A21	24 201,11	74 464,95	1 861,62	48 375,78
MAN A23	48 402,22	148 929,90	3 723,25	96 751,57
MAN A44	24 201,11	74 464,95	1 861,62	48 375,78
MAN NL 293,A37	653 429,94	2 010 553,66	50 263,84	1 306 146,13
SCANIA CITYWIDE	217 809,98	670 184,55	16 754,61	435 382,04
Volvo B4SC 7900 HYBRID	72 603,33	223 394,85	5 584,87	145 127,35
roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich pojazdów w komunikacji miejskiej:	6 338 828,91	36 897 382,96	694 385,66	3 870 062,62

Źródło: Opracowanie własne

3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne sieci linii komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze. System został przeanalizowany pod względem liczby wozokilometrów liniowych według typu dnia i wskaźników wykorzystania taboru. Następnie przedstawiono dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady. W końcowej części rozdziału wykonana została analiza rozkładów jazdy z weryfikacją długości postojów wyrównawczych. Wszystkie linie komunikacyjne wykonują pracę eksploatacyjną łącznie z przejazdami technicznymi w poszczególne dni na poziomie:

- dzień roboczy szkolny – 14 038,39 wzkm,
- sobota – 8 166,20 wzkm,
- niedziela – 7 073,12 wzkm.

Najwięcej kilometrów realizowanych jest na linii 7, która jako jedyna samodzielnie pełni funkcję podstawowej I-rzędu, łącząc przeciwległe osiedla Zabobrze i Sobieszów przez centrum, Cieplice i Os. Orle. Najmniejszą pracą eksploatacyjną, charakteryzują się linie 13, 18, 20, 29 oraz nocne N1 i N2, funkcjonujące wyłącznie w wybranych okresach dnia.

3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

MZK dysponuje 80 autobusami, z czego do obsługi linii komunikacji miejskiej eksploatowanych jest:

- w dni robocze 71 autobusów – 88,8% taboru,
- w soboty 37 autobusów – 46,3% taboru,
- w niedziele i święta 33 autobusy – 41,3 % taboru.

3.3.2 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzkm przez brygady

Wszystkie brygady w dzień roboczy szkolny (zgodnie z danymi z 8.03.2021) wykonują łącznie 14 038,985 wzkm. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie na dystansie o długości 29,568 km, zaś najdłuższe zadanie ma przebieg o długości 360,519 km. Przeciętna długość pracy eksploatacyjnej brygady w całej sieci wynosi 203,464 km. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

$$V = \frac{s}{\bar{x}}$$

Równanie 1 Współczynnik zmienności

gdzie:

s – odchylenie standardowe

\bar{x} – przeciętna długość brygady.

Cała sieć charakteryzuje się przeciętnym zróżnicowaniem przebiegów brygad na poziomie 42%.

Tab. 3.12 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy (stan na dzień 8.03.2021)

Parametr / typ taboru	Cała sieć
liczba brygad	69+2 rezerwy
minimalna długość w km	29,568
maksymalna długość w km	360,519
średnia długość w km	203,464
odchylenie standardowe	84,509
współczynnik zmienności	42%
Suma km	14 038,985

Źródło: Opracowanie własne

3.3.3 Analiza rozkładów jazdy

Ze względu na ograniczenia techniczne wynikające z zmniejszonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych (względem napędzanych w sposób konwencjonalny) wykonano pogłębioną analizę rozkładów jazdy. Analiza posłużyła do wskazania linii lub brygad, które mogłyby zostać obsługiwane przez autobusy zeroemisyjne. Zdiagnozowano również najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych, warunkujących liczbę autobusów niezbędnych do obsługi linii po elektryfikacji. Szczegółową analizę rozkładów jazdy dla każdego wariantu dokonano w następnym rozdziale. W Tab. 3.13 zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

Tab. 3.13 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów MZK

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	1	6	52	6	6	71

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	1	6	52	6	6	71
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	1	6	61	6	6	80
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	100%	100%	85%	100%	100%	89%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Udział pojazdów zeroemisyjnych	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnej tabeli przedstawiono najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. Krańce podstawowe są głównymi wariantami linii w systemach informacji pasażerskiej. Długości postojów na wszystkich innych przystankach krańcowych są przedstawione w kolumnie „krańce wariantowe”. Wskazane interwały są modułowymi częstotliwościami kursowania lub uśrednionymi odstępami między kolejnymi kursami. Przy braku powtarzalnych interwałów rozumianych jako częstotliwości kursowania, zdefiniowany został przedział z występującymi odstępami lub liczbą par kursów (np. „p1” oznacza 1 parę). Z analizy wyłączone zostały dedykowane przerwy posiłkowe, które nie są zaplanowane jako powtarzalne postoje wyrównawcze.

Tab. 3.14 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Krańiec 1	Krańiec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Krańiec 1	Krańiec 2	Krańce wariantowe
1	Wrzosowa	Jeżów Sud. Długa	60	10	21		30	14	9-11	
2	Wita Stwosza	Trzcicka	30	14-21	36-43	15	30	8-21	32-43	5
3	K. Miarki	Mysłakowice Orzeł	60-90	7-61	14	8-21	30	28-41		10-24
4	Podgórzńska	Przesieka	40-80	0-38	6-7	9-10	13-43	34	5	4-8
5	Morcinka	Wrzeszczyn Elektr.	60-180	2-59	10	5-6	60	6		5
6	Podgórzńska	Kiepury	30	6-20	4-16		30	19	9	
7	Sobieszów	Kiepury	15	6-8	11-12		15	21-37	7-8	
8	Dworzec Kolejowy	Os. Jeżówka	30-60	15-34	23	19-28	60	31-42	17	17
9	Piechowice Górne	Dworzec Kolejowy	60	2-36	25-33	4-18	30	15	18-38	12
10	Dworzec Kolejowy	Dziwiszów Górny	p2	42	15		65	47	4-12	
11	Goduszyńska	Wojanów Bobrów	60	5-16	9-35	36-39	33	6-20	5-11	7
12	Kalinowa	Podchorążych	30	16-21	5-7	22-23	30	8-17	2-20	
13	Dworzec Kolejowy	Wiejska	p1			7	-	-	-	-
15	Piechowice Dw. PKP	Dworzec Kolejowy	60	1	17-50	16	60	8	-50	3-26
16	Wrzosowa	Wiejska	60	8	20		60	7	7-16	7
17	Wita Stwosza	Kiepury	30	20-29	4-11		30	26-28	4-6	
18	Podgórzńska	Krośnieńska Cmen.	p1		6-36		p1			
19	Teatr	Sosnówka	68-173	15	19-21	16	p1	10	17	
20	Św. J. Śląskiej	Kiepury	-	-	-	-	p1	24		
21	Sobieszów	Kiepury	p1				p1	7	8	

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
22	Sobieszów	Kiepury	p1				p1	8	20	
23	Podgórzyńska	Podchorążych	60	6-10	4-6		60	6	7	
24	Wita Stwosza	Kiepury	p1				p1		7	
26	Podgórzyńska	Kiepury	30	20	7-8		60	10-19	4	
29	Piechowice Orzeszkowej	Kromnów					p2	9-69	5	
33	K. Miarki	Gruszków	-	-	-	-	p1	28	5	
N1	Sobieszów	Kiepury	-	-	-	-	-	-	-	-
N2	Sobieszów	Kiepury	-	-	-	-	-	-	-	-

Źródło: Opracowanie własne

4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W niniejszym rozdziale przedstawiono 5 wariantów inwestycyjnych:

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

Każdy typ pojazdu 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 Jeleniej Górze oraz potencjalne koszty wprowadzenia. Pod koniec rozdziału przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania dwóch wariantów do dalszych analiz kosztów i korzyści wynikających z ich wdrożenia.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych, w sieci komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze 80 pojazdach, teoretycznie wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi⁹:

- w terminie od 01.01.2021 r. – 4 pojazdy (tj. 5% spośród planowanej posiadanej liczby autobusów),
- w terminie od 01.01.2023 r. – 8 pojazdów (tj. udział na poziomie 10%),
- w terminie od 01.01.2025 r. – 16 pojazdów (tj. udział na poziomie 20%),
- w terminie od 01.01.2028 r. – 24 pojazdy (tj. udział na poziomie 30%).

4.1 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

Wśród pojazdów zeroemisyjnych coraz większą popularność zyskują autobusy o napędzie elektrycznym opartym o ogniwa paliwowe. Do końca pierwszego kwartału 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 pojazdu w trakcie wykonywania zadania. Najważniejszą inwestycją infrastrukturalną jest scentralizowana stacja 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 ogniw paliwowych do pojazdów użytkowych.

⁹ Obliczając liczbę wymaganych autobusów zeroemisyjnych, przyjęto metodę zaokrąglania w górę do pełnych jednostki dla wartości z ułamekami.

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 Kolonii¹⁰ posiadającym 35 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 wodorem (w tym 15 nowych dla Kolonii)¹¹. Co warto podkreślić, od 2019 roku złożono już zamówienia na ponad 60 pojazdów produkowanych na terenie Polski. W ramach zakończonego 1 etapu programu „Zielony Transport Publiczny” NFOŚiGW złożono 4 wnioski o dotację na zakup ponad 120 pojazdów zasilanych czystym wodorem. Beneficjentami mogą zostać MPK Poznań, MPK Włocławek, Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia i Miasto Chełm.¹²

Tab. 4.1 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

4.1.1 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

¹⁰ Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) jest pionierem zastosowań autobusów wodorowych – pierwsze wdrożenie w 2011 r.

¹¹ https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses_web.pdf, dostęp: 18.03.21

¹² <https://www.transport-publiczny.pl/mobile/zielony-transport-publiczny-samorzady-mierza-wysoko-67564.html>, dostęp: 18.03.21

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 budowy odpowiedniej infrastruktury do tankowania (należy zaznaczyć, że obecnie w Polsce nie występują stacje tankowania wodorem – czysty wodór na potrzeby transportowe nie jest dystrybuowany). Pojawiły się natomiast pierwsze porozumienia mające na celu stworzenie infrastruktury do ładowania takich pojazdów¹⁴. Obecnie planowane jest uruchomienie kilku pilotażowych stacji: w Poznaniu, Gdańsku oraz Warszawie.

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

Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
Ursus Demo Hydrogen (elektryczny na wodorowe ogniwa paliwowe)	12 m	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 m	2019	29,2 kWh	2 x 60 kW	ponad 350 km	ok. 80 pasażerów
Van Hool A330FC	13,1 m	2019	90 kWh (120 kWh)	2x85 kW	300 km	67 pasażerów
Mercedes Citaro FuelCELL-Hybrid	12m	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

Źródło: Opracowanie własne

4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów napędzanych wodorem, generują koszty zakupu taboru jak i infrastruktury niezbędnej do tankowania pojazdu. Koszty zakupu w materiałach i 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 euro¹⁵.

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

¹³ <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/februar-2021/wasserstoffantriebe-fuer-e-scooter-und-co.html>, dostęp: 05.03.2021

¹⁴ Miasto Gdynia i Grupa Lotos podpisały list intencyjny dotyczący ewentualnych dostaw wodoru (data podpisania 3 kwietnia 2018 r.), w późniejszym czasie także Wejherowo, Tczew oraz niedawno (22.10.2020) Rzeszów. Krakowskie MPK podpisało podobne porozumienie z PKN Orlen w maju 2020.

¹⁵ JIVE and MEHRLIN Performance Assessment Handbook, Stefan Eckert, Michael Faltenbacher, Klaus Stolzenburg, Martin Gallmetzer

autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. Rynek autobusów napędzanych wodorem jest młody i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹⁶. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie 3,22 mln zł netto (0,75 mln euro netto).

Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam ¹⁷	2	Van Hool 13m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia* (2018)	30	Van Hool 13m	13,0mln €	430 tys. €
Kolonia* (2020)	15	Solaris Urbino 12 Hydrogen	Brak danych	<625 tys. € (warunek przetargu, Van Hool zaproponował 650 tys. €)
Aberdeen ¹⁸	10	Van Hool 13m	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

4.1.3 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)¹⁹ 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 2,0 mln \$ oraz między 1,0 a 2,24 mln €^{20,21}.

¹⁶ https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null_Emissio/2018_Datenblatt_Van_Hool.pdf, dostęp: 22.03.2021

¹⁷ <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp: 22.03.2021

¹⁸ <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses>, dostęp: 22.03.2021

¹⁹ <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing>, dostęp: 22.03.2021

²⁰ Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, Forschungszentrum Jülich GmbH, 2018.

²¹ <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp: 22.03.2021

4.1.5 Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Jeleniej Górze

Do obsługi komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze przeznaczonych jest 80 pojazdów. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej, niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych dla 24 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Wymianę autobusów spalinowych na autobusy napędzane wodorem założono w stosunku 1 do 1. Jednostkowa cena pojazdów została ustalona na podstawie obecnych cen rynkowych.

Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	88,90 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	2,00 mln zł
Stacja tankowania wodoru	9,26 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	100,16 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

Obecnie liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych dynamicznie wzrasta. W styczniu 2021 r. w Polsce zarejestrowane były 442 autobusy elektryczne akumulatorowe²². Większość z nich wprowadzono do eksploatacji w 2020 r., kiedy zarejestrowano aż 201 sztuk (wzrost o 253% względem 2019 r.)²³. Autobusy elektryczne w Polsce produkuje wielu producentów, w tym ARP E-Vehicles Sp. z o.o., Autosan sp. z o.o., MAN Truck & Bus, Solaris Bus & Coach S.A oraz Volvo Polska sp. z o.o. Autobusy elektryczne mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych²⁴, ze względu na konieczność montażu akumulatorów. Wyróżniają się lepszymi charakterystykami dynamicznymi – stosowane w autobusach elektrycznych silniki asynchroniczne, w przeciwieństwie do 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 temperaturę²⁵.

²² <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-wzrasta-zainteresowanie-hybrydami-plug-in/>

²³ <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-rok-2020-rekordowy-na-polskim-ryнку-samochodow-elektrycznych/>

²⁴ Koncepcja wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych w lubelskiej komunikacji miejskiej, Poznań 2014

²⁵ Przegląd aktualnych doświadczeń w eksploatacji autobusów elektrycznych, MZA Sp. z o.o., Kraków 2017

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 jest 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.

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

Założono, że dla autobusu 12 metrowego zużycie energii kształtuje się na poziomie 1,30 kWh/km, natomiast dla autobusu 18 metrowego 1,80 kWh/km.

Autobusy elektryczne akumulatorowe można ładować na kilka sposobów. Najpowszechniejszymi w Polsce są ładowarki typu plug-in, które służą do ładowania podczas dłuższych postojów pojazdów, 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 20 – 40 km. Z tego względu najczęściej pojazdy 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.



Rys. 4.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Jaworznie podczas szybkiego ładowania

Źródło: Zbiory własne

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 pojazdu o 23 km. Zaletą ładowarek indukcyjnych jest ich nieinwazyjność dla przestrzeni

miejskiej, 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.

Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast

Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	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	Ursus	12m	11	2,830	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

Źródło: Opracowanie własne

W Tab. 4.5 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 – 1,7 mln zł,
- MIDI – 2,0 mln zł,
- MAXI – 2,3 mln zł,
- MEGA18 – 2,8 mln zł.

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 150 km na kilkugodzinne ładowanie).

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 przewoźnika. Dodatkowo ważnym aspektem jest profil docelowych tras, powodujący zwiększone zużycie energii elektrycznej zmniejszając możliwy zasięg na naładowanym akumulatorze. Przy analizie przyjęto założenie, że autobus elektryczny może przejechać 120 km na jednym pełnym naładowaniu akumulatorów. Wariant zakłada ładowanie pojazdów jedynie na zajezdni do pełnych akumulatorów.

Tab. 4.6 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.)

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	0	6	35	6	2	49
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe	1	0	20	0	4	25
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	3	0	0	3
Liczba brygad w ruchu	1	6	55	6	6	74

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 możliwa jest elektryfikacja 19 dotychczasowych brygad – 1 obsługiwana autobusami klasy MINI, 4 klasy MEGA oraz 14 klasy MAXI. Niniejsze działanie wymaga wykorzystania 19 pojazdów elektrycznych, co przy braku ograniczania oferty przewozowej i floty taborowej nie spełnia wymogów prawnych nałożonych na organizatora, ponieważ osiągnięty zostanie udział na poziomie 24%. W celu osiągnięcia poziomu 30% zaproponowano przekształcenie 3 brygad spalinowych o przebiegach poniżej 240km w 6 brygad elektrycznych. Takie działanie spowoduje wygenerowanie dodatkowych 3 brygad oraz powiększenie floty taborowej do 83 pojazdów (udział pojazdów elektrycznych na poziomie 30%).

Tab. 4.7 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	0	6	44	6	2	58
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	1	0	20	0	4	25
Stan taboru	1	6	64	6	6	83
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	0%	100%	80%	100%	100%	85%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	100%	0%	100%	0%	100%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	100%	0%	30%	0%	67%	30%

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 taborzem 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 600 000 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. 4.2 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze

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, oprócz budowy stacji szybkiego ładowania na terenie miasta, zakłada budowę 12 ładowarek dwustanowiskowych lub 24 ładowarek jednostanowiskowych wolnego ładowania w zajezdni MZK.

W celu wyboru optymalnych linii do wykorzystania autobusów elektrycznych, przeprowadzona została analiza wielokryterialna, uwzględniająca aspekty techniczno – eksploatacyjne oraz społeczne, w ramach których preferowane są linie posiadające następujące cechy:

- niskie prędkości komunikacyjne,
- niski udział zadań szczytowych w systemie przerywanego czasu pracy (dodatków),
- 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:
 - zbytłkowe centrum miasta,
 - największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,
 - węzły przesiadkowe o charakterze lokalnym lub międzyregionalnym,
 - strefy ochrony uzdrowiskowej,
- większość trasy znajduje się w granicach administracyjnych miejscowości o statusie miejskim.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej wymiany taboru na pojazdy zeroemisyjne wytypowano następujące linie: 6, 7, 8, 17, 23, 26. Dla uzyskania wysokiego wykorzystania pojazdów założono też, że w przypadku, zmniejszonego zapotrzebowania taborowego na wymienionych liniach pojazdy zeroemisyjne pojawią się także na zadaniach obsługujących inne linie w charakterze uzupełniającego tabor z napędem konwencjonalnym.

W przypadku wybranych linii, ze względu na obszar podgórski, przeprowadzono analizę profili terenowych trasy. Wśród wytypowanych linii, w przypadku żadnej z nich udział podjazdów o nachyleniu powyżej 6% nie przekroczył 5% długości trasy. Niniejszy wskaźnik jest szczególnie ważny dla pojazdów zeroemisyjnych pojazdów akumulatorowych, ponieważ tego typu podjazdy zauważalnie obniżają zasięg.

Tab. 4.8 Wyniki analizy wielokryterialnej wyboru linii przeznaczonych do obsługi przez autobusy elektryczne

Aspekt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Techniczno - eksploatacyjny	1,97	2,38	2,00	2,31	2,38	2,72	2,44	2,97	2,22	2,69	1,84	2,91	2,44
Społeczny	0,73	1,65	0,54	0,62	0,88	1,69	1,78	1,14	1,43	0,88	0,92	0,99	0,58
Suma ocen	2,70	4,03	2,54	2,93	3,26	4,41	4,22	4,11	3,64	3,57	2,76	3,90	3,02

Aspekt	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	29	33
Techniczno - eksploatacyjny	2,53	2,56	2,47	2,47	2,34	2,03	2,03	2,03	2,56	2,25	2,63	2,22	1,81
Społeczny	1,43	1,18	1,59	0,96	0,98	1,78	1,78	1,59	1,78	1,78	1,59	0,53	0,26
Suma ocen	3,96	3,74	4,06	3,43	3,32	3,81	3,81	3,63	4,34	4,03	4,22	2,74	2,08

Źródło: Opracowanie własne

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 przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny typu MAXI w ruchu będzie wyższa o 15% (do poziomu ok. 61 tys. rocznie) w porównaniu do obecnego średniego przebiegu autobusu tego typu.

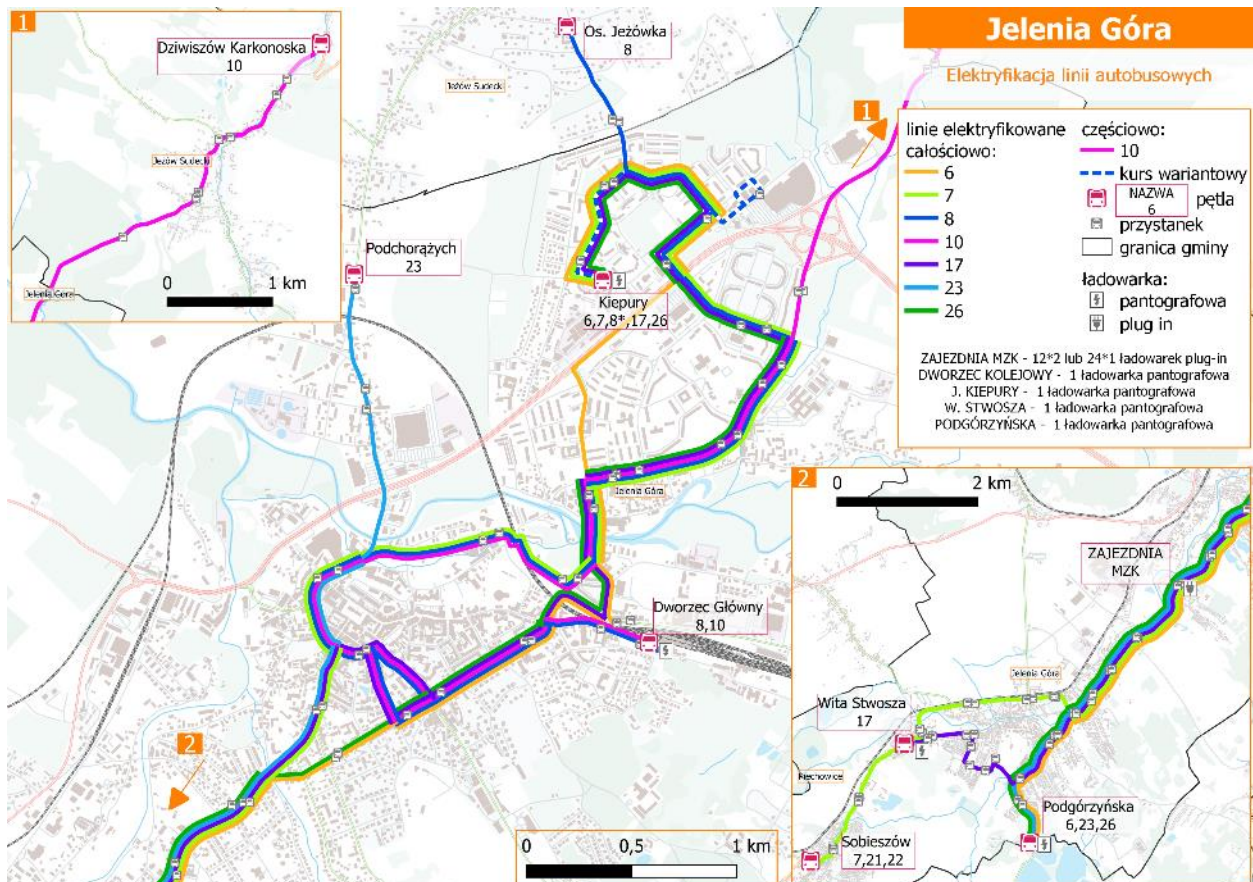
Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej elektryfikacji wybrano linie: 6, 7, 8, 17, 23, 26, natomiast częściowej elektryfikacji podlegać będzie linia 10. Założono, że uzupełniająco autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały linie 1, 2, 4, 5, 9, 11, 12, 13, 15, 19, 20, 21, 22, 24 w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy na liniach całkowicie lub częściowo zelektryfikowanych.

Przewidziano również lokalizację ładowarek szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu na pętlach przy ul. Jana Kiepury, Podgórzeńskiej, Wita Stwosza (alternatywnie Św. Jadwigi Śląskiej lub Sobieszów) oraz przy Dworcu Kolejowym.



Rys. 4.3 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie

Źródło: Zbiory własne



Rys. 4.4 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek

Źródło: Opracowanie własne

Linie 6, 7, 8, 17, 23 i 26 obecnie obsługują 23 brygady w dzień roboczy, w godzinach szczytu przewozowego. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu utrzymania obecnie stosowanych częstotliwości kursowania do obsługi przewozów łącznie będzie potrzebny 1 dodatkowy pojazd. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej zatem wzrośnie o 1 sztukę.

Tab. 4.8 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA (15+18)	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	1	6	37	4	48
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:	0	0	16	8	24
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	1	0	0
Liczba brygad w ruchu	1	6	53	12	72

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych pojazdów, wystąpi przyrost wielkości floty operatora o 1 pojazd. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 81 pojazdów, w tym 24 autobusy o napędzie elektrycznym (30%). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych względem ilostanu operatora.

Tab. 4.9 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu

Wariant W1	MINI	MIDI	MAXI	MEGA(15+18)	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	1	6	46	4	57
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	16	8	24
Stan taboru	1	6	62	12	81
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	100%	100%	80%	100%	84%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	100%	100%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	26%	67%	30%

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 (zajezdnia 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 pojazdami w polskich systemach trolejbusowych są pojazdy produkcji krajowej w wersji 12 i 18 metrowej. 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 odcinka 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. 4.5 Trolejbus typu MAXI w Tychach

Źródło: Zbiory własne

4.3.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 r. w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup 15 sztuk trolejbusów klasy MEGA18.



Rys. 4.6 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem

Źródło: Zbiory własne

Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²⁶. 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 brutto²⁷. 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 trolejbus przegubowy klasy MEGA kosztował 3,15 mln zł brutto²⁸. W marcu 2019 rozstrzygnięto zaś przetarg na dostawę 6 pojazdów MAXI o większych bateriach (min. 84 kWh), przy cenie pojedynczego pojazdu na poziomie 2,77 mln zł brutto²⁹. 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 brutto³⁰. 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 odbieraki i trolejbusowa sieć trakcyjna. 5 marca 2021 rozstrzygnięto przetarg, przeznaczając prawie 18,23 mln zł brutto (3,04 mln zł brutto za pojazd)³¹.

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 technicznego³². 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)³³.

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 brutto³⁴.

²⁶ <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: 22.03.2021

²⁷ <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: 22.03.2021

²⁸ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html>, dostęp: 22.03.2021

²⁹ <https://bip.um.gdynia.pl/zamowienia-publiczne,738/postepowanie-na-dostawe-autobusow-elektrycznych-ladowanych-w-ruchu-i-na-postoju,529604>, dostęp: 04.03.2021

³⁰ <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727>, dostęp: 22.03.2021

³¹ <https://platformazakupowa.pl/transakcja/384851>, dostęp: 04.03.2021

³² http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184, dostęp: 22.03.2021

³³ <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczone/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: 22.03.2021

³⁴ https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa-_more_106289/, dostęp: 22.03.2021



Rys. 4.7 Trolejbus typu MAXI w Pireusie

Źródło: Zbiory własne

4.3.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Jeleniej Górze

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej powinien wynosić 30%. MZK Jelenia Góra użytkuje 80 pojazdów (w tym maksymalnie 69 pojazdów w ruchu). Zatem MZK powinno posiadać 24 pojazdy zeroemisyjne w celu spełnienia wymogów płynących z uepa. Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy zakłada się w stosunku 1 do 1. Optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby elektryfikację podobnie jak w przypadku autobusów elektrycznych linii 6, 7, 8, 17, 23, 26. Natomiast z uwagi na fakt, iż mogłyby być one obsługiwane przez 23 trolejbusy, 24. pojazd mógłby obsługiwać niektóre kursy na liniach 21 i 22. Zatem zakres rzeczowy inwestycji mógłby składać się z zakupu 24 trolejbusów, w tym 16 typu MAXI oraz 8 typu MEGA18 (niektóre z nich będą zastępować obecnie eksploatowane autobusy typu MEGA15).

Co istotne, linie 6, 7, 8, 17, 23 i 26 posiadają, relatywnie długie, wspólne odcinki tras (np. ul. Wolności). Jednakże w przypadku trolejbusów problemem formalnym jest przejazd pod wiaduktem kolejowym w ciągu ul. Drzymały i Kilińskiego, gdzie obowiązuje zakaz wjazdu pojazdów o wysokości powyżej 3,3m (na podstawie znaku B-16, jednocześnie powinien zapewnić zapas 0,5m pomiędzy rzeczywistym prześwitem wiaduktu, a wartością na znaku)³⁵. Wykorzystywane w obecnych sieciach trolejbusowych pojazdy mają według katalogów producenta ok. 3,5m przy złożonych odbierakach, w związku z czym przekracza dopuszczalną znakiem wysokość o ok. 0,2m. Tym samym albo pojawiłoby się wyłączenie dla pojazdów komunikacji albo należałoby zwiększyć prześwit wiaduktu przez obniżenie niwelety

³⁵ ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz.U. 2019 poz. 880)

jezdni (rozwiązanie planowane np. w Gdyni dla potrzeb autobusów gazowych³⁶). Docelowo proponuje się wykonanie przebudowy umożliwiającej zwiększenie prześwietu, ale ze względu na niedawny remont (2020) proponuje się wykorzystanie zastosowania formy wyłączeń „nie dotyczy komunikacji miejskiej”. Dzięki wykorzystaniu zasilania z sieci trakcyjnej na podjazdach, możliwe jest ograniczenie efektu zmniejszenia zasięgu pojazdów akumulatorowych, wynikającego ze zwiększonego zużycia energii. Dzięki zastosowaniu pojazdów akumulatorowych możliwa będzie obsługa strefy „A” ochrony uzdrowskiej, bez wykonywania modyfikacji infrastrukturalnych mogących wpłynąć na walory uzdrowskie oraz estetyczne dzielnicy Uzdrowskiej Cieplice.

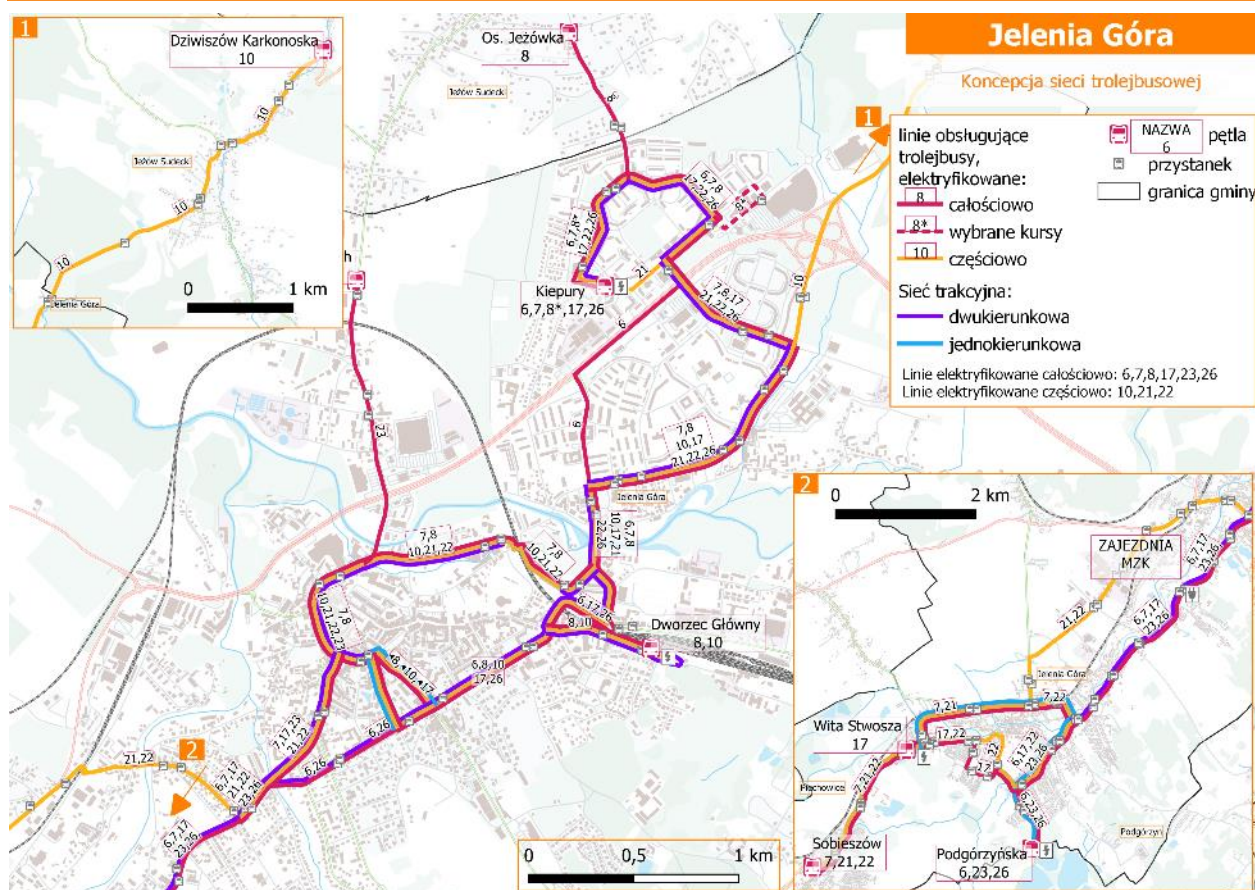
W celu minimalizacji nakładów inwestycyjnych, na części tras zostanie zamontowana trakcja wyłącznie w jednym kierunku, gdyż przewidziano wykorzystanie pojazdów z akumulatorami ładowanymi zarówno w trakcie postoju na pętli, jak i w trakcie jazdy na odcinkach z siecią trakcyjną, wykorzystywanymi już w regularnej eksploatacji w eksploatowanych polskich systemach. Do zasilania sieci trakcyjnej potrzebne będzie 5 podstacji trakcyjnych.

Na linii 6 trolejbusy mogłyby poruszać się z napędem bateryjnym na odcinkach od pętli Podgórzeńska do przystanku Marcinkowskiego, od przystanku przy skrzyżowaniu ul. Różyckiego i Ogińskiego do przystanku Sygietyńskiego (w obu kierunkach). Linia 7 wykorzystywałaby baterie od przystanku Drzymały do Osiedle Robotnicze (w obu kierunkach, ze względu na niski wiadukt kolejowy), od Os. Orle do Marcinkowskiego oraz Sobieszów – Os. Orle (w obu kierunkach). Linia 8 korzystałaby z trakcji na 2 odcinkach swojej trasy: Dworzec Kolejowy – Osiedle Robotnicze oraz Drzymały – Sygietyńskiego (na wybranych kursach do pętli Kiepury).

Na linii 17 trolejbusy poruszałyby się z napędem bateryjnym na odcinkach, W. Stwosza – Termy Cieplickie (w obu kierunkach, dla uniknięcia budowy sieci trakcyjnej w strefie „A” ochrony uzdrowskiej) oraz Termy Cieplickie – Marcinkowskiego. Linia 23 wykorzystywałaby akumulatory na odcinku Podgórzeńska – Marcinkowskiego oraz w obu kierunkach pomiędzy przystankami Podwale i Podchorążych. Linia 26 korzystałaby z trakcji trolejbusowej na prawie całej trasie (oprócz odcinka z trakcją jednokierunkową od Podgórzeńskiej do Marcinkowskiego).

Dzięki obecnie obowiązującemu w MZK Jelenia Góra systemowi przydzielania poszczególnych kursów do brygad, związanym z relatywnie małą liczbą zmian linii w ramach brygady, wprowadzenie trolejbusów będzie wymagać tylko nieznacznych zmian przydziałów pojazdów (m.in. zamiany typu MEGA15 na MEGA18). W analizowanym wariantcie łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Jeleniej Górze docelowo może wynieść 32,0 km trakcji pojedynczej (w tym 6,8 km na odcinkach jednokierunkowych).

³⁶ Obecnie gotowa jest dokumentacja dla projektu „Przebudowa ulicy Stryjskiej w Gdyni, w celu obniżenia niwelety drogi pod wiaduktem kolejowym na linii kolejowej nr 201”



Rys. 4.8 Schemat koncepcji sieci trolejbusowej

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.10 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1 800 000 zł	16	28 800 000 zł
MEGA18	2 050 000 zł	8	16 400 000 zł
Ogółem		24	45 200 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebne będą łącznie 24 trolejbusy - pojazdami rezerwowymi pozostaną pojazdy spalinowe, ze względów technicznych i praktycznych (wspólna rezerwa dla pojazdów elektrycznych oraz spalinowych pozwoli utrzymać liczbę zadań rezerwowych na podobnym poziomie). 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 obsługiwać około 4 km odcinki sieci – koszt budowy jednej podstacji szacuje się na poziomie około 2,1 mln zł netto. Poniżej zestawiono łączne koszty uruchomienia trakcji trolejbusowej w komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze. Założono także szacunkowy łączny koszt związany z przebudową wiaduktu w ciągu ul. Drzymały na poziomie ok. 5 mln zł. Łączne nakłady inwestycyjne na uruchomienie komunikacji trolejbusowej w Jeleniej Górze wyniosą niecałe 137 milionów zł.

Tab. 4.11 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	45,20 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	64,00 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	10,50 mln zł

Koszt przebudowy wiaduktu przy ul. Drzymały	5,00 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	136,90 mln zł

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), na dodatkową infrastrukturę do obsługi pojazdów zeroemisyjnych – budowę stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem, ładowarek do autobusów elektrycznych akumulatorowych bądź sieci trakcyjnej. Dodatkowym atutem jest brak konieczności dostosowania istniejącej infrastruktury (np. zajezdni) do obsługi pojazdów zeroemisyjnych. Na potrzeby analizy przyjęto, że nowe pojazdy o napędzie spalinowym będą mieć najwyższą obecnie normę emisji spalin EURO 6. Na podstawie ostatnich przetargów można założyć koszt pojedynczego autobusu klasy MAXI zasilanego ON na poziomie około 1,05 mln zł netto oraz około 1,35 mln zł netto za autobus MEGA18 ON.

Tab. 4.12 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MAXI ON	16	1,05 mln zł	16 800 000
MEGA18 ON	8	1,35 mln zł	10 800 000
Koszt całkowity inwestycji:			27 600 000

Źródło: Opracowanie własne

4.5 Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru

W niniejszym podrozdziale została przeprowadzona analiza wielokryterialna wyboru wariantu wymiany taboru. Na potrzeby analizy oceniono metodą ekspercką w skali od 1 do 5 poszczególne warianty pod względem następujących aspektów jakościowych:

- techniczny:
 - łatwość wprowadzenia rozwiązania i konieczność budowy nowej lub przebudowy infrastruktury,
 - zasięg oferowany przez rozwiązanie,
 - elastyczność zarządzania taborem i możliwość używania pojazdów na innych liniach,
- społeczny:
 - zdolność przewozowa, tj. liczba potencjalnych pasażerów możliwych do przewiezienia taborem,
 - wpływ na poprawę wizerunku transportu publicznego,
- dostępność technologiczna:
 - dostępność rozwiązania technologicznego w Polsce

- środowiskowy:
 - emisja spalin,
 - emisja hałasu,
- ekonomiczno-finansowy:
 - koszt wprowadzenia rozwiązania.

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

Tab. 4.13 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom

l.p.	Aspekt		Waga aspektów szczegółowych		Waga aspektu
			Częstkowa	Łączna	
1.1	Techniczny	łatwość wprowadzenia	0,25	1,00	0,20
1.2		zasięg pojazdu	0,40		
1.3		elastyczność zarządzania taborem	0,35		
2.1	Społeczny	zdolność przewozowa	0,70	1,00	0,10
2.2		wpływ na poprawę wizerunku transportu publicznego	0,30		
3.1	Dostępność technologiczna	dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	1,00	0,20
4.1	Środowiskowy	emisja spalin	0,50	1,00	0,25
4.2		emisja hałasu	0,50		
5.1	Ekonomiczno-finansowy	koszty wprowadzenia	1,00	1,00	0,25

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. 4.14 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

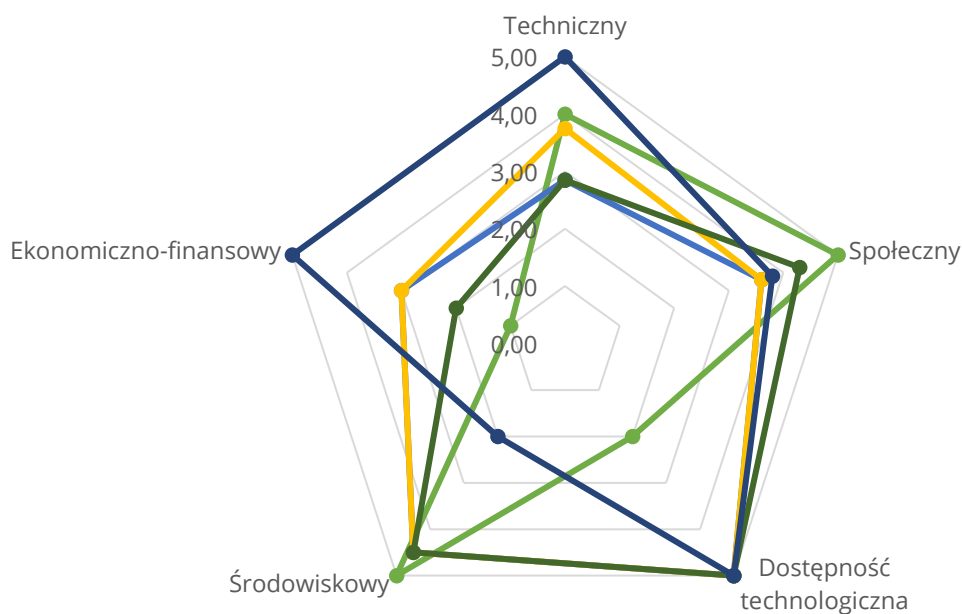
Aspekt szczegółowy	Ocena				
	Autobus napędzany wodorem	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi	Trolejbus	Autobus z napędem konwencjonalnym
łatwość wprowadzenia	1,00	4,00	3,00	2,00	5,00
zasięg	5,00	2,00	4,00	5,00	5,00
elastyczność zarządzania taborem	5,00	3,00	4,00	1,00	5,00
zdolność przewozowa	5,00	3,00	3,00	4,00	5,00
wpływ na poprawę wizerunku transportu publicznego	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00

Aspekt szczegółowy	Ocena				
	Autobus napędzany wodorem	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi	Trolejbus	Autobus z napędem konwencjonalnym
dostępność rozwiązania technologicznego	2,00	5,00	5,00	5,00	5,00
emisja spalin	5,00	4,00	4,00	4,00	2,00
emisja hałasu	5,00	5,00	5,00	5,00	2,00

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wariantów w poszczególnych aspektach

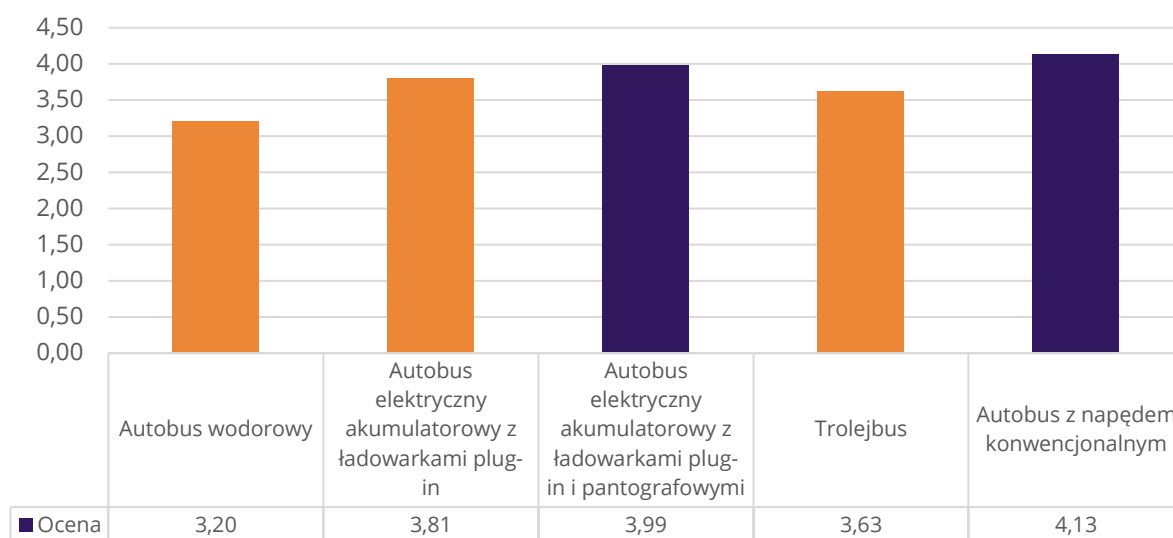
- Autobus wodorowy
- Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in
- Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi
- Trolejbus
- Autobus z napędem konwencjonalnym



Rys. 4.9 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.10 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 4,13. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 3,99. Powyższe dwa warianty będą poddane 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.

Tab. 4.15 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze.

W0	W1
Odnowa floty w oparciu o autobusy konwencjonalne z napędem spalinowym	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 24 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych</p> <p>Całościowo elektryfikowane linie: 6, 7, 8, 17, 23 i 26,</p> <p>Częściowo elektryfikowana linia: 10,</p> <p>Uzupełniająco elektryfikowane linie: 2, 9, 11, 13, 15, 20, 21, 22, 24</p> <p>Budowa 12 szt. dwustanowiskowych lub 24 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 4 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania na pętlach Dworzec Kolejowy, Kiepury, Podgórzynska i Wita Stwosza działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in</p> <p>Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>

Źródło: Opracowanie własne

5 Analiza finansowa

Na podstawie analizy wielokryterialnej do dalszej analizy wybrano wariant z autobusami o napędzie konwencjonalnym (wariant W0) oraz z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in i pantografowymi (wariant W1).

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 2022-2043.
- W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 4%.
- Analiza została 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 w projekcie zostaną podjęte w 2022 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2023 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 2018 r. z usług komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze korzystało średniomiesięcznie 895 536 pasażerów³⁷.
- Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 15% do poziomu ok. 60 tys. wzkm rocznie, kosztem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów.

5.2 Nakłady inwestycyjne

Koszty 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 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).

³⁷ Źródło: „Badania marketingowe wielkości popytu na usługi jeleniogórskiej komunikacji miejskiej wraz z koncepcją zmian oferty przewozowej”, s. 44, PTC Public Transport Consulting Marcin Gromadzki, 2018.

Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1

Wariant W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 4 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	9 200 000 zł
Zakup 4 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MEGA18 o długości 18 m	2022	11 200 000 zł
Budowa 4 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2022	900 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Jana Kiepur	2022	950 000 zł
Przygotowanie infrastruktury energetycznej i trafostacji przy zajezdni	2022	1 000 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	13 800 000 zł
Zakup 2 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MEGA18 o długości 18 m	2024	5 600 000 zł
Budowa 4 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2024	900 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Podgórzyńska	2024	950 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	13 800 000 zł
Zakup 2 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MEGA18 o długości 18 m	2027	5 600 000 zł
Budowa 4 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	900 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowych z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Dworzec Kolejowy oraz Wita Stwosza	2027	1 900 000 zł
	Suma:	66 700 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

Stopień elektryfikacji linii			
LINIA	2023 r.	2025 r.	2028 r.
6	CZĘŚCIOWA	PEŁNA	PEŁNA
7	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
8	BRAK	BRAK	PEŁNA
10	BRAK	BRAK	CZĘŚCIOWA
17	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
23	BRAK	BRAK	PEŁNA
26	BRAK	PEŁNA	PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

5.3 Wartość nakładów odtworzeniowych

W obu wariantach inwestycyjnych założono ponoszenie nakładów o charakterze odtworzeniowym, które mają na celu utrzymanie poziomu świadczonych usług. Założono, że nakłady będą poniesione zgodnie z planem operatora lub po 15 latach użytkowania pojazdu o napędzie elektrycznym bądź spalinowego wyprodukowanego przed 2010 r. W przypadku pojazdów młodszych o napędzie konwencjonalnym okres eksploatacji zmniejszono stopniowo do 10 lat, który przyjęto dla autobusów wyprodukowanych po 2021 roku. Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.3. Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatorów stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2030 roku ich cena spadnie o 10% względem dzisiejszej. W Tab. 5.4 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w W0 i W1.

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych

Rodzaj środka trwałego	Okres eksploatacji (żywności) w latach	Stopień odtworzenia po zakończeniu eksploatacji (żywności) w %
Zakup autobusów	Autobusy spalinowe: od 10 do 15 w zależności od roku produkcji, przy czym 10 lat dla wszystkich autobusów wyprodukowanych po 2021 r. (okres zgodny z wytycznymi w Niebieskiej Księdze). Autobusy elektryczne akumulatorowe: 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 pojazdów	40	100%
Stacje ładowania	15	100%
Akumulatory w autobusach elektrycznych	8	100%

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.4 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1

Rok	Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	Zmiana (W1 – W0) w zł
2021	-	-	-
2022	21 500 000,00	12 700 000,00	-8 800 000,00
2023	-	-	-
2024	14 600 000,00	5 600 000,00	-9 000 000,00
2025	-	-	-
2026	10 800 000,00	10 800 000,00	-
2027	9 000 000,00	-	-9 000 000,00
2028	10 600 000,00	10 600 000,00	-
2029	-	-	-
2030	19 950 000,00	22 810 000,00	2 860 000,00
2031	-	-	-
2032	21 500 000,00	18 820 000,00	-2 680 000,00
2033	-	-	-
2034	14 600 000,00	5 600 000,00	-9 000 000,00
2035	-	6 120 000,00	6 120 000,00
2036	10 800 000,00	10 800 000,00	-
2037	9 000 000,00	20 400 000,00	11 400 000,00
2038	10 600 000,00	10 600 000,00	-
2039	-	19 400 000,00	19 400 000,00
2040	19 950 000,00	19 950 000,00	-
2041	-	-	-
2042	21 500 000,00	32 100 000,00	10 600 000,00
2043	-	-	-

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.5 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1

Wyszczególnienie	Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2021-2043
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	194 400 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych - W1 w zł	206 300 000,00
Zmiana (W1 - W0)	11 900 000,00

Źródło: Opracowanie własne

5.4 Prognoza kosztów operacyjnych

Do kosztów operacyjnych zaliczono wszystkie koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów elektrycznych akumulatorowych w wariantach W0 i W1. Analizę przeprowadzono z podziałem na warianty oraz rozróżnieniem na poszczególne składowe. W obu wariantach analizy 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. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszty	Wariant W0	Wariant W1
Koszty zużycia materiałów i części zamiennych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych
Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2019 r. wyrażonych w zł na wzkm	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2019 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiada mniej płynów eksploatacyjnych niż autobus 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.
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 07.04.2021 r.	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 07.04.2021 r.
Średnie zużycie energii	-	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe.
Zużycie 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 SA
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.

Koszty	Wariant W0	Wariant W1
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.	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 elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 12%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 12%, dla infrastruktury energetycznej – 5%, dla stacji ładowania – 10%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr 131.XVII.2015 Rady Miejskiej Jeleniej Góry z dnia 17 listopada 2015 w sprawie określenia stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale Nr 131.XVII.2015 Rady Miejskiej Jeleniej Góry z dnia 17 listopada 2015 w sprawie określenia stawek podatku od środków transportowych
Ubezpieczenia	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Jelenia Góra z 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.
Koszty wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Założono, że koszty 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 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. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1

Wariant W1	
Wartość rezydualna w zł	42 317 500,00 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	213 432 500,00 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	255 750 000,00 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 4%.

Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego

Kategoria	Wariant W1
FNPV/C	- 30 058 179,77
FRR/C	-5%

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 w W1, generowane przez wyższe koszty jednostkowe autobusów elektrycznych akumulatorowych w porównaniu do autobusów konwencjonalnych. Ponadto w wariantcie W1 wartość nakładów odtworzeniowych znacznie wzrasta z uwagi na konieczność wymiany akumulatorów po 7. roku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych.

Wielkość kosztów operacyjnych w wariantcie W1 będzie niższa, dzięki oszczędnościom wynikającym z niższych 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 udziale autobusów zeroemisyjnych w rozumieniu uępa wyniósł 59% i oznacza umiarkowany poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji obejmującej zakup autobusów zeroemisyjnych wraz z niezbędną infrastrukturą ładowania.

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż elektryfikacja komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze zaplanowana w wariantcie W1 nie zaburzy stabilności finansowej Miasta Jelenia Góra 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 (Dz. U. z 2021 r. poz. 305), 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 (Dz. U. z 2021 r. poz. 305), 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 dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi

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 elektrycznych akumulatorowych, 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.

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 do³⁸:

- 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 dzieci, powodując astmę, białaczkę, ograniczony wzrost płuc.

³⁸ Update of the Handbook on External Costs of Transport, RICARDO-AEA, 2014.

Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

- śmiertelnych chorób dotyczących 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 wariantu inwestycyjnego na przestrzeni lat 2021-2043. 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.

Tab. 6.1 Emisja spalin w dolnej warstwie atmosfery w wariantach W0 i W1 [w Mg]

Roczne zestawienia emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery oraz gazów cieplarnianych dla W0 i W1 [w Mg]	W0	W1	W0	W1	W0	W1	W0	W1	W0	W1
	SO2		NOx		PM 2,5/ PM		NHMC/NMVOC		CO2	
2021	-	-	36,90	36,90	0,69	0,69	6,34	6,34	3 872,18	3 872,18
2022	-	-	36,90	36,90	0,69	0,69	6,34	6,34	3 872,18	3 872,18
2023	-	0,36	14,37	14,13	0,24	0,24	3,13	2,92	3 872,18	3 958,69
2024	-	0,36	14,37	14,13	0,24	0,24	3,13	2,92	3 872,18	3 958,69
2025	-	0,70	7,45	6,93	0,16	0,17	2,24	1,82	3 872,18	4 007,42
2026	-	0,70	7,45	6,93	0,16	0,17	2,24	1,82	3 872,18	4 007,42
2027	-	0,70	5,96	5,44	0,15	0,16	1,94	1,51	3 872,18	4 007,42
2028	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2029	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2030	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2031	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2032	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2033	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2034	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2035	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2036	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2037	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2038	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2039	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14

Roczne zestawienia emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery oraz gazów cieplarnianych dla W0 i W1 [w Mg]	W0	W1	W0	W1	W0	W1	W0	W1	W0	W1
	SO ₂		NO _x		PM 2,5/ PM		NHMC/NMVOC		CO ₂	
2040	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2041	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2042	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
2043	-	1,04	5,96	5,16	0,15	0,16	1,94	1,30	3 872,18	4 056,14
Suma	-	19,43	218,70	203,96	4,72	4,90	56,34	44,43	89 060,08	92 582,30
Zmiana [W1 - W0]		19,43		- 14,74		0,19		- 11,91		3 522,22

Źródło: Opracowanie własne

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż redukcja emisji dotknie tlenki azotu NO_x (o 14,74 Mg) oraz metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 11,91 Mg). Widoczny jest wyraźny wzrost emisji dwutlenku węgla, gdyż pierwsza z tych substancji emitowana jest podczas produkcji energii elektrycznej. Jest to spowodowane faktem, iż polski sektor energetyki oparty jest na spalaniu węgla, co przekłada się na bardzo niekorzystne wskaźniki dla pojazdów napędzanych energią elektryczną.

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. określająca ich co najmniej 27% udział w strukturze wytwarzania energii elektrycznej w 2030 r. Dlatego też przewiduje się, iż wskaźniki emisyjności dla pojazdów elektrycznych akumulatorowych w najbliższych latach ulegną poprawie.

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

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

Podczas analizy 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 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 z wprowadzeniem do eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, jak i konwencjonalnych.

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego³⁹. Zakładają one uwzględnienie:

- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla gazów cieplarnianych CO₂, wynikających ze struktury produkcji energii elektrycznej w Polsce, wytwarzanej głównie przez elektrownie ciepłone, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,
- w wariantcie W0 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla szkodliwych substancji emitowanych do niższych warstw atmosfery (NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5),
- w wariantcie W1 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych 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.

Wskaźniki emisyjności CO₂ wskazane w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach pochodzących z opracowania EIB Carbon Footprint z 2012 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźnik emisyjności CO₂ w Polsce obniżył się w latach 2016 - 2019 o 7,9%, w związku z czym na potrzeby niniejszego opracowania uwzględniono wartość 719 kg/MWh emisji przy produkcji energii elektrycznej (wskazaną jako wartość rzeczywistą w 2019 r.).

³⁹ Źródło: https://www.cupt.gov.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=692&Itemid=411

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA z 2014 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźniki emisyjności NO_x, PM_{2,5} w Polsce obniżyły się w latach 2016 – 2019 odpowiednio o 30,1% i 45,3%. Dlatego też na potrzeby niniejszego dokumentu uwzględniono następujące wartości rzeczywiste z 2019 r. emisji szkodliwych substancji przy produkcji energii elektrycznej w Polsce:

- dla NO_x: 0,576 g/kWh,
- dla PM: 0,029 g/kWh,
- dla CO₂: 719 kg/MWh,
- dla SO₂: 0,511 g/kWh.

Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2021-2043

Związek chemiczny	W0	W1	W0	W1	Zmiana kosztów zewnętrznych w wyniku realizacji W1
	Łączna emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w Mg]		Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w zł]		
SO ₂	-	19,43	0,00 zł	2 225 836,20 zł	2 225 836,20 zł
NO _x	218,70	203,96	20 767 416,76 zł	18 631 071,55 zł	- 2 136 345,20 zł
PM 2,5	4,72	4,90	7 553 540,50 zł	6 177 365,75 zł	- 1 376 174,75 zł
NHMC/NMVOC	56,34	44,43	695 061,44 zł	533 742,01 zł	- 161 319,43 zł
CO ₂	89 060,08	92 582,30	21 045 401,57 zł	21 912 413,47 zł	867 011,90 zł
SUMA	89 339,84	92 855,03	50 061 420,26 zł	49 480 428,99 zł	- 580 991,27 zł

Źródło: Opracowanie własne

Największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na korzyść wariantu W1 przewidującego rozpoczęcie eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, można dostrzec w kosztach emisji tlenkach azotu NO_x, pyłów zawieszonych PM 2,5. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x oraz PM 2,5 wynosić będą odpowiednio ok. 2,1 oraz 1,4 mln zł.

Koszty emisji metanowych lotnych związków organicznych spadną o ok. 0,2 tys. zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji wzrosną o ok. 0,9 mln zł, z uwagi na emisję tego związku do górnych warstw atmosfery w wyniku produkcji energii elektrycznej opartej na spalaniu węgla. Największy przyrost kosztów w wyniku realizacji wariantu W1 cechuje emisję tlenków siarki, mającą miejsce wyłącznie przy użytkowaniu autobusów elektrycznych akumulatorowych i wynosi on ok. 2,2 mln zł.

Podsumowując, realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ponad ok. 0,6 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.



Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Rzeszowie

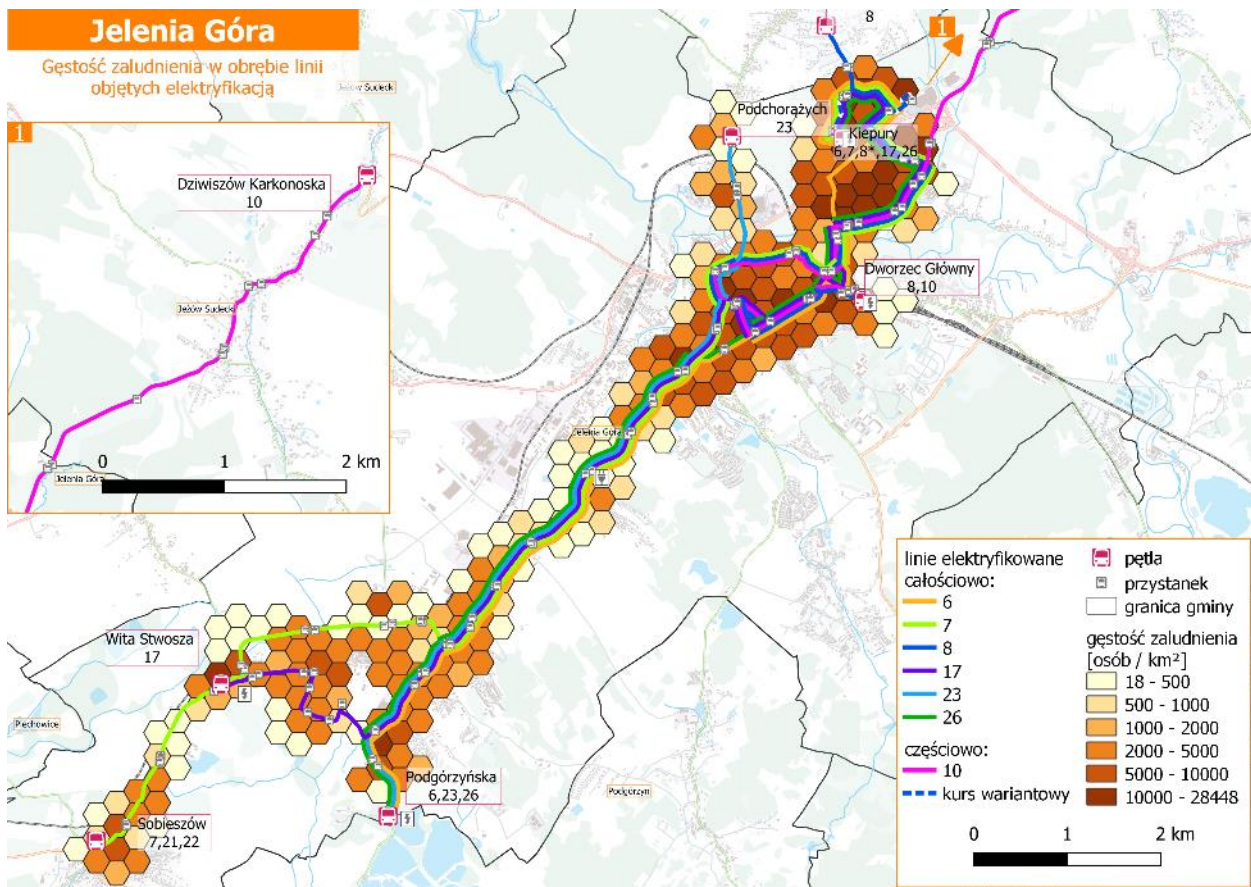
Źródło: Zbiory własne

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA 2014),
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,
- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych⁴⁰,
- średnią gęstość zaludnienia typowego obszaru miejskiego, zgodnie z założeniami wskazanymi w Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA, 2014),
- gęstość zaludnienia na podstawowych trasach linii objętych całkowitą elektryfikacją (3259,7 os./km²), przez co relacja gęstości zaludnienia przy całościowo elektryfikowanych liniach do średniej gęstości zaludnienia obszaru miejskiego (3000 os./km²) wynosi 1,087.

Rys. 7.2 przedstawia gęstość zaludnienia w obrębie 250 metrów od linii obsługiwanych przez autobusy elektryczne akumulatorowe, który jest zamieszkały przez 47 928 mieszkańców.

⁴⁰ Quieter buses socioeconomic effects”, Koucky & Partners A.B, 2014.



Rys. 7.2 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.

Źródło: Opracowanie własne

Korzyści zewnętrzne wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu po wprowadzeniu do eksploatacji autobusów elektrycznych zostały zmnożone o wskaźnik relacji gęstości zaludnienia obszarów wzdłuż całościowo elektryfikowanych linii do gęstości zaludnienia typowego obszaru miejskiego, wynoszący 1,087.

Poniższa tabela przedstawia zindeksowane ceny za hałas emitowany w obu wariantach analizy w latach 2021-2043 oraz zmonetyzowane korzyści zewnętrzne w wyniku jego redukcji.

Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu w wariantach W0 i W1 na przestrzeni lat 2021-2043

Rok	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W0	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W1	Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu
2021	1 488 799,74 zł	1 488 799,74 zł	- zł
2022	1 531 658,06 zł	1 531 658,06 zł	- zł
2023	1 585 663,97 zł	1 536 116,48 zł	- 49 547,49 zł
2024	1 626 664,56 zł	1 575 835,92 zł	- 50 828,64 zł
2025	1 684 893,74 zł	1 578 773,63 zł	- 106 120,11 zł
2026	1 730 313,08 zł	1 621 332,31 zł	- 108 980,77 zł
2027	1 777 217,19 zł	1 665 282,25 zł	- 111 934,95 zł
2028	1 841 476,89 zł	1 668 147,89 zł	- 173 329,00 zł
2029	1 887 505,13 zł	1 709 843,72 zł	- 177 661,41 zł

Rok	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W0	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W1	Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu
2030	1 934 950,25 zł	1 752 823,06 zł	- 182 127,18 zł
2031	1 982 341,40 zł	1 795 753,52 zł	- 186 587,87 zł
2032	2 029 596,61 zł	1 838 560,84 zł	- 191 035,77 zł
2033	2 076 628,23 zł	1 881 165,61 zł	- 195 462,62 zł
2034	2 123 341,93 zł	1 923 482,38 zł	- 199 859,55 zł
2035	2 169 633,17 zł	1 965 416,46 zł	- 204 216,71 zł
2036	2 215 426,21 zł	2 006 899,23 zł	- 208 526,98 zł
2037	2 262 397,52 zł	2 049 449,37 zł	- 212 948,16 zł
2038	2 308 734,90 zł	2 091 425,24 zł	- 217 309,66 zł
2039	2 354 327,51 zł	2 132 726,44 zł	- 221 601,07 zł
2040	2 400 970,82 zł	2 174 979,46 zł	- 225 991,37 zł
2041	2 448 657,02 zł	2 218 177,19 zł	- 230 479,83 zł
2042	2 495 442,26 zł	2 260 558,77 zł	- 234 883,49 zł
2043	2 541 218,65 zł	2 302 026,45 zł	- 239 192,19 zł
SUMA	46 497 858,85 zł	42 769 234,02 zł	- 3 679 077,34 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że są znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów elektrycznych w W1 w postaci ok. 3,7 mln zł w okresie objętym analizą.

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. Korzyść tą oszacowano na podstawie różnicy kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji przez autobusy spalinowe, liczoną między wariantem W1 (w którym część pracy eksploatacyjnej autobusów spalinowych będzie wykonywana przez zeroemisyjne autobusy elektryczne akumulatorowe) i wariantem W0.

Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2021-2043.

Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w zł		Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji w zł
W0	W1	
50 061 420,26 zł	38 393 293,74 zł	- 11 668 126,52 zł

Źródło: opracowanie własne

Zwiększona liczba wozogodzin w wariantcie W1 wygenerowana przez dłuższe postoje wyrównawcze na krańcach, spowoduje konieczność zwiększenia zatrudnienia w grupie kierowców. Dodatkowe wozogodziny dadzą możliwość znalezienia pracy dla osób pozostających bez zatrudnienia, dając wymierne korzyści dla członków lokalnej społeczności w formie wynagrodzeń, ale także dla budżetu centralnego i Zakładu Ubezpieczeń Społecznych w postaci dodatkowych składek ubezpieczeniowych oraz zwiększonych poziomów odprowadzanych podatków dochodowych. Wspomniany aspekt został uznany za kolejną korzyść ekonomiczną tworzoną w wyniku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych w wariantcie W1 – jej wartość prezentuje poniższa tabela.

Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń na przestrzeni lat 2021-2043.

Przyrost poziomu kosztów wynagrodzeń w zł		Zmonetyzowane korzyści społeczne ze zwiększenia zatrudnienia w zł
W0	W1	
-	9 198 000,00 zł	9 198 000,00 zł

Źródło: opracowanie własne

7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Analiza została przeprowadzona w oparciu o „Niebieską Księgę – Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach”. Przeprowadzając analizę ekonomiczną, a zarazem porównawczą dwóch wariantów, przyjęto następujące założenia:

- wskaźniki efektywności ekonomicznej wyliczono metodą różnicową,
- społeczna stopa dyskontowa wynosi 4,5%,
- analiza została przeprowadzona w latach 2021-2043,
- 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. 7.5.

Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

Współczynnik korekty dla nakładów, remontów i wartości rezydualnej	Wartość współczynnika
Infrastruktura	0,83
Tabor	0,87
Koszty operacyjne	0,78

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 4,5%,
- 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 elektryczne akumulatorowe jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ 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 wymiarze wynikającym z docelowych poziomów udziału tychże pojazdów w uepa 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 Jeleniej Górze nie jest wymagane. Niemniej jednak, uwzględniając potencjalne korzyści finansowe, ekonomiczne i społeczne dla mieszkańców Jeleniej Góry i ościennych gmin, planowane jest przeprowadzenie modernizacji floty MZK Jelenia Góra w oparciu o autobusy elektryczne akumulatorowe. 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 elektrycznych akumulatorowych 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 24 autobusów zeroemisyjnych dla spełnienia docelowego udziału wskazanego w uepa.

Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z zakładanego w analizie poziomu 2 300 000 PLN netto do ok. 1 863 000 PLN netto, a MEGA18 z 2 800 000 PLN netto do ok. 2 268 000 PLN netto.

Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	Wartość
ENPV	- 11 960 238,43 zł
ERR (%)	0,3%
B/C	0,70

Źródło: Opracowanie własne

7.5 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).

Zmiany procentowe zostały zastosowane do wartości w każdym roku w obu wariantach.

Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
Wartość bazowa		-11 960 238,43 zł		0,35%		0,70	
Nakłady inwestycyjne	25%	-24 492 285,90 zł	104,78%	-2,05%	-692%	0,54	-24%
	15%	-19 479 466,91 zł	62,87%	-1%	-452%	0,59	-16%
	-15%	-4 441 009,94 zł	-62,87%	2,58%	644%	0,86	23%
	-25%	571 809,05 zł	-104,78%	4,80%	1285%	1,02	45%
Koszty operacyjne	25%	-10 896 228,67 zł	-8,90%	0,72%	108%	0,72	3%
	15%	-11 321 832,58 zł	-5,34%	0,57%	65%	0,72	2%
	-15%	-12 598 644,28 zł	5,34%	0,12%	-65%	0,69	-2%
	-25%	-13 024 248,18 zł	8,90%	-0,03%	-108%	0,69	-3%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		-12 563 779,57 zł	-18 841 061,06 zł	57,53%	-1,03%	-396%	0,60

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. Wdrożenie autobusów zeroemisyjnych będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 24,0%.

Tab. 7.8 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%)	-12 461 520,32 zł	4,19%	-24,00%
Koszty operacyjne (+1%)	-11 917 678,04 zł	-0,36%	-

Źródło: Opracowanie własne

8 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.

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
Ryzyko techniczne			
R1	Bardzo wysoki popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Zbyt duża liczba zamówień na autobusy elektryczne wynikająca z obowiązku spełnienia minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych wskazanych w uepa.	Ryzyko może wpłynąć na opóźnienie we wdrażaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu w terminach wynikających z uepa.
R2	Opóźnienia w budowie ładowarek terenowych	Opóźnienie w budowie ładowarek na pętlach może wynikać z dużej liczby zamówień na ładowarki. Mogą również wystąpić opóźnienia ze względu na sezonowość robót budowlanych (brak możliwości prowadzenia robót w miesiącach zimowych przy bardzo niskich temperaturach).	Opóźnienie we wprowadzaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe (brak możliwości doładowywania pojazdów).
R3	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.)	Nieodpowiednie zarządzanie firmy wykonującej roboty.	Wzrost kosztów pojazdów i infrastruktury. Opóźnienie we wprowadzaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
Ryzyko eksploatacyjne			
R4	Awarie stacji wolnego ładowania (ładowarek zajezdniowych)	Awaryjność urządzeń.	W zależności od skali awarii – zastąpienie autobusów elektrycznych, autobusami spalinowymi lub brak realizacji części kursów (brak możliwości ładowania pojazdów). Dodatkowe koszty poniesione na naprawę niesprawnych stacji wolnego ładowania.
R5	Przerwa w dostawie prądu	Zbyt duże obciążenie sieci energetycznej spowodowane między innymi ładowaniem pojazdów o napędzie elektrycznym lub okresowymi, skokowymi wzrostami poboru energii	W zależności od długości przerwy w dostawie – zaburzenie harmonogramu ładowania autobusów elektrycznych lub częściowe zaburzenie funkcjonowania systemu komunikacji zbiorowej.
R6	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Częstsze naprawy pojazdów, wyższe koszty paliwa i energii.	Wzrost kosztów eksploatacyjnych.
R7	Ryzyko niezajomości rzeczywistych parametrów operacyjnych taboru	Rzeczywista, mniejsza pojemność akumulatorów niż podana w danych technicznych	Krótszy zasięg autobusu, problemy z eksploatacją autobusu na liniach komunikacyjnych

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
R8	Ryzyko niezawodności technicznej	Wady fabryczne autobusu i podzespołów.	Problem z realizacją połączeń pojazdami zeroemisyjnymi.
R9	Wzrost taryfy za prąd	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach energii oraz cykle koniunkturalne	Wyższe koszty eksploatacyjne pojazdów zeroemisyjnych
R10	Uszkodzenia sieci zasilającej stacje ładowania	Przerwanie sieci energetycznej w gruncie podczas robót budowlanych	W zależności od długości przerwy w dostawie - zaburzenie harmonogramu ładowania autobusów elektrycznych lub częściowe zaburzenie funkcjonowania systemu komunikacji zbiorowej.
R11	Wyższa awaryjność taboru związana z zastosowaniem nowej technologii	Problemy związane z zastosowaniem nowej technologii (brak podzespołów, dłuższy czas oczekiwania)	Brak możliwości wykorzystania pojazdu do zadań przewozowych, wzrost kosztów napraw.
R12	Opóźnienia w dostawie autobusów	Zbyt duża liczba zamówień na autobusy elektryczne wynikająca z obowiązku spełnienia minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych wskazanych w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
R13	Nadmierne skrócenie żywotności baterii i konieczność częstszej wymiany	Nieodpowiednia eksploatacja pojazdów i ładowanie akumulatorów. Wada fabryczna akumulatora	Częstsze ponoszenie kosztów na wymianę baterii. Problemu z eksploatacją pojazdów
Ryzyko administracyjne			
R14	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Problemy w negocjacjach z dostawcą energii elektrycznej oraz brak odpowiednich mocy przyłączeniowych w pobliżu planowanej infrastruktury ładowania.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe (brak możliwości ładowania pojazdów). Czasowy brak wykorzystania wybudowanej infrastruktury.
R15	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	Zmiana priorytetów we wspieranej technologii – z autobusów elektrycznych akumulatorowych na autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi lub zmiana ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych.	Zaprzestanie prowadzenia projektu i zwiększona niepewność podmiotów dokonujących inwestycji w tabor elektryczny.
R16	Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę)	Niespełnienie wszystkich warunków formalnych.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
R17	Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych	Opóźnienie w wydaniu decyzji przez RDOŚ we Wrocławiu oraz właściwego organu odpowiedzialnego za gospodarkę wodną	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
R18	Opóźnienia w usuwaniu kolizji z sieciami dystrybucyjnymi	Kolidowanie sieci dystrybucyjnych z budowaną infrastrukturą do ładowania lub budowanymi sieciami energetycznymi do zasilania infrastruktury	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
R19	Opóźnienia w realizacji procedur	Problem z wyborem wykonawcy	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
R20	Zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska	Konieczność zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
Ryzyko finansowe			
R21	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Zaprzestanie prowadzenia programów wspierających rozwój elektromobilności.	Opóźnienie w realizacji projektu lub zaprzestanie wdrażania ze względu na poszukiwanie innych źródeł finansowania lub ich brak.
R22	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Wzrost popytu na autobusy elektryczne i infrastrukturę do ładowania pojazdów oraz rosnący koszt usług budowlanych.	Opóźnienie w realizacji oraz zwiększenie kosztów projektu
R23	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach oraz cykle koniunkturalne	Opóźnienie w realizacji projektu oraz zwiększenie kosztów projektu
R24	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			
R25	Zmiana zasięgu autobusu podczas nadzwyczajnych upałów lub mrozów	Pomimo podanych danych eksploatacyjnych dotyczących zasięgu przez producentów taboru (około 160 km), występuje różnica w warunkach ekstremalnych. Pojemność akumulatorów w sezonie zimowym jest mniejsza względem miesięcy letnich, a zasięg jest obniżany przez dodatkowe zużycie energii na ogrzewanie, natomiast w sezonie letnim w związku z uruchamianą klimatyzacją.	Koszty sprowadzenia autobusu do bazy lub punktu ładowania, gdy zostanie przeszacowany zasięg autobusu.
R26	Możliwość wystąpienia szkody w środowisku	Modyfikacja środowiska spowodowana budową infrastruktury	Wystąpienie szkody w środowisku
Ryzyko popytowe			
R27	Poziomy ruch 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. 8.2 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. 8.3 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
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. 8.4 Macierz oceny ryzyka

		Siła oddziaływania				
		I	II	III	IV	V
Prawdopodobieństwo	A					R15, R21
	B		R2, R14, R16, R17, R25	R4, R20, R26		
	C		R1, R12, R12, R19, R27	R9, R3, R13 R23, R24	R5, R7, R8, R10, R11, R27	
	D			R6, R9, R22		
	E					

Legenda:

	Niski poziom ryzyka		Wysoki poziom ryzyka
	Średni 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. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
Ryzyko techniczne			
R1	Zbyt duży popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Założenie dłuższego czasu produkcji pojazdu lub wcześniejsze rozpięcie przetargu, wprowadzenie kar umownych dla producenta.	średni
R2	Opóźnienia w budowie ładowarek terenowych	Założenie dłuższego czasu produkcji ładowarek 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 wolnego ładowania (ładowarek zajezdniowych)	Przeszkolenie pracowników, wpisanie wymogu minimalnego wskaźnika niezawodności urządzenia.	średni
R5	Przerwa w dostawie prądu	Zakup agregatów prądotwórczych.	niski
R6	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen.	średni
R7	Ryzyko nieznanymi rzeczywistych parametrów operacyjnych taboru	Wykupienie gwarancji na akumulatory od producenta pojazdów. Posiadanie rezerwowych zestawów bateryjnych.	wysoki
R8	Ryzyko niezawodności technicznej	Wykupienie gwarancji na pojazdy od producenta. Właściwe serwisowanie pojazdów.	wysoki
R9	Wzrost taryfy za prąd	Podpisywanie długookresowych kontraktów na dostawę energii.	wysoki
R10	Uszkodzenia sieci zasilającej stacje ładowania	Realizacja przewozów taboru o napędzie konwencjonalnym.	niski
R11	Wyższa awaryjność taboru związana z zastosowaniem nowej technologii	Zabezpieczenie dostaw części zamiennych. Objęcie pojazdów gwarancją producenta.	wysoki
L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
R12	Opóźnienia w dostawie autobusów	Wydłużenie czasu realizacji zamówienia.	średni
R13	Nadmierne skrócenie żywotności baterii i konieczność częstszej wymiany	Objęcie pojazdów gwarancją producenta.	średni
Ryzyko administracyjne			
R14	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Przyspieszenie negocjacji z dystrybutorem energii, odpowiednie zaplanowanie inwestycji.	średni
R15	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	brak	niski

R16	Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę)	Staranne przygotowanie wniosku o wydanie pozwolenia na realizację inwestycji.	średni
R17	Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych	Wcześniejsze złożenie wniosku o wydanie decyzji.	średni
R18	Opóźnienia w usuwaniu kolizji z sieciami dystrybucyjnymi	Aktualizowanie map z sieciami dystrybucyjnymi. Zaplanowanie rezerwy czasowej na ewentualne usuwanie kolizji.	średni
R19	Opóźnienia w realizacji procedur	Dostosowanie procedur przetargowych tak, aby uniknąć konieczności wydłużania postępowania przetargowego.	wysoki
R20	Zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska	Dostosowanie projektu to aktualnych przepisów prawnych dotyczących ochrony środowiska.	średni
Ryzyko finansowe			
R21	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Finansowanie inwestycji ze środków własnych.	niski
R22	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Założenie wyższych nakładów inwestycyjnych przy prowadzeniu postępowania.	średni
R23	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen.	niski
R24	Wzrost kosztów finansowania	Pozyskiwanie finansowania o stałym oprocentowaniu.	średni
Ryzyko klimatyczne			
R25	Zmiana zasięgu autobusu podczas nadzwyczajnych upałów lub mrozów	Założenie niższego zasięgu pomimo podanych danych eksploatacyjnych, analiza danych eksploatacyjnych dotyczących autobusów elektrycznych akumulatorowych.	wysoki
R26	Możliwość wystąpienia szkody w środowisku	Zapobieganie znaczącej modyfikacji środowiska przyrodniczego w okolicach infrastruktury.	średni
Ryzyko popytowe			
R27	Poziom ruchu niższy niż prognozowany	Realizacja kursów zgodnie z zaplanowanym rozkładem jazdy. Dbanie o stan techniczny pojazdów, wykonywanie bieżących przeglądów i napraw, tak aby możliwe było wykonanie zaplanowanej pracy eksploatacyjnej.	średni

Źródło: Opracowanie własne

9 Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru

Wymiana taboru jeleniogórskiej komunikacji zbiorowej jest działaniem zgodnym z celami Strategii rozwoju Miasta Jeleniej Góry na lata 2014 – 2025, w której założono realizację celu strategicznego 2 „Rozwinięta infrastruktura miasta dla potrzeb społecznych i gospodarczych m.in. poprzez cel operacyjny 2.1. „Komunikacja w mieście dostosowana do potrzeb użytkowników” z działaniem „Udoskonalenie komunikacji zbiorowej (...)”.

Każdy pojazd wprowadzany do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze powinien spełniać zalecenia określone w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, nowe pojazdy powinny:

Nowo zakupione pojazdy wielkopojemne, standardowe oraz klasy midi powinny:

- spełniać wymagania środowiskowe (według normy Euro-6), 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 pojazdów);
- mieć obniżoną podłogę, szczególnie przy drzwiach wejściowych i w przestrzeni przeznaczony dla wózków inwalidzkich i dziecięcych (dopuszcza się eksploatację autobusów bez obniżonej podłogi na drogach o wyjątkowo złej jakości nawierzchni oraz drogach górskich, na których występują trudne warunki w okresie zimowym);
- posiadać system lokalizacji GPS, klimatyzację lub możliwość otwierania i uchylania okien oraz monitoring przestrzeni pasażerskiej;
- posiadać system informacji pasażerskiej oparty o wyświetlacze LCD,
- w przypadku małych autobusów o pojemności poniżej 45 osób, obsługujących nisko rentowne połączenia należy dopuszczać obniżony standard wyposażenia utrzymując jedynie odpowiednio wysokie wymagania estetyczne.

Nowe autobusy powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane pojazdy 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.



Rys. 9.1 Autobus hybrydowy eksploatowany przez MZK Jelenia Góra

Źródło: Zbiory własne

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

Miasto Jelenia Góra 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 Jeleniej Górze.

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

10 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 Jeleniej Górze nie jest zasadne, niemniej jednak przewidziano aktualizację planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie zostały przedstawiony w Tab. 10.1.

Tab. 10.1 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
obowiązujących uprawnień do ulgowych przejazdów środkami publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
węzłów przesiadkowych	Nie wymaga aktualizacji

Zakres	Konieczność 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 XI</p> <p><i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne:</i></p> <p><i>Całościowo elektryfikowane linie: 6, 7, 8, 17, 23 i 26,</i></p> <p><i>Częściowo elektryfikowane linie: 10,</i></p> <p><i>Uzupełniająco elektryfikowane linie: 1, 2, 4, 5, 9, 11, 12, 13, 15, 19, 20, 21, 22, 24.</i></p> <p><i>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i></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”	<p><i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>na terenie zajezdni MZK (24 szt. jednostanowiskowe plug-in lub 12 szt. dwustanowiskowych plug-in),</i> ■ <i>na pętli J. Kiepur (1 szt. ładowarki pantografowej),</i> ■ <i>na pętli Podgórzeńska (1 szt. ładowarki pantografowej),</i> ■ <i>na pętli Dworzec Kolejowy (1 szt. ładowarki pantografowej),</i> ■ <i>na pętli Wita Stwosza (1 szt. ładowarki pantografowej; alternatywnie Św. Jadwigi Śląskiej lub Sobieszów).</i>
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	<i>Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalone z dostawcą energii.</i>
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

11 Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

Wskaźnik luki finansowej wyniósł 59%, co oznacza, że niezbędne jest uzyskanie dofinansowania zewnętrznego przy inwestycjach polegających na zakupie autobusów zeroemisyjnych.

Z bardzo wysokim prawdopodobieństwem w perspektywie finansowej 2021 – 2027 źródłem finansowania mogą być programy operacyjne ze środków Unii Europejskiej. W projekcie Umowy 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 i nisko i **zeroemisyjny tabor kołowy (energia elektryczna, wodór, hybrydy, LNG, CNG)**,
- **rozbudowa infrastruktury do ładowania i tankowania pojazdów zeroemisyjnych** i niskoemisyjnych (nowo zakupionych i już użytkowanych pojazdów 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

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.⁴¹ 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 FRPA⁴²).

Szczególnym źródłem finansowania elektryfikacji komunikacji miejskich mogą być środki wynikające z Krajowego Planu Odbudowy i Wzmacniania Odporności. Jego projekt z lutego 2021 r. zakłada, że do 2026 r. sfinansowana zostanie wymiana 1200 sztuk autobusów na zero- i nisko- emisyjne. W dokumencie wskazano, że zakupom taboru autobusowego towarzyszyć będzie budowa infrastruktury ładowania energii elektrycznej oraz tankowania wodoru. Na realizację celu E1.1.2. Zeroemisyjny transport zbiorowy w ramach reformy E1.1. Wzrost wykorzystania transportu przyjaznego dla środowiska z komponentu E Zielona, inteligentna mobilność przewidziano wsparcie w wysokości 1 031 mln €.

⁴¹ 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)

⁴² 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.)

Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość planowanej do realizacji pracy eksploatacyjnej przez MZK Jelenia Góra	15
Tab. 3.2 Zestawienie miesięcznej liczby pasażerów MZK sp. z o.o. w Jeleniej Górze w przeciętnym miesiącu	16
Tab. 3.3 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze stan na dzień 15.03.2021 r.	17
Tab. 3.4 Wysokość rekompensaty, przychodów ze sprzedaży biletów oraz nakładów inwestycyjnych w ostatnich latach	21
Tab. 3.5 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na 01.03.2021 r.)	22
Tab. 3.6 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 01.03.2021 r.).....	22
Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 01.03.2021 r.)	23
Tab. 3.8 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r.	23
Tab. 3.9 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.	24
Tab. 3.10 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.	24
Tab. 3.11 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 10.03.2021 r.).....	24
Tab. 3.12 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy (stan na dzień 8.03.2021).....	26
Tab. 3.13 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów MZK	26
Tab. 3.14 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny	27
Tab. 4.1 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym.....	30
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	31
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	32
Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym.....	33
Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	35
Tab. 4.6 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.)	36
Tab. 4.7 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	36
Tab. 4.8 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową	40
Tab. 4.9 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu	40
Tab. 4.10 Koszty netto zakupu trolejbusów.....	45
Tab. 4.11 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów.....	45
Tab. 4.12 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym	46
Tab. 4.13 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom	47
Tab. 4.14 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych	47
Tab. 4.15 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Jeleniej Górze.	49
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1	51
Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych	51

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych.....	52
Tab. 5.4 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	52
Tab. 5.5 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	53
Tab. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	53
Tab. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1	54
Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego.....	55
Tab. 6.1 Emisja spalin w dolnej warstwie atmosfery w wariantach W0 i W1 [w Mg].....	57
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2021-2043	60
Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu w wariantach W0 i W1 na przestrzeni lat 2021-2043.....	62
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2021-2043.....	64
Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń na przestrzeni lat 2021-2043.	64
Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej.....	65
Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	65
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy.....	66
Tab. 7.8 Wyniki analizy wrażliwości	66
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki.....	67
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa	70
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt.....	70
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka	70
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	71
Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym	75

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	5
Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern	6
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego	8
Rys. 2.2 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	10
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Świdnicy.....	11
Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi	12
Rys. 4.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Jaworznie podczas szybkiego ładowania	34
Rys. 4.2 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze.....	37
Rys. 4.3 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie	39
Rys. 4.4 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek.....	39
Rys. 4.5 Trolejbus typu MAXI w Tychach	41
Rys. 4.6 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem.....	41
Rys. 4.7 Trolejbus typu MAXI w Pireusie	43
Rys. 4.8 Schemat koncepcji sieci trolejbusowej	45
Rys. 4.9 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych	48
Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK	49
Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Rzeszowie.....	61
Rys. 7.2 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.....	62
Rys. 9.1 Autobus MZK Jelenia Góra o normie emisji spalania EURO 6	74