

# Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych

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

## Komunikacja miejska w Bielsku-Białej





Dokument przygotowany przez:

**TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE**

Szamborski i Szelukowski S.J. ©

ul. Jaracza 71/9, 50-305 Wrocław,

e-mail: [poczta@trako.com.pl](mailto:poczta@trako.com.pl)

[www.trako.com.pl](http://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.....	9
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej.....	12
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej.....	12
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych ....	12
3.1.2	Obecny układ sieci .....	12
3.1.3	Koszty eksploatacyjne .....	18
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy.....	19
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej .....	19
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane .....	19
3.2.2	Normy emisji spalin.....	20
3.2.3	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru.....	20
3.2.4	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych .....	22
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych .....	23
3.3.1	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzkm przez brygady .....	23
3.3.2	Analiza rozkładów jazdy.....	24
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych .....	28
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym.....	28
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 .....	33
4.1.4	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Bielsku-Białej .....	33
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym.....	34
4.2.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym.....	34
4.2.2	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in .....	36
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 .....	37
4.2.5	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi.....	38
4.3	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów.....	41
4.3.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów .....	41

4.3.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru .....	42
4.3.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową .....	43
4.3.4	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Bielsku-Białej .....	43
4.4	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne .....	45
4.5	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru .....	46
5	Analiza finansowa .....	49
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej .....	49
5.2	Nakłady inwestycyjne .....	50
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych .....	51
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych .....	53
5.5	Wartość rezydualna .....	57
5.6	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru .....	57
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi .....	59
7	Analiza społeczno-ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji .....	62
7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym .....	62
7.2	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym .....	64
7.3	Inne korzyści zewnętrzne .....	67
7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej .....	67
7.5	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej .....	68
8	Analiza ryzyka .....	70
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru .....	76
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania .....	78
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych .....	80



## 1 Cel analizy

Niniejszy dokument został sporządzony w celu określenia realnych kosztów i korzyści wynikających z eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej. 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 z późn. zm.) oraz niżej wymienionych aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U. z 2021 r., poz. 1371),
- 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 typu MAXI

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 Bielsku-Białej.

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 Bielsku-Białej 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. 8 - 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,
- **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 z późn. zm.),
- **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 pętlach 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 z późn. zm.), 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 ogniach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.) oraz trolejbus<sup>1</sup>. 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 ogniwoami 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

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 terytorialnego<sup>2</sup>. Osiągnięcie udziału na poziomie 30% ma być osiągnięte etapowo<sup>3</sup>:

- 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

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

<sup>2</sup> Ibidem, art. 36 ust. 1 i art. 86 pkt 4.

<sup>3</sup> Ibidem, art. 68 ust. 4.



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 r<sup>4</sup>.

Miasto Bielsko-Biała z liczbą mieszkańców 169 765<sup>5</sup>, 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 z późn. zm.).

**Dokument ten zostanie poddany pod konsultacje społeczne. Na podstawie uzasadnionych uwag zostaną wprowadzone stosowne modyfikacje niniejszego dokumentu.**

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

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

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

<sup>4</sup> Ibidem, art. 72.

<sup>5</sup> Dane według stanu na dzień 31.12.2020 r., źródło: <https://bdl.stat.gov.pl>, dostęp 09.11.2021 r.

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 gniazdka”).



**Rys. 2.2** *Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI na trasie przechodzącej przez strefę zamieszkania w Düsseldorf*

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 maszty pantografowego do strefy gniazda ładowania, ulokowanego na dachu autobusu.

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



**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 ogniach paliwowych. Pojazdy te stanowią stosunkowo nowe rozwiązanie w branży transportu publicznego, z którym związane są duże nadzieje wynikające z przewidywanego zasięgu kursowania na poziomie nawet do 450 km dziennie na 1 tankowaniu autobusu.



**Rys. 2.4** *Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi*

*Źródło: Zbiory własne*

Eksploatacja autobusów napędzanych wodorem wiąże się z koniecznością budowy odpowiednich stacji do ich tankowania. Należy podkreślić, iż obecnie na terenie Polski nie istnieją stacje tankowania wodorem, niezbędne do zasilania ogniów paliwowych, jak i nie jest prowadzona dystrybucja czystego wodoru na potrzeby transportowe, co stanowi istotne wyzwanie infrastrukturalne do wodoryzacji systemów komunikacji miejskiej.

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 pętlach, 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 (Miastem Bielsko-Biała), a operatorem (Miejskim Zakładem Komunikacyjnym w Bielsku-Białej Sp. z o. o. zwanym dalej MZK) została zawarta w dniu 31.12.2019 r. jako umowa o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego podmiotowi wewnętrznemu Miasta Bielsko-Białą i wykonywania zadań własnych gminy w zakresie publicznego transportu zbiorowego na terenie Miasta Bielsko-Białą oraz jednostek samorządu terytorialnego, z którymi Miasto Bielsko-Biała zawarło porozumienia komunalne. W umowie mają zastosowanie przepisy rozporządzenia 1370/2007 oraz ustawy o publicznym transporcie zbiorowym. Umowa określa funkcje organizatora jako podmiotu: zapewnienia środków finansowych, planowanie transportu i opracowywanie Planu pracy przewozowej.

Wymiar realizowanej pracy eksploatacyjnej przez operatora jest określony w załączniku nr 1 do umowy określającym roczny plan pracy przewozowej opracowywany, przez Operatora i każdorazowo zatwierdzany przez Organizatora, a w załączniku nr 2 znajduje się wykaz planowanych linii komunikacyjnych. Rokiem

bazowym dla umowy jest 2020 r., a w kolejnych latach wymiar będzie sukcesywnie zwiększany do 30% rocznej pracy przewozowej, zależnie od dostępnych środków finansowych. W trakcie trwania roku zmiana wielkości pracy eksploatacyjnej może ulec zmianie o nie więcej niż +/- 3% w stosunku do planowanej pracy eksploatacyjnej na dany rok. Załączniki nr 3 i 4 określają standardy jakości usług oraz parametrów technicznych pojazdów.

Operator ma prawo prowadzić działalność spoza zakresu przytaczanej umowy, pod warunkiem, że nie wpływa ona negatywnie na jej realizację.

Oprócz działalności związanej z wykonywaniem przewozów pasażerskich Operator realizuje emisję i sprzedaż biletów (zgodnie z Załącznikiem nr 5), a przychody uzyskane w ten sposób są należne Organizatorowi. Kontrola biletów także należy do zadań Operatora.

W ramach umowy jak i załączników do niej określono szczegółowe wytyczne związane ze standardami jakości świadczonych usług, wyposażenia pojazdów, zasad aktualizacji rozkładów jazdy, jak i warunków zapewnienia służby dyspozytorskiej i spraw związanych z ekonomią (m.in. rekompensaty).

#### 3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej składa się z 44 linii autobusowych, spośród których wyróżnić można:

- według kryterium przestrzennego:

- 41 linii miejskich: D, 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 13W, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 35L, 35S, N1, N2, P1, P2, P3,
- 1 linia podmiejska: 57,
- 1 linia miejsko – podmiejska: 2,



- 1 linia międzymiastowa: 50,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
  - 43 linie całoroczne: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 13W, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 35L, 35S, 50, 56, 57, N1, N2, P1, P2, P3,
  - 1 linia kursująca tylko w roku szkolnym: D,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
  - 28 linii kursujących codziennie: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 20, 22, 23, 24, 25, 28, 31, 32, 33, 50, 56, 57, N1, N2,
  - 11 linii kursujących tylko w dni robocze: 9, 12, 18, 21, 26, 27, 29, 34, 35L, 35S, D,
  - 4 linie kursujące od poniedziałku do soboty: 19, P1, P2, P3,
  - 1 linia weekendowa: 35,
- według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:
  - 34 linie kursujące przez cały dzień lub większą część dnia: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 35L, 35S, 50, 56, 57,
  - 8 linii okresowych: D, 9, 13W, 19, 29, P1, P2, P3,
  - 2 linie nocne: N1, N2,
- według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
  - 6 linii podstawowych: 1, 2, 3, 4, 6, 10,
  - 15 linii uzupełniających: 7, 8, 11, 13, 15, 16, 20, 22, 23, 24, 28, 31, 32, 50, 56,

- 23 linie dodatkowe: D, 9, 12, 13W, 17, 18, 19, 21, 25, 26, 27, 29, 33, 34, 35, 35L, 35S, 57, N1, N2, P1, P2, P3.

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Miasta Bielsko-Biała, pełniącego funkcję jej organizatora oraz Gmin: Czechowice-Dziedzice i Wilkowice, na mocy stosownych porozumień międzygminnych.

W Tab. 3.1 przedstawiono wielkość pracy eksploatacyjnej w bielsko-bialskiej komunikacji miejskiej, która w ostatnich latach utrzymywała się na stabilnym poziomie, pomimo zmian w ofercie przewozowej i zmniejszenia wielkości obsługiwanego obszaru (wycofanie przewozów z gmin Bestwina i Jasienica).

W latach 2015-2019 rocznie realizowano ok. 7,8 – ok. 7,9 mln wozokilometrów. Po ponad 3% spadku liczby przewożonych pasażerów, który wystąpił w 2016 r., wielkość popytu ustabilizowała się i wynosiła po ok. 15,8 mln podróży rocznie.

W 2020 r. pomimo gwałtownego 44% spadku wielkości popytu uwarunkowanego skutkami epidemii COVID-19, w związku z krajowymi limitami w zakresie maksymalnego stopnia zajętości miejsc w pojazdach, liczba wozokilometrów zmniejszyła się o 2% do poziomu 7,73 mln wozkm. W tym roku z usług bielsko-bialskiej komunikacji miejskiej skorzystało 8,93 mln pasażerów.

Przewiduje się, że zniesienie ograniczeń w życiu społecznym i gospodarczym spowoduje odbudowę popytu na usługi transportu publicznego, co będzie wymagało utrzymania istniejącej liczby pojazdów dysponowanych przez MZK Bielsko-Biała przeznaczonych do obsługi bielsko-bialskiej komunikacji miejskiej.

**Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2020**

Rok	Wozokilometry	Dynamika r/r
2015	7 895 800	
2016	7 891 000	-0,1%
2017	7 800 300	-1,1%
2018	7 822 266	0,3%
2019	7 876 798	0,7%
2020	7 726 488	-1,9%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z UM Bielsko-Biała oraz Analizy kosztów i korzyści z 2018 r.



**Rys. 3.1 Przewiezeni pasażerowie w latach 2015-2020**

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UM Bielsko-Biała oraz Analizy kosztów i korzyści z 2018 r.

W Tab. 3.2 zestawiono przebiegi tras linii bielsko-bialskiej komunikacji miejskiej. Na przestrzeni ostatnich 3 lat liczba uruchamianych linii komunikacyjnych uległa zmniejszeniu na rzecz wzrostu częstotliwości kursowania linii o

charakterze podstawowym. Ponadto 3 linie o charakterze podmiejskim zostały zlikwidowane po wygaśnięciu porozumień międzygminnych z gminami Bestwina i Jasienica.

**Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej (stan na dzień 09.11.2021 r.)**

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
D	(wybrane kursy: HAŁCNÓW GRANICA – Wyzwolenia – M. Szewczyk – HAŁCNÓW KOŚCİÓŁ) HAŁCNÓW KOŚCİÓŁ – M. Szewczyk – Wyzwolenia (wybrane kursy: - Janowicka – JANOWICE: Janowicka – JANOWICKA NIKŁÓWKĄ) – WYZWOLENIA WITOSA – Wyzwolenia – W. Witosy – KRZEMIONKI WITOSA (wybrane kursy: KRZEMIONKI WITOSA - W. Witosy – Krzemionki – Wyzwolenia – HAŁCNÓW GRANICA)	miejska	dodatkowa
1	CYGAŃSKI LAS - Olszówka - Bystrzańska - Długa - Św. A. Boboli - Al. Armii Krajowej - Al. Gen. W. Andersa - Partyzantów - Zamkowa - 3 Maja - Piastowska - Cieszyńska - Szarotki - Babiogórska - OSIEDLE BESKIDZKIE	miejska	podstawowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
2	(wybrane kursy: WILKOWICE GÓRNE - Wilkowice: Wyzwolenia - Żywiecka -) MIKUSZOWICE STALOWNIK - Żywiecka - PCK - S. Sempołowskiej - R. Dmowskiego - Ks. S. Stojałowskiego - 3 Maja - Piastowska - Cieszyńska - Jesionowa - OSIEDLE KOPERNIKA	miejsko - podmiejska	podstawowa
3	KOMOROWICE SOSNA - Bestwińska - I. Daszyńskiego - Olimpijska - Komorowicka - Głęboka - Konfederatów Barskich (powrót: Ks. S. Stojałowskiego - Wyzwolenia - I. Paderewskiego) - R. Dmowskiego - Kierowa - W. Broniewskiego - PCK - 1 Maja - Prof. M. Michałowicza - Al. Gen. W. Andersa - OSIEDLE BESKIDZKIE - Al. Gen. W. Andersa (wybrane kursy: - Kologista - Gościnną - Al. Armii Krajowej - SZPITAL WOJEWÓDZKI) - Gen. K. Sosnkowskiego - OSIEDLE KARPACKIE	miejska	podstawowa
4	LANGIEWICZA BASEN - Langiewicza - Łagodna - Jutrzenki - T. A. Lenartowicza - Żywiecka - PCK - 1 Maja - Partyzantów - Zamkowa - 3 Maja - Piastowska - Cieszyńska - Jesionowa - Spółdzielców - C. Tańskiego - OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	miejska	podstawowa
6	OSIEDLE KARPACKIE - Gen. K. Sosnkowskiego - Al. Gen. W. Andersa - Babiogórska - Szarotki - Cieszyńska - Piastowska - 3 Maja - Wałowa - Mostowa - J. Piłsudskiego - Lwowska - Krakowska (wybrane kursy: Wapienna - WAPIENNA OSIEDLE - Wapienna) - LIPNIK GRANICA	miejska	podstawowa
7	SZYNDZIELNIA - Al. Armii Krajowej - Karbowa - Karpacka - Partyzantów - Zamkowa - 3 Maja - Piastowska - S. Wyspiańskiego - J. III Sobieskiego - Browarna - Cieszyńska - Dzwonkowa - WAPIENICA DZWONKOWA	miejska	uzupełniająca
8	SZYNDZIELNIA - Al. Armii Krajowej - Al. Gen. W. Andersa - Partyzantów - Zamkowa - 3 Maja - Warszawska - WARSZAWSKA DWORZEC (wybrane kursy: Warszawska - Węglowa - WARSZAWSKA FIAT)	miejska	uzupełniająca
9	MIKUSZOWICE DOM LUDOWY - Żywiecka - Lwowska - Piekarska - Komorowicka - J. Piłsudskiego - Mostowa - Wałowa - 3 Maja - Piastowska - Cieszyńska - LOTNISKO	miejska	dodatkowa
10	MIKUSZOWICE BŁONIA ATH - Czołgistów - Bystrzańska - Partyzantów - Zamkowa - 3 Maja - Piastowska - Cieszyńska - Twórcza - (powrót: Dworcowa - T. Regera) Międzyrzecka (wybrane kursy wydłużone do WAPIENICA GIEŁDA, WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY, WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY ABB, WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY ABB przez BESKIDZKI INKUBATOR TECHNOLOGICZNY, WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY ABB przez WAPIENICA GIEŁDA) - Strażacka - WAPIENICA STRAŻACKA	miejska	podstawowa
11	(wybrane kursy: WARSZAWSKA FIAT - Węglowa - Warszawska -) WARSZAWSKA DWORZEC - Warszawska - 3 Maja - Wałowa - Mostowa - J. Piłsudskiego - Lwowska - Żywiecka - Górska - STRACONKA LEŚNICZÓWKA (wybrane kursy: - Górska - STRACONNA ZAKRĘT)	miejska	uzupełniająca
12	MIKUSZOWICE BŁONIA ATH - Czołgistów - Szeroka - Bystrzańska - Długa - Św. A. Boboli - Al. Armii Krajowej - Al. Gen. W. Andersa - Partyzantów - 1 Maja - PCK - W. Broniewskiego - Kierowa - R. Dmowskiego - Ks. S. Stojałowskiego - Wyzwolenia - I. Paderewskiego (powrót: Komorowicka - Głęboka - Konfederatów Barskich) Komorowicka - Czerwona - Niepodległości - M. Linert - Hałcnowska - Wyzwolenia - M. Szewczyk - HAŁCNÓW KOŚCIÓŁ	miejska	dodatkowa
13	LIPNIK DOLNY - Lipnicka - Żywiecka - Lwowska - J. Piłsudskiego - Mostowa - Wałowa - 3 Maja - Warszawska - E. Kwiatkowskiego - Czerwona - Niepodległości - Wyzwolenia - (wybrane kursy: Krzemionki - W. Witosa - KRZEMIONKI WITOSA) M. Szewczyk - HAŁCNÓW KOŚCIÓŁ	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
13W	LIPNIK DOLNY – Lipnicka – Żywiecka – Lwowska – J. Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Warszawska – E. Kwiatkowskiego – Czerwona – Niepodległości – Wyzwolenia – W. Witosa – KRZEMIONKI WITOSA	miejska	dodatkowa
15	OSIEDLE LANGIEWICZA – J. Tuwima – Urodzajna – Łagodna – Jutrzenki – T. Lenartowicza – Żywiecka – Lwowska – J. Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Piastowska – Listopadowa (z powrotem: Wyspiańskiego) – Grunwaldzka – 3 Pułku Strzelców Podhalańskich – M. Konopnickiej – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – C. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	miejska	uzupełniająca
16	(wybrane kursy: WARSZAWSKA FIAT – Węglowa – Warszawska -) WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – Piastowska – Cieszyńska – Jaworzkańska – Zapora – WAPIENICA ZAPORA	miejska	uzupełniająca
17	PODWALE DWORZEC – Podwale – S. Okrzei (powrót: M. Grażyńskiego – J. Kilińskiego – Podwale) – Gazownicza – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – Piekarska – Wyzwolenia – W. Witosa – KRZEMIONKI WITOSA (wybrane kursy: W. Witosa – Krzemionki – Wyzwolenia – M. Szewczyk – HAŁCNÓW KOŚCÍÓŁ)	miejska	dodatkowa
18	OSIEDLE ŻŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Al. Gen. W. Andersa – Al. Armii Krajowej – Gościnną – Karpacką – Partyzantów – Zimowa – 3 Maja – Piastowska – Listopadowa - (Mieszka I ← Asnyka) – Nad Potokiem – J. III Sobieskiego – STARE BIELSKO KOŚCÍÓŁ	miejska	dodatkowa
19	OSIEDLE ŻŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Lwowska – Piekarska – Komorowicka – E. Kwiatkowskiego – M. Grażyńskiego – GRAŻYŃSKIEGO FIAT II (wybrane kursy: - M. Grażyńskiego – Konwojowa – M. Grażyńskiego – CZECHOWICE-DZIEDZICE: E. Orzeszkowej – CZECHOWICE-DZIEDZICE PROSEAT)	miejska	dodatkowa
20	OSIEDLE ŻŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. Lenartowicza – Żywiecka – PCK – 1 Maja – M. Michałowicza – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Cieszyńska – Twórcza – (powrót: Dworcowa – T. Regera) Międzyrzeczka (wybrane kursy wydłużone do WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY, WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY ABB) – Strażacka - WAPIENICA STRAŻACKA	miejska	uzupełniająca
21	OSIEDLE LANGIEWICZA – J. Tuwima – Urodzajna – Łagodna – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Partyzantów – Bystrzańską – Szeroką – MIKUSZOWICE BŁONIA ATH – Szeroka – Bystrzańską – Długą – Św. A. Boboli – SZPITAL WOJEWÓDZKI – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – C. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	miejska	dodatkowa
22	OSIEDLE LANGIEWICZA – J. Tuwima – Urodzajna – Łagodna – Jutrzenki – T. Lenartowicza – Żywiecka – Ks. S. Stojałowskiego – 3 Maja – Warszawska – (wybrane kursy przez: Warszawska – Okrężna) (wybrane kursy przez: Warszawska – Węglowa – WARSZAWSKA FIAT – Węglowa – Warszawska – Okrężna) Sarni Potok– OSIEDLE SARNI STOK	miejska	uzupełniająca
23	OSIEDLE LANGIEWICZA – J. Tuwima – Urodzajna – Łagodna – Żywiecka – Lwowska – J. Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Piastowska – Listopadowa (z powrotem: S. Wyspiańskiego) – Grunwaldzka – 3 Pułku Strzelców Podhalańskich – M. Konopnickiej – Cieszyńska – Szarotki – Babiogórska – Al. Gen. W. Andersa – Al. Armii Krajowej – SZPITAL WOJEWÓDZKI	miejska	uzupełniająca



Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
24	MIKUSZOWICE ŚLĄSKIE – Bystrzańska – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – J. III Sobieskiego (z powrotem: E. Plater – Piastowska) – Św. Stanisława – Nad Potokiem (z powrotem: J. III Sobieskiego) – J. III Sobieskiego – Strażacka (wybrane kursy: Międzyrzecka – Rudawka – WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY ABB) – WAPIENICA STRAŻACKA	miejska	uzupełniająca
25	OSIEDLE SARNI STOK – Sarni Stok – Warszawska (wybrane kursy: WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska –) – Piastowska – J. III Sobieskiego (z powrotem: E. Plater – Piastowska) – Al. Gen. W. Andersa – <i>Mazańcowice: Starobielska – MAZAŃCOWICE SPÓŁDZIELNIA</i>	miejska	dodatkowa
26	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Ks. S. Stojałowskiego – Żywiecka – Krakowska – Wapienna (powrót: C. Norwida – A. Dygasińskiego – Krakowska) – WAPIENNA OSIEDLE	miejska	dodatkowa
27	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska - 3 Maja – Ks. S. Stojałowskiego – Żywiecka – Krakowska – Polna – Ks. S. Brzóska – LIPNIK DOLNY	miejska	dodatkowa
28	OSIEDLE KARPACKIE – Gen. K. Sosnkowskiego - Al. Gen. W. Andersa – M. Michałowicza – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – Cieszyńska – Stawowa – Spółdzielców – OSIEDLE WOJSKA POLSKIEGO	miejska	uzupełniająca
29	PIASTOWSKA DWORZEC – (z powrotem: WARSZAWSKA DWORZEC) Warszawska – E. Kwiatkowskiego – M. Grażyńskiego – Mazańcowicka – Komorowicka – Olimpijska – I. Daszyńskiego – Bestwińska – KOMOROWICE SOSNA	miejska	dodatkowa
31	PODWALE DWORZEC – Podwale – S. Okrzei (powrót: M. Grażyńskiego – J. Kilińskiego – Podwale) – Gazownicza – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – Piekarska – Wyzwolenia – HAŁCNÓW GRANICA	miejska	uzupełniająca
32	OSIEDLE KARPACKIE – Gen. K. Sosnkowskiego - Al. Gen. W. Andersa – Piastowska - Warszawska – (wybrane kursy: Węglowa – WARSZAWSKA FIAT – Węglowa -) – Warszawska – (wybrane kursy: - Warszawska TESCO -) – Warszawska – Mazańcowicka – Komorowicka – Olimpijska – I. Daszyńskiego – Hałcnowska – Wyzwolenia – M. Szewczyk – HAŁCNÓW KOŚCIÓŁ	miejska	uzupełniająca
33	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – Piekarska – Wyzwolenia – Niepodległości – Czerwona – Komorowicka – Mazańcowicka – Komorowicka – MAZAŃCOWICE OSIEDLE	miejska	dodatkowa
34	OSIEDLE ŻŁOTE ŁANY – Jutrzenki - T. Lenartowicza – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Al. Gen. W. Andersa – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – C. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	miejska	dodatkowa
35	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Ks. S. Stojałowskiego – Lipnicka – Nowopolna – Ks. S. Brzóska (z powrotem: Wielkopolska) - LIPNIK WIELKOPOLSKA	miejska	dodatkowa
35L/ 35S	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Ks. S. Stojałowskiego – Lipnicka – Ks. S. Brzóska (z powrotem: Wielkopolska) – LIPNIK WIELKOPOLSKA - Ks. S. Brzóska - Górską – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Warszawska – WARSZAWSKA DWORZEC [w kierunku powrotnym kursuje jako linia 35S]	miejska	dodatkowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
50	OSIEDLE KARPACKIE – Gen. K. Sosnkowskiego – Al. Gen. W. Andersa – OSIEDLE BESKIDZKIE – Al. Gen. W. Andersa – M. Michałowicza – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Warszawska – (wybrane kursy: Węglowa – WARSZAWSKA FIAT – Węglowa -) – Warszawska – (wybrane kursy: - Warszawska TESCO -) – Warszawska – Mazańcowicka – Katowicka – (powrót: Katowicka – Węglowa) – <i>Czechowice-Dziedzice: Legionów – Niepodległości – Towarowa – R. Traugutta – S. Wyspiańskiego – Szkolna – Węglowa – Górnicza – CZECHOWICE-DZIEDZICE SILESIA</i>	między-miastowa	uzupełniająca
56	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Wyzwolenia (powrót: Lwowska – J. Piłsudskiego) – Janowicka – <i>JANOWICE: Janowicka – JANOWICKA NIKLÓWKA</i>	podmiejska	uzupełniająca
57	FILOWA MED. WORK – Filarowa – Czechowicka – Warszawska (wybrane kursy: WARSZAWSKA DWORZEC -) – 3 Maja – Zamkowa – Partyzantów – Bystrzańska – <i>Bystra: Szczyrkowska – J. Fałata – BYSTRA LEŚNICZÓWKA</i>	podmiejska	dodatkowa
N1	DŁUGA ZAJEZDNIA MZK – Długa – Św. A. Boboli – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – <i>Babogórska – OSIEDLE BESKIDZKIE – Babogórska</i> – M. Michałowicza – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – C. Tańskiego – Cieszyńska – <i>WAPIENICA CENTRUM</i> - Cieszyńska – C. Tańskiego – Spółdzielców - Jesionowa - Cieszyńska - Piastowska – Warszawska – Lipowa – R. Traugutta – Budowlanych – Warszawska – 3 Maja – Zamkowa – Partyzantów - M. Michałowicza – Babogórska – Osiedle Beskidzkie - Babogórska - Al. Gen. W. Andersa - Al. Armii Krajowej - Św. A. Boboli - Długa – DŁUGA ZAJEZDNIA MZK	miejska	dodatkowa
N2	DŁUGA ZAJEZDNIA MZK – Długa – Bystrzańska – Gen. T. Bora-Komorskiego – Łagodna - Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Lwowska - J. Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Warszawska – Węglowa – Katowicka – Mazańcowicka – Komorowicka – Olimpijska – I. Daszyńskiego – Hałcnowska – Wyzwolenia – <i>HAŁCNÓW KOŚCIÓŁ</i>	miejska	dodatkowa
P1	WAPIENICA STRAŻACKA - Strażacka – Międzyrzeczka – Dworcowa – T. Regera – Twórcza (powrót: Międzyrzeczka) – Cieszyńska – Piastowska – E. Plater – J. III Sobieskiego – Gen. W. Andersa – Francuska – Szklana – <i>SZKLANA PROSEAT</i>	miejska	dodatkowa
P2	OSIEDLE ŻŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. Lenartowicza – Żywiecka – PCK – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – J. III Sobieskiego – Gen. W. Andersa – Francuska – Szklana – <i>SZKLANA PROSEAT</i>	miejska	dodatkowa
P3	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Wałowa – Gazownicza – M. Grażyńskiego (powrót: J. Kilińskiego – Podwale – S. Okrzei – Gazownicza) – Konwojowa – <i>CZECHOWICE-DZIEDZICE: E. Orzeszkowej – CZECHOWICE-DZIEDZICE PROSEAT</i>	miejska	dodatkowa

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych UM Bielsko-Biała

### 3.1.3 Koszty eksploatacyjne

Za świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych objętych umową powierzenia operator otrzymuje rekompensatę za wozokilometr zgodną z Rozporządzeniem 1370/2007, ustawą o publicznym transporcie zbiorowym. Jej wartość ma pokryć koszty

realizacji zleconych usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego, jednocześnie jest pomniejszona o dochody wygenerowane z pozostałej działalności zleconej w umowie. Rekompensatę zmniejszają również wszelkie składniki majątkowe przekazane do Operatora.

Następnie uwzględnia się rozsądny zysk (6%) oraz wylicza średnia wartość rekompensaty na 1 wykonany wzkm. Rekompensata wypłacana jest w formie zaliczek płatnych do 10 i 20 dnia każdego miesiąca kalendarzowego, będących iloczynem planowanej na dany rok jednostkowej stawki rekompensaty oraz zaplanowaną liczbą

wzkm. Po zakończeniu miesiąca wykonuje się rozliczenie miesiąca wraz z uwzględnieniem ewentualnych kar. Dodatkowo corocznie wypłacona rekompensata podlega kontroli zasadności otrzymanej kwoty, a także sprawdzenia czy pozwoliła pokryć koszty świadczenia usług.

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

Jednym z zadań własnych Miasta Bielsko-Biała, określonego w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r., jest zapewnianie lokalnego transportu zbiorowego, poprzez organizację przewozów w komunikacji miejskiej. Realizacja tych usług oraz ich ciągłość gwarantowana jest Planem zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego miasta Bielska-Białej na lata 2014-2023. W dokumencie tym, stanowiącym akt prawa miejscowego, założono, iż „Miasto Bielsko-Biała, jako organizator publicznego transportu zbiorowego, nieustannie dąży do kompleksowego zaspokajania potrzeb przewozowych mieszkańców, w tym również do

prowadzenia przewozów na liniach komunikacyjnych o optymalnym przebiegu oraz parametrze obsługi. Planuje się, iż układ sieci komunikacyjnej będzie się zmieniać w wyniku dostosowywania jej do zapotrzebowania pasażerów na usługi z zakresu przewozów o charakterze użyteczności publicznej, m.in. poprzez objęcie dostępem do komunikacji zbiorowej nowopowstałych generatorów ruchu”. Realizację przewozów gwarantuje również wieloletnia umowa z operatorem komunikacji miejskiej, którą zawarto na okres do 31 grudnia 2029 r.

## 3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

*Analizy w niniejszym rozdziale zostały wykonane według stanu na dzień 19 listopada 2021 r. i uwzględniają procedurę wycofania z eksploatacji 5 pojazdów typu MAXI wyprodukowanych w 2002 r., na potrzeby którego w 2021 r. wprowadzono do eksploatacji 5 fabrycznie nowych pojazdów klasy MAXI*

### 3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

W ostatnich latach w Bielsku-Białej wprowadzono do eksploatacji 56 fabrycznie nowych autobusów przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej. W latach 2015-2016 flotę MZK zasiły 3 szt. autobusów SKD LF 38, należącej do grona wozów typu MINI. W 2016 r. wprowadzono do eksploatacji 28 pojazdów

Solaris Urbino IV o normie spalania EURO 6 (23 MAXI, 5 MEGA18). W 2017 r. wprowadzono kolejne pojazdy tej samej marki (26 szt. MAXI i 5 szt. MEGA18). Ostatnie zakupy pojazdów nastąpiły w 2021 r., w którym flota wzbogaciła się o 5 pojazdów typu MAXI o normie spalania EURO 6.

**Tab. 3.3 Przedsięwzięcia zrealizowane w ostatnich latach przez MZK Bielsko-Biała Sp. z o.o. (stan na 19.11.2021r.)**

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2015	SKD LF 38	MINI	1	2015	EURO 6
2016	Solaris Urbino 12 IV	MAXI	23	2016	EURO 6

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
	Solaris Urbino 18 IV	MEGA18	5	2016	EURO 6
2017	SKD LF 38	MINI	2	2017	EURO 6
	Solaris Urbino 12 IV	MAXI	15	2017	EURO 6
	Solaris Urbino 18 IV	MEGA18	5	2017	EURO 6
2021	Solaris Urbino 12 IV	MAXI	5	2021	EURO 6

Źródło: Opracowanie własne

### 3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby obsługi komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej eksploatowanych jest 128 pojazdów. Wszystkie pojazdy posiadają silniki spalinowe zasilane olejem napędowym. Wszystkie pojazdy są niskopodłogowe lub niskowejściowe. Największym udziałem cechują się pojazdy o najwyższej normie spalania EURO 6 – 56 pojazdów (44%) oraz 25 pojazdów (20%) o nieco mniej restrykcyjnej normie EURO 5. Obie te grupy stanowią przez znaczącą

większość pojazdów klasy MAXI i MEGA18. Kolejną liczną grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO EEV z udziałem 16% całego taboru tworzoną przez 20 pojazdów (10 szt. MAXI oraz 10 szt. MEGA18). Pozostałe wykorzystywane we flocie 21 pojazdów klasy MAXI spełnia normy EURO 3 (11 szt.) oraz EURO 4 (10 szt.) oraz 6 typu MINI. Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 19.11.2021 r.)

Paliwo i Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
ON EURO 3	6		11			17
ON EURO 4			10			10
ON EURO 5			25			25
ON EURO EEV			10		10	20
ON EURO 6	3		43		10	56
Liczba pojazdów	9		99		20	128

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 Bielsku-Białej wynosi ok. 10 lat (mediana wynosi 10 lat). Najstarszy pojazd wyprodukowano w 2002 r. – Solaris Urbino 12 klasy MAXI o normie spalania EURO 3, a najmłodsze autobusy w 2021 r. – 5 szt. Solaris Urbino 12 IV klasy MAXI.

Pojazdy w wieku 10-15 lat stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – aż 42,2% (przeważającą część pojazdów MAXI oraz kilka

pojazdów MINI i MEGA18). Kolejną grupę stanowią pojazdy w wieku 4-6 lat – 22,7% (dominacja autobusów klasy MAXI, 1 klasy MINI oraz 5 klasy MEGA18). W Tab. 3.5 zaprezentowano obecną strukturę pojazdów według wieku i typu.



**Tab. 3.5** Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na 19.11.2021 r.)

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			5			5
2-4 LATA	2		15		5	22
4-6 LAT	1		23		5	29
6-8 LAT						
8-10 LAT			10		7	17
10-15 LAT	6		45		3	54
15 LAT I WIĘCEJ			1			1
SUMA	9		99		20	128

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnych tabelach przedstawiono teoretyczną strukturę wieku pojazdów eksploatowanych w sieci komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej 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. Uwzględniono w niej zwiększenie udziału autobusów klasy MEGA18, których 4 szt. zastąpią autobusy klasy MAXI w celu zwiększenia oferowanej podaży miejsc. Niniejsza symulacja wymiany taboru jest

modelem teoretycznym i została sporządzona w oparciu o wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego, wskazujące na maksymalnie 10-letni okres eksploatacji autobusu spalinowego, które będą wprowadzane stopniowo.

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

**Tab. 3.6** Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			5		4	9
2-4 LATA						
4-6 LAT	3		15		5	22
6-8 LAT			23		5	28
8-10 LAT	1					1
10-15 LAT			25		10	35
15 LAT I WIĘCEJ	6		27			33
SUMA	9		95		24	128

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 3.7** Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			10			10
2-4 LATA			5		4	9
4-6 LAT						
6-8 LAT						
8-10 LAT	2		38		10	50
10-15 LAT	1		10		10	21
15 LAT I WIĘCEJ	6		32			38
SUMA	9		95		24	128

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 3.8 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.**

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT	6		22			28
2-4 LATA			15			15
4-6 LAT			5		4	9
6-8 LAT			5			5
8-10 LAT						
10-15 LAT	3		38		10	51
15 LAT I WIĘCEJ			10		10	20
SUMA	9		95		24	128

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 CO<sub>2</sub>) i substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO<sub>x</sub> i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w kolejnej tabeli.

**Tab. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 19.11.2021 r.)**

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g	NO <sub>x</sub> w g	PM w g	CO <sub>2</sub> w kg
<b>EURO 3</b>				
Solaris Urbino 12	3 109 785,85	23 558 983,68	471 179,67	1 224 398 076,22
Jelcz M081MB	249 113,45	1 887 223,10	37 744,46	98 082 004,06
<b>EURO 4</b>				
Scania N230	845 339,40	6 431 930,19	36 753,89	477 539 575,80
<b>EURO 5</b>				
Solaris Urbino 12	2 167 426,50	9 423 593,47	94 235,93	47 117 967,36
Mercedes Benz O 530 K Citaro	1 075 079,93	4 674 260,58	46 742,61	607 322 002,64
Mercedes Benz O 530 Citaro	1 252 107,89	5 443 947,36	54 439,47	707 326 636,54
Mercedes Benz O 530 G Citaro	1 467 835,37	6 381 892,92	63 818,93	829 192 965,20
Mercedes Benz Conecto LF	1 252 475,82	5 445 547,04	54 455,47	707 534 481,10
<b>EURO 6</b>				
SKD LF 38	28 839,38	885 199,21	8 851,99	57 647 264,60
Solaris Urbino 12 IV	1 883 423,90	5 795 150,46	144 878,76	3 764 790 522,15
Solaris Urbino 18 IV	335 662,02	539 726,23	13 493,16	670 957 387,57
<b>roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich pojazdów w komunikacji miejskiej:</b>	<b>13 667 089,51</b>	<b>70 467 454,25</b>	<b>1 026 594,35</b>	<b>9 191 908 883,24</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie kalkulatora emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego CUPT oraz danych taboru MZK Bielsko-Biała

### 3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne sieci linii komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej. 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 poza bazą operatora w podstawowe typy dni na poziomie:

- dzień roboczy szkolny – 25 593,06 wzk, m,
- dzień roboczy feryjny – 25 470,43 wzk, m,
- dzień roboczy wakacyjny – 24 081,87 wzk, m,
- sobota – 14 374,64 wzk, m,
- niedziela – 11 423,01 wzk, m,
- święto – 6 029,19 wzk, m.

Najwięcej kilometrów realizowanych jest na linii 10, która łączy Akademię Techniczno-Humanistyczną na osiedlu Mikuszowice Śląskie

zlokalizowanym w południowej części miasta, z Osiedlem Wapienica na zachodzie, przebiegając przez tereny wzdłuż rzeki Biała, centrum (Rynek Bielska, Dworzec Główny), Przedmieście oraz osiedla mieszkaniowe wzdłuż drogi wojewódzkiej 942. Wybrane kursy obsługują dodatkowo tereny przemysłowe zlokalizowane w północnej części Osiedla Wapienica. Najmniejszą pracą eksploatacyjną charakteryzują się linie nocne (N1, N2) oraz linie pracownicze (P1, P2, P3) funkcjonujące zgodnie z zapotrzebowaniem zakładów przemysłowych. Wskaźnik wykorzystania taboru MZK Bielsko-Biała do realizacji umowy przeznaczona 128 autobusów, z czego do obsługi liniowej (nie licząc rezerw) bielsko-bialskiej komunikacji miejskiej eksploatowane są:

- w dni robocze szkolne 109 autobusów – 85,2% taboru,
- w dni robocze feryjne 108 autobusów – 84,4% taboru,
- w dni robocze wakacyjne 102 autobusy – 79,7% taboru,
- w soboty 56 autobusów – 43,8% taboru,
- w niedziele 43 autobusy – 33,6% taboru,
- w święta 43 autobusy – 33,6% taboru.

#### 3.3.1 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzk, m przez brygady

Wszystkie brygady wykorzystywane do realizacji przewozów w ramach komunikacji miejskiej w dzień roboczy szkolny wykonują łącznie 25 593,06 wzk, m. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie na dystansie o długości 7,74 km (pojazd MAXI wspomagający linię 8), zaś najdłuższe zadanie ma przebieg o długości 365,63 km (pojazd MAXI). Przeciętna długość pracy eksploatacyjnej brygady w całej sieci wynosi 234,80 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 33,36%.

W odniesieniu do poszczególnych typów taboru najmniejsza zmienność występuje w przypadku pojazdów klasy MEGA18 (25,41%), zaś

największa dla pojazdów MINI (47,17%) związana z wykonywaniem przez 2 z nich zadań nocnych.

**Tab. 3.10 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny**

Parametr / typ taboru	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
liczba brygad	10		80		19	109
minimalna długość [km]	66,74		7,74		88,20	7,74
maksymalna długość [km]	276,11		365,63		332,92	365,63
przeciętna długość [km]	166,75		236,53		263,32	234,80
odch. standardowe	78,66		75,80		66,92	78,32
wsp. zmienności	47,17%		32,05%		25,41%	33,36%
suma wzkm	1 667,50		18 922,44		5 003,12	25 593,06

Źródło: Opracowanie własne

### 3.3.2 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 obsłużone 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. 3.11 zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

**Tab. 3.11 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów (dane dla dnia roboczego szkolnego)**

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	10	0	80	0	19	109
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	10	0	80	0	19	109
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	9	0	99	0	20	128
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Stan taboru	9	0	99	0	20	128
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	111%	0%	81%	0%	95%	85%
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 kursów lub par kursów (np.

„k1” oznacza 1 kurs, „p1” oznacza 1 parę kursów). przerwy posiłkowe, które nie są zaplanowane  
Z analizy wyłączone zostały dedykowane jako powtarzalne postoje wyrównawcze.

**Tab. 3.12 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	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
1	Cygański las	Osiedle Beskidzkie	17	3-8	8-20		17	4-9	4-12	
2	Mikuszowice Stalownik	Osiedle Kopernika	29 (25-30)	23	26-56	8	23	10-25	5-10	14
3	Osiedle Karpackie	Komorowice Sosna	30	9-41	5-8	18	21 (20-25)	11-16	4-7	9
4	Langiewicza Basen	Osiedle Polskich Skrzydeł	21 (20-30)	8	5-15		20	7	3	
6	Osiedle Karpackie	Lipnik Granica	29 (20-30)	8-28	5-9		23	10-15	9	
7	Karbowa Hala Wid.-Sport.	Wapienica Dzwonkowa	24	14-18	9-19		22	22	23-33	
8	Karbowa Hala Wid.-Sport.	Warszawska Lipowa	22	5-10	12-17		23	7-14	12-19	6
9	Cieszyńska Lotnisko	Mikuszowice Dom Ludowy	-				45	8-12	5-25	
10	Mikuszowice Błonia ATH	Wapienica Strażacka	18	6-16	11-16	7-50	17	16-26	15	23-33
11	Warszawska Dworzec	Straconka Leśniczówka	30	18	20	17	25	15	10-12	4-9
12	Mikuszowice Błonia ATH	Hałcnów Kościół	76	3-8	8		90	8	12	
13	Lipnik Dolny	Hałcnów Kościół	49	0-5	27-42	7	58	17-22	8-13	
13w	Lipnik Dolny	Krzemionki Witosa	P1		5		85	7	12-17	
15	Osiedle Langiewicza	Osiedle Polskich Skrzydeł	50	11-16	6-11		50	6-11	7-13	
16	Warszawska Dworzec	Wapienica Zapora	47	12-42	12		37	17	9	
17	Podwale Dworzec	Krzemionki Witosa	42	22	13-43		60	4		4
18	Osiedle Żłote Łany	Stare Bielsko Kościół	75		5		100	5	4	
19	Osiedle Żłote Łany	Czechowice Dziedzice Orzeszkowej	-				55	0-11		8
20	Osiedle Żłote Łany	Wapienica Strażacka	35	5-15	6	5	30	9-10	7-17	



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
21	Osiedle Langiewicza	Osiedle Polskich Skrzydeł	140	24	19		P1	24	19	
22	Osiedle Langiewicza	Osiedle Sarni Stok	30	9-19	3-13		27	2-32	3-13	
23	Szpital Wojewódzki	Osiedle Langiewicza	59	5-8	6-68		58	6-8	6-11	
24	Mikuszowice Śląskie	Wapienica Strażacka	31	3-23	12-37		26	8-23	7-27	31
25	Osiedle Sarni Stok	Mazańcowice Spółdzielnia	68	14-34	7-12		60	4-19	6	
26	Warszawska Dworzec	Wapienna Osiedle	60	19	18		45	18	17	
27	Warszawska Dworzec	Lipnik Dolny	93	15-35	14		80	15	13	
28	Osiedle Karpackie	Osiedle Wojska Polskiego	30	5-25	5		23	4-9	8	
29	Piastowska Dworzec	Komorowice Sosna	P1		10		60	12	10	
31	Podwale Dworzec	Hałcnów Granica	55	9	4-9		60	2-9	6	
32	Osiedle Karpackie	Hałcnów Kościół	48	4-48	7-10		31	7	10-12	
33	Warszawska Dworzec	Mazańcowice Osiedle	44	6-26	2-12		43	7-8	8-18	
34	Osiedle Złote Łany	Osiedle Polskich Skrzydeł	60	24	23-68		80	7	26	
35	Warszawska Dworzec	Lipnik Wielkopolska	-				-			
35L	Warszawska Dworzec	Warszawska Lipowa	60	23	18		85	37		
35S	Warszawska Dworzec	Warszawska Lipowa	55	12-27	7		65	20		
50	Osiedle Karpackie	Czechowice-Dziedzice Silesia	32	4-21	7-11		24	10-34	8	
56	Warszawska Dworzec	Janowicka Nikłówka	49	11-16	8		35	11-16	11-21	
57	Filarowa Med Work	Bystra Leśniczówka	43	8-13	5-6	8	29	8-18	5-10	
D	Hałcnów Kościół	Krzemionki Witosa	30	27	2	1-5	P1	9		
P1	Wapienica Strażacka	Szklana Proseat	-				P1	23	29	

<b>Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]</b>										
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
P2	Osiedle Złote Łany	Szklana Proseat					P1	25		
P3	Warszawska Dworzec	Czechowice Dziedzice Orzeszkowej					P1	26		

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 Bielsku - Białej oraz potencjalne koszty wprowadzenia. Pod koniec rozdziału przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania wariantów do dalszych analiz kosztów i korzyści wynikających z ich wdrożenia.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych, w sieci

### 4.1 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy z wodorowym ogniwem paliwowym (FCEB – Fuel Cell Electric Bus) do napędu wykorzystują silnik elektryczny. W pojeździe wodorowym energia elektryczna do zasilania silnika wytwarzana jest na bieżąco w wodorowym ogniwie paliwowym zasilanym wodorem zgromadzonym w zbiornikach znajdujących się najczęściej na dachu pojazdu. W

komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej, 128 pojazdach, teoretycznie wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi<sup>6</sup>:

- w terminie od 01.01.2023 r. – 13 pojazdów (tj. udział na poziomie 10%),
- w terminie od 01.01.2025 r. – 26 pojazdów (tj. udział na poziomie 20%),
- w terminie od 01.01.2028 r. – 39 pojazdów (tj. udział na poziomie 30%).

Poniższe analizy uwzględniają realizowany obecnie projekt polegający na zwiększeniu udziału pojazdy klasy MAXI18, przewidujący wprowadzenie do eksploatacji w 2022 r. 5 szt. autobusów tego typu, które zastąpią 5 szt. pojazdów klasy MAXI.

Obecnie w sieci komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej nie są eksploatowane pojazdy zeroemisyjne. Uwzględniając złożoność i czasochłonność przedsięwzięć dotyczących zakupu autobusów zeroemisyjnych, spełnienie minimalnego udziału 10% pojazdów tego typu w terminie od 01.01.2023 r. technicznie nie jest możliwe. W związku z tym na potrzeby niniejszej analizy kosztów i korzyści założono, że pierwsze autobusy zeroemisyjne zostaną wprowadzone do eksploatacji w 2024 r.

wodorowym ogniwie paliwowym zachodzi reakcja chemiczna, w wyniku której wodór w połączeniu z tlenem z powietrza wytwarza energię elektryczną. Produktem reakcji jest także para wodna i ciepło.

Autobus FCEB posiada przewagę nad elektrycznym wynikającą z możliwości

<sup>6</sup> Obliczając liczbę wymaganych autobusów zeroemisyjnych, przyjęto metodę zaokrąglania matematycznego dla wartości z ułamekami.

zmagazynowania większej ilości energii niż akumulator elektryczny przy tej samej masie, co daje możliwość pokonania większego dystansu – nawet do ok. 450 km. Kolejną zaletą jest krótki czas tankowania wodoru trwający około 15 minut, pozwalający na uzupełnienie 35 kg wodoru. Autobusy elektryczne potrzebują wielokrotnie więcej czasu na pełne doładowanie baterii, który wynosi kilka godzin. Eksploatacja autobusów wodorowych wiąże się jednak z koniecznością inwestycji w budowę stacji do ich tankowania.

Autobusy o napędzie elektrycznym wykorzystujące wodorowe ogniwa paliwowe (w skrócie określane jako „autobusy wodorowe”) stanowią najbardziej zaawansowane rozwiązanie technologicznie wśród pojazdów zeroemisyjnych. Podczas eksploatacji autobusów wodorowych osiągnięta jest zerowa emisyjność zanieczyszczeń w miejscu użytkowania pojazdu. W wyniku reakcji chemicznej wodoru z tlenem zachodzącej w ogniwie paliwowym, powstaje energia elektryczna, a produktem ubocznym jest para wodna.

Najważniejszą i niezbędną inwestycją infrastrukturalną jest stacja tankowania wodoru (HRS - hydrogen refueling station). Przy czym najkorzystniejszą lokalizacją dla stacji tankowania wodoru jest teren zajezdni autobusowej, ponieważ eliminuje się w ten sposób dodatkowe koszty związane z dojazdami w celu uzupełnienia paliwa.

Normy prawne dotyczące wykorzystania wodoru jako paliwa nie są jeszcze tak dopracowane jak w przypadku innych paliw i ciągle powstają ich aktualizacje.

Wybrane aktualnie obowiązujące normy to<sup>7</sup>:

- SAE J2601 wskazuje jako zestandaryzowane ciśnienia tankowania 350 bar (35 MPa) i 700 bar (70 MPa). Informuje ona także o obowiązku oznaczania złącza do tankowania, o podaniu maksymalnego ciśnienia oraz o minimalnej temperatury pracy,
- SAE J2799 – dotyczy wymagań dla stacji tankowania wodoru,
- SAE J2579 – dotyczy wymagań dla zbiorników przechowujących wodór,
- DIN EN 17124 – określa stopień czystości wodoru do zastosowania w ogniwach paliwowych PEM8.

W 2020 r. powołano europejskie konsorcjum („StasHH”), w ramach którego firmy i instytucje działające w branży wspólnie opracują europejską normę dotyczącą specyfikacji ogniw paliwowych do pojazdów użytkowych.

Obecnie autobusy wodorowe są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak: Kolonia, Londyn, Pau, Hamburg, Oslo, Mediolan, czy Wuppertal. Są to niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk, poza przewoźnikiem z Kolonii<sup>9</sup> posiadającym 50 autobusów wodorowych we flocie oraz obsługującym także obszary podmiejskie. Ilość autobusów wodorowych wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie dzięki programowi współfinansowanemu przez Unię Europejską o nazwie JIVE & JIVE 2, do końca 2021 r. zakontraktowano ponad 200 nowych pojazdów napędzanych wodorem (w tym 15 kolejnych dla Kolonii)<sup>10</sup>. Co warto podkreślić, od 2019 r. złożono już zamówienia na ponad 60 pojazdów produkowanych na terenie Polski.

W ramach zakończonego 1 etapu programu NFOŚIGW „Zielony Transport Publiczny” złożono 4 wnioski o dotację na zakup ponad 120

<sup>7</sup> <http://gashd.eu/wodor-h2/>

<sup>8</sup> <https://emcel.com/de/reinheit-von-wasserstoff/>

<sup>9</sup> Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) jest pionierem zastosowań autobusów wodorowych – pierwsze wdrożenie w 2011 r.

<sup>10</sup> [https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses\\_web.pdf](https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses_web.pdf), dostęp: 13.11.21

pojazdów zasilanych czystym wodorem. Aktualnie beneficjentami zostały Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (20 autobusów) i Miasto Chełm (15 autobusów). Na rozstrzygnięcie oczekuje jeszcze MPK Poznań (84 autobusy).<sup>11</sup> Niniejsze miasta nie są jedynymi w

Polsce, w których planowane jest wykorzystanie autobusów wodorowych – 23.06.2021 r. MZK Konin wybrał dostawcę w formie oddania w dzierżawę 1 12-metrowego autobusu wodorowego<sup>12</sup>.

**Tab. 4.1 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym.**

Miasto	Liczba autobusów	Producent autobusów	Typ autobusu
Kolonia	50	Van Hool; Solaris	12 m
Aberdeen	10	Van Hool	13 m
Londyn	8	Wright	12 m
Ryga	10(20)	Solaris	Przegubowy, 18,75 m, trolejbus z ogniwami wodorowymi
Hamburg	6	4x Mercedes (EvoBus) i 2x Solaris	4x 12 m i 2x 18,75 m
Aargau	5	Mercedes (EvoBus)	12 m
Oslo	5	Van Hool	12 m
Pau	8	Van Hool (ExquiCity FC)	18 m
Wuppertal	10	Van Hool	12 m

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 źródłem energii elektrycznej jest wodorowe ogniwo paliwowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję buforu energii – są zasilane zarówno z ogniwa paliwowego jak i systemu rekuperacji energii uzyskiwanej podczas hamowania pojazdu.

Wśród korzystnych cech autobusów wodorowych w porównaniu z elektrycznymi można wymienić następujące, które wpływają na ich wyższą operacyjność:

- krótki czas tankowania pojazdu trwający około 15 minut (standardowe ładowanie

baterii autobusu elektrycznego to kilka godzin),

- większy możliwy do pokonania dystans wynoszący ok. 400 – 450 km,
- niższa masa własna pojazdu przy możliwym do przejechania dystansie,
- zdolność do przewożenia większej ilości pasażerów.

Zbiorniki wodoru umieszczane na dachu autobusu mają pojemność ok. 35 kg wodoru, co w zależności od warunków, wystarcza na przejechanie ok. 350-450 km, bez konieczności uzupełniania na trasie (jak to ma miejsce w przypadku pojazdów elektrycznych akumulatorowych). Wodór gromadzony jest w zbiornikach pod ciśnieniem 35 MPa.

<sup>11</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/mobile/zielony-transport-publiczny-samorzady-mierza-wysoko-67564.html>, dostęp: 13.11.21

<sup>12</sup> POSTĘPOWANIE NR Z3/51472 MZK Konin, [https://mzk-konin.logintrade.net/zapytania\\_email,42525,3c77791b126e1e33dc95c13a3d914e11.html](https://mzk-konin.logintrade.net/zapytania_email,42525,3c77791b126e1e33dc95c13a3d914e11.html), dostęp 13.11.21



Przyjmuje się, że autobus wodorowy zużywa średnio 9 kg wodoru na przejechanie 100 km. Zużycie jest uzależnione od parametrów zabudowanych podzespołów i ilości przewożonych pasażerów, ale wpływ ma także technika jazdy kierowcy, oraz warunki pogodowe (temperatura zewnętrzna). Większe zużycie będzie występować w porze letniej ze względu na potrzebę zasilania urządzeń klimatyzacji przestrzeni pasażerskiej oraz w porze zimowej z uwagi na konieczność wykorzystania części energii elektrycznej na ogrzewanie pojazdu.

Eksploatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością budowy

odpowiedniej infrastruktury do tankowania. Obecnie w Polsce nie są dostępne stacje tankowania wodorem – czysty wodór na potrzeby transportowe nie jest jeszcze dystrybuowany. Pojawiły się natomiast pierwsze porozumienia mające na celu stworzenie infrastruktury do tankowania takich pojazdów<sup>13</sup>. 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
Solaris Urbino 12 Hydrogen	12 m	2019	29,2 kWh	2 x 125 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
Ursus Demo Hydrogen	12 m	2017	70 kWh	226 kW (2 x 113 kW silnik w piastach kół)	450 km	ok. 80 pasażerów

Źródło: Opracowanie własne

#### 4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów wodorowych, generują koszty zakupu taboru jak i infrastruktury niezbędnej do tankowania pojazdu.

Ceny pojazdów aktualnie kształtują się na poziomie od 625 000 do 650 000 Euro. Ze względu na rosnącą ich liczbę, ceny autobusów z ogniwem paliwowym, prognozowane przez

niektórych producentów autobusów, w najbliższych kilku latach znajdą się w przedziale od 380 000 do 550 000 Euro za autobus. Ceny generalnie odnoszą się do rocznej produkcji 100 pojazdów (rzadziej 200 pojazdów). Efekty skali odpowiedzialne za obniżkę cen występują

<sup>13</sup> Miasto Gdynia i Grupa Lotos podpisały list intencji dotyczący ewentualnych dostaw wodoru (data podpisania 3 kwietnia 2018 r.), w późniejszym czasie także Wejherowo,

Tczew oraz Rzeszów (22.10.2020). Krakowskie MPK podpisało podobne porozumienie z PKN Orlen w maju 2020.

przede wszystkim w łańcuchu dostaw<sup>14</sup>. Rozwój technologii zbiorników wodoru, ogniw paliwowych oraz baterii i jednocześnie wzrost ilości zamówień prowadzić mogą do znacznych obniżek cen. Podobnie koszty zakupu autobusu przedstawiają się w materiałach oceniających projekty JIVE i MEHRLIN - autobus typu MAXI szacuje się na poziomie 650 tys. euro, zaś autobusu typu MEGA18 na poziomie 1 miliona euro<sup>15</sup>.

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów wodorowych o długości 13 m, cena może być niższa. Kontrakt wart był 13 mln euro, co oznacza, że jeden autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. **Rynek autobusów napędzanych wodorem jest nowy i cena nie ukształtowała się ostatecznie**<sup>16</sup>.

Istotną kwestią, przy formułowaniu warunków zamówienia na autobusy wodorowe, jest określenie wymaganego okresu gwarancji na podstawowe podzespoły tj. wodorowe ogniwo paliwowe oraz akumulatory trakcyjne.

Przedstawienie wymogu gwarancji na okres 10 – 12 lat, może skutkować wyższą ceną ofertową producenta pojazdu z uwagi na konieczność utrzymania użytkowych parametrów eksploatacyjnych tych podzespołów w okresie gwarancji (zastosowanie akumulatorów pożądanego typu LTO, regeneracja ogniwa paliwowego, lub wymiana całych komponentów).

Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI z ogniwem paliwowym na poziomie 680 000 Euro z perspektywą obniżania ceny zakupu o 5% w 2024 i 2027 r.

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

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam <sup>17</sup>	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. €)

<sup>14</sup><https://emcel.com/de/preise-fuer-brennstoffzellenbusse/?fbclid=IwAR2R33FCPYJKRNWZu-6q5B7e4EJGCzggITH6GolthGrLoSPEYRb9F0OckE8>

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

<sup>16</sup> [https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null\\_Emissio/2018\\_Datenblatt\\_Van\\_Hool.pdf](https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null_Emissio/2018_Datenblatt_Van_Hool.pdf), dostęp: 12.11.2021

<sup>17</sup> <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp: 11.11.2021

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Aberdeen <sup>18</sup>	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:

- magazyny wodoru (zbiornik nisko- i wysokociśnieniowy),
- sprężarka wodoru,
- wymiennik ciepła (chłodnica),
- dystrybutory,
- układ sterowania stacją.

Ważnym parametrem stacji tankowania wodoru jest jej wydajność w kg wodoru na dzień, która przekłada się na możliwość i czas tankowania zbiorników autobusów do ciśnienia 35 MPa.

Koszt stacji tankowania wodoru zależy od jej konfiguracji, wydajności, sposobu dostarczania wodoru do stacji, a także wymagań, jakie są stawiane odnośnie sposobu jej użytkowania przez flotę autobusów<sup>19</sup>. 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 €<sup>20</sup>.

Z informacji prasowych wynika, że ZE PAK nabył stację tankowania wodoru w cenie 14,82 mln zł (3,2 mln €)<sup>22</sup>

Koszty budowy własnej stacji na potrzeby eksploatacji autobusów z wodorowymi ogniwami w bielsko-bialskiej komunikacji miejskiej szacuje się na poziomie 16 200 000 zł. Ponadto należy przygotować odpowiednie zapisy w instrukcjach przeciwpożarowych i BHP oraz przeprowadzić szkolenie w tym zakresie dla pracowników obsługi.

### 4.1.4 Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Bielsku-Białej

Do obsługi komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej przeznaczonych jest 128 pojazdów. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej w 2028 r., niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych dla docelowo 39 sztuk autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi klasy MAXI. Wymianę autobusów

spalinowych na autobusy napędzane wodorem założono w stosunku 1 do 1.

Poniższe tabele przedstawiają nakłady inwestycyjne przed 2028 r. dla osiągnięcia docelowej ilości 39 sztuk autobusów zeroemisyjnych.

<sup>18</sup> <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses>, dostęp: 11.11.2021

<sup>19</sup> <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing>, dostęp: 11.11.2021

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

<sup>21</sup> <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp: 12.11.2021

<sup>22</sup> <https://www.gramwzielone.pl/woddor/104023/ze-pak-kupuje-stacje-tankowania-wodorem-za-32-mln-euro>

**Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym (koszt budowy stacji tankowania po stronie gminy lub operatora)**

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	113,98 mln zł
Stacja tankowania wodoru	18,20 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	132,18 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 lipcu 2021 r. w Polsce zarejestrowane były 524 autobusy elektryczne akumulatorowe<sup>23</sup>. Większość z nich wprowadzono do eksploatacji w 2020 r., kiedy zarejestrowano aż 201 sztuk (wzrost o 253% względem 2019 r.)<sup>24</sup>. 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 spalinowych<sup>25</sup>, 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

żywnością 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 temperaturę<sup>26</sup>.

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

<sup>23</sup> <https://transinfo.pl/infobus/polski-rynek-autobusow-elektrycznych-07-2021/>

<sup>24</sup> <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-rok-2020-rekordowy-na-polskim-rynku-samochodow-elektrycznych/>

<sup>25</sup> Koncepcja wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych w lubelskiej komunikacji miejskiej, Poznań 2014

<sup>26</sup> Przegląd aktualnych doświadczeń w eksploatacji autobusów elektrycznych, MZA Sp. z o.o., Kraków 2017

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.

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 Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MEGA18 w Poznaniu 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 minut 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



Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowarki zawarte w cenie
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
Opole	Solaris	12m	5	3,747	3x 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 215 km na kilkugodzinne ładowanie). Alternatywnym rozwiązaniem jest kierowanie takich autobusów do obsługi zadań typu dodatek, zadanie jednozmianowe lub zadanie dwuzmianowe z gwarancją obsługi na 1 ładowaniu.

#### 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. W analizie przyjęto założenie, że autobus elektryczny może przejechać 215 km na jednym pełnym naładowaniu 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	10	0	48	0	19	77
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	42	0	0	42
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	10	0	0	10
Liczba brygad w ruchu	10	0	90	0	19	119

Źródło: Opracowanie własne

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

akumulatorowymi 22 brygad klasy MAXI w wersji bez doładowywania w trakcie dnia. Niniejsze działanie wymaga wykorzystania 22 pojazdów

elektrycznych, co przy braku modyfikacji oferty przewozowej i floty taborowej nie spełnia wymogów prawnych nałożonych na organizatora - zapewnia poziom 18%, tj. prawie 2 razy mniejszy niż wymagany jako docelowy poziom 30%. Z tego też względu konieczne jest przekształcenie 10 dotychczasowych brygad MAXI w 20 brygad MAXI elektrycznych, nadających się do obsługi przez pojazdy z niniejszego modelu. Spowoduje to wzrost liczby pojazdów w ruchu o 10 wraz z powiększeniem rozmiaru floty taborowej o 10 pojazdów. Efektem tego działania będzie posiadanie 42 pojazdów elektrycznych przy flocie 138 pojazdów, co wypełnia wymogi prawne związane z udziałem pojazdów elektrycznych we flocie na poziomie 30%.



**Rys. 4.2** Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI przystosowany do ładowania wyłącznie techniką plug-in w Aachen (Niemcy)

Źródło: Zbiory własne

Powszechnie ładowanie autobusów w tym modelu odbywa się wyłącznie na terenie zajezdni operatora w godzinach nocnych.

**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	9	0	67	0	20	96
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	42	0	0	42
Stan taboru	9	0	109	0	20	138
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	111%	0%	72%	0%	95%	80%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	39%	0%	0%	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 taborem elektrycznym akumulatorowym przyczynia się do znaczącego zwiększenia zasięgu autobusu, przez co ogranicza się ryzyko zjazdu autobusu do zajezdni z powodu rozładowanych akumulatorów przed całkowitą realizacją zadania. Dodatkowym atutem jest możliwość zastosowania mniejszej liczby akumulatorów, co przekłada się na niższą masę pojazdów, większą pojemność autobusu, a także prowadzi do wolniejszej degradacji nawierzchni dróg i przystanków.

Koszt zakupu jednej ładowarki pantografowej szybkiego ładowania to około 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. 4.3 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 organizatora komunikacji miejskiej oraz analiza wielokryterialna linii.

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:

- regularna częstotliwość kursowania,
- posiadania krańców podstawowych na terenie gminy organizatora:
  - premiuje linie posiadające oba krańce w niniejszym obszarze,
  - krańce wspólne dla co najmniej 2 linii,
- dostępność typów pojazdu na rynku,
- niskie zróżnicowanie typów taboru obsługujących linię,
- ze względu na ukształtowanie terenu w mieście Bielsko-Biała, dodatkowo przeanalizowano i oceniono profile pionowe

i przewyższenia występujące na trasach linii komunikacyjnych,

- przebieg linii przez:
  - zabytkowe centrum miasta,
  - największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,
  - węzły przesiadkowe o charakterze lokalnym lub międzyregionalnym,
  - buspasy i śluzy,
  - skrzyżowania objęte systemem ITS.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej wymiany taboru na pojazdy zeroemisyjne wytypowano następujące linie: 1, 2, 4, 6, 15, 22, 23, 24, 28 i 32 obsługiwane obecnie przez 36 brygad. Ze względu na konieczność wydłużenia postojów wyrównawczych w celu doładowywania autobusów z ładowarek pantografowych, liczba autobusów elektrycznych obsługujących niniejszy pakiet linii wzrośnie do 39 sztuk. 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 uzupełniającym tabor z napędem konwencjonalnym.

Na potrzeby elektryfikacji komunikacji miejskiej z szybkim doładowywaniem na pętlach zaplanowano budowę 8 stacji szybkiego ładowania na terenie miasta oraz budowę 20 ładowarek dwustanowiskowych lub 39 ładowarek jedno stanowiskowych wolnego ładowania w zajezdni MZK Bielsko-Biała. 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 w porównaniu do obecnego średniego przebiegu autobusu tego typu.



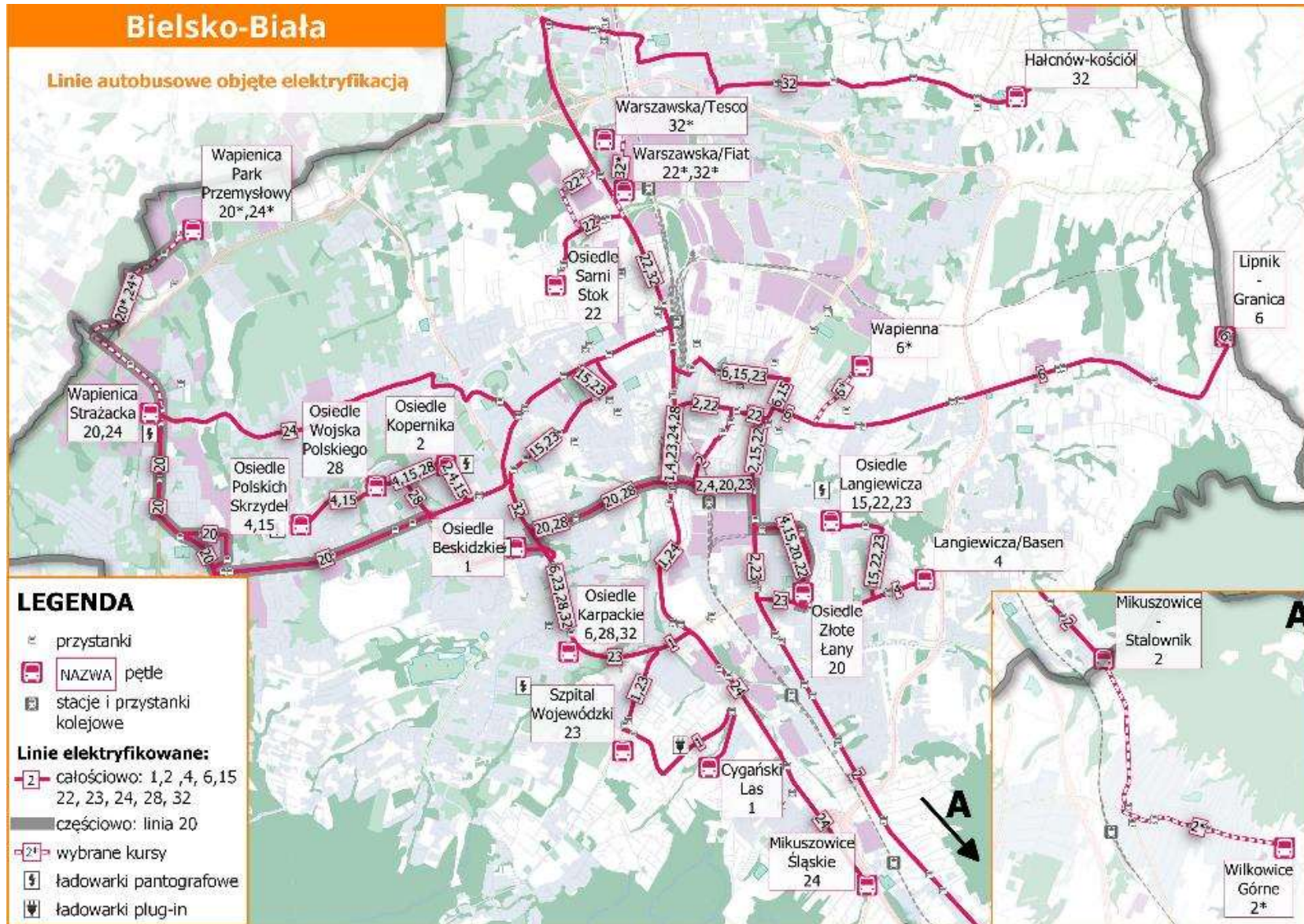
**Rys. 4.4 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie**

Źródło: Zbiory własne

Lokalizację stacji szybkiego ładowania pantografowego założono na głównych krańcach linii podstawowych na terenie miasta:

- pętla Osiedle Beskidzkie (1 szt.),
- pętla Osiedle Karpackie (2 szt.),
- pętla Osiedle Langiewicza (1 szt.),
- pętla Osiedle Kopernika (1 szt.),
- pętla Osiedle Polskich Skrzydeł (2 szt.),
- pętla Wapienica Strażacka (1 szt.).





Rys. 4.5 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek

Źródło: Opracowanie własne



Przedstawione powyżej działania pozwolą na uruchamianie w sieci 39 brygad obsługiwanych przez pojazdy elektryczne. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu utrzymania

obecnie stosowanych częstotliwości kursowania do obsługi przewozów potrzebne będą 3 dodatkowe autobusy. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie również o 3 sztuki.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	10	0	44	19	73
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:		0	39	0	39
Przyrost liczby brygad w ruchu		0	+3	0	0
Liczba brygad w ruchu	10	0	83	19	112

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 131 pojazdów, w tym 39 autobusów o napędzie elektrycznym (30%). Zrealizowana zostanie

wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych względem wielkości floty przeznaczonych do świadczenia usług w komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej.

**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	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	9		63	0	20	92
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe			39	0	0	39
Stan taboru	9		102	0	20	131
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	100%		70%	0%	95%	85%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych			100%	0%	0%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych			62%	0%	0%	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. 4.6 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. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto<sup>27</sup>. 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 brutto<sup>28</sup>. 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 brutto<sup>29</sup>. 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 brutto<sup>30</sup>. 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 brutto<sup>31</sup>. 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)<sup>32</sup>.

<sup>27</sup> <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: 12.11.2021

<sup>28</sup> <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: 12.11.2021

<sup>29</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html> , dostęp: 12.11.2021

<sup>30</sup> <https://bip.um.gdynia.pl/zamowienia-publiczne,738/postepowanie-na-dostawe-autobusow-elektrycznych-ladowanych-w-ruchu-i-na-postoju,529604> , dostęp: 13.11.2021

<sup>31</sup> <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727> , dostęp: 13.11.2021

<sup>32</sup> <https://platformazakupowa.pl/transakcja/384851> , dostęp: 14.11.2021



Rys. 4.7 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem

Źródło: Zbiory własne

### 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 technicznego<sup>33</sup>. 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)<sup>34</sup>.

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 brutto<sup>35</sup>.



Rys. 4.8 Trolejbus typu MAXI w Pireusie

Źródło: Zbiory własne

### 4.3.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Bielsku-Białej

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych powinien wynosić minimum 30%. MZK Bielsko-Biała eksploatuje na potrzeby komunikacji miejskiej 128 pojazdów (109 pojazdów w ruchu), co oznacza, że powinna posiadać 39 pojazdów

zeroemisyjnych (32 w ruchu, 7 w rezerwie zakładając podobny poziom wskaźnika wykorzystania autobusów co obecnie). Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy założono w stosunku 1 do 1. Optymalny wariant

<sup>33</sup> [http://mpk.lublin.pl/?id\\_site=1&id=1184](http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184) , dostęp: 14.11.2021

<sup>34</sup> <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](https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa_more_106289/) , dostęp: 15.11.2021

<sup>35</sup> [https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa\\_more\\_106289/](https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa_more_106289/) , dostęp: 15.11.2021

uruchomienia trakcji trolejbusowej może obejmować wymianę autobusów kursujących na liniach 1, 2, 4, 8, 10, 16, 20, 28 i 34, ponieważ tworzą one wiązkę linii na możliwie długich wspólnych odcinkach trasy. Obecnie linie te w szczycie komunikacyjnym obsługiwane są przez łącznie 32 autobusy (21 MAXI i 11 MEGA18). Trasa linii 1, 8 oraz 28 w całości może być pokryta siecią trakcyjną, natomiast linie 2, 4, 10, 20 i 34 na odcinkach będą poruszały się bez sieci trakcyjnej. Dzięki wyposażeniu pojazdów w akumulatory, budowanie sieci trakcyjnej na całej długości wszystkich tras wybranych linii nie jest konieczne. W niniejszej analizie założono możliwość kursowania trolejbusów z napędem pomocniczym. Linia 2 może nie posiadać sieci trakcyjnej na fragmencie trasy na ulicy Żywieckiej od skrzyżowania z ulicą Łagodną i Bora-Komorowskiego do przystanku Mikuszowice/Stalownik oraz na ulicy Stojałowskiego, Dmowskiego i Sempołowskiej, natomiast linia 4 na ulicy Łagodnej od

skrzyżowania z ulicą Urodzajną do przystanku Langiewicza/Basen. Linie 10 i 20 mogą nie posiadać trakcji na kursach wariantowych od ulicy Międzyrzeckiej do Wapienicy Parku Przemysłowego. Linia 16 może być obsługiwana z napędem pomocniczym na ulicy Jaworżańskiej i Zapora, aż do przystanku Wapienica Zapora oraz na kursach wariantowych od przystanku Warszawska Dworzec do przystanku Warszawska Fiat. Natomiast linia 34 może funkcjonować bez trakcji na ulicy Bora-Komorowskiego. Wyjazdy z zajezdni mogą odbywać się z wykorzystaniem akumulatorów. Wprowadzanie trolejbusów wymagać będzie zmiany przydziałów pojazdów do brygad, jako że na chwilę obecną stosowane są służby łączące różne linie, także takie, na których nie jest możliwa obsługa trakcją trolejbusową. Łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Bielsku-Białej docelowo może wynieść 67 km (w tym 3,4 km odcinka jednokierunkowego).

**Tab. 4.10 Koszty netto zakupu trolejbusów**

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1,80 mln zł	26	46 800 000,00 zł
MEGA18	2,05 mln zł	13	26 650 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebne będą 32 trolejbusy (21 MAXI oraz 11 MEGA18), a jako rezerwę 7 dodatkowych pojazdów (5 MAXI, 2 MEGA18). Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem komunikacji trolejbusowej są podstacje

trakcyjne, które powinny być rozmieszczone co około 4 km – koszt budowy jednej podstacji szacuje się na poziomie około 2,1 mln zł netto. Poniżej zestawiono łączne koszty uruchomienia trakcji trolejbusowej w komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej.

**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	73,45 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	134,00 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	18,90 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	238,55 mln zł

Źródło: Opracowanie własne





Rys. 4.9 Schemat koncepcji sieci trolejbusowej

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 (część 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 założono 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
MAXI ON	39	1,05 mln zł	40,95 mln zł
Koszt całkowity inwestycji:			40,95 mln zł

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:

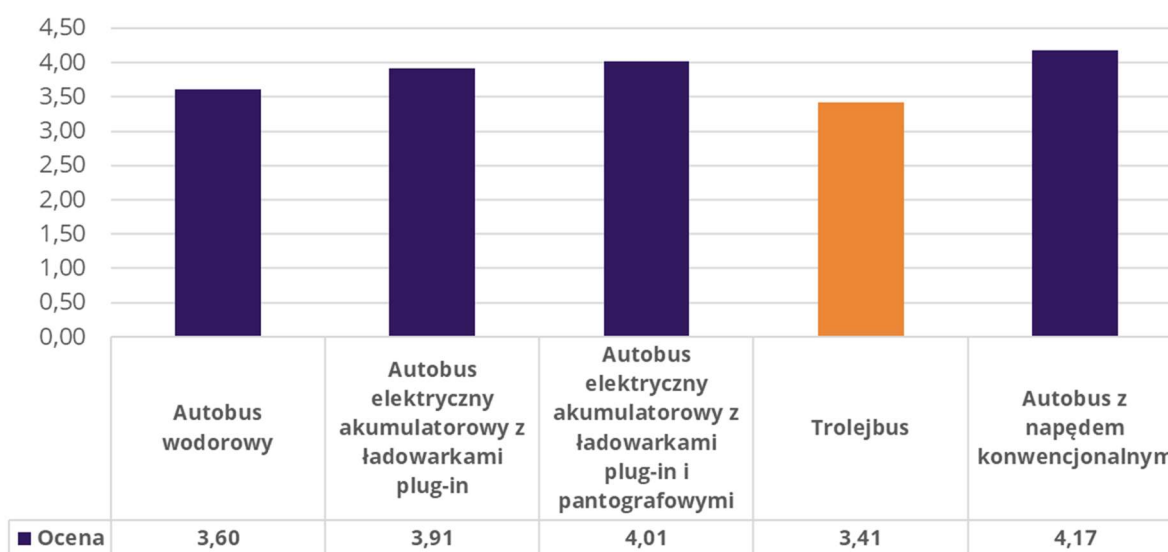
- techniczny
  - łatwość wprowadzenia rozwiązania i konieczność budowy nowej lub przebudowy infrastruktury,
  - zasięg oferowany przez rozwiązanie,
  - elastyczność zarządzania taborem i możliwość używania pojazdów na innych liniach,
- społeczny
  - liczba potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych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

Kolejnym etapem było przypisanie ocen poszczególnym wariantom, które zostały zaprezentowane w poniższej tabeli, a następnie

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

przemnożono poszczególne oceny wariantów przez wagi aspektów szczegółowych.

### 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 4,17. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 4,01, zaś kolejną lokatę otrzymały autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in z oceną 3,91. Kolejną pozycję uzyskały autobusy wodorowe – z wodorowymi ogniwami paliwowymi z łączną oceną 3,60. Powyższe cztery 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 energii z ładowarek pantografowych,
- W2 – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów o napędzie elektrycznym, przystosowanych do ładowania wyłącznie z ładowarek typu plug – in,
- W3 – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi, zakładający, że stacja tankowania wodoru w Bielsku - Białej zostanie zbudowana i sfinansowana przez Miasto Bielsko - Biała lub MZK Bielsko – Biała Sp. z o.o..

Tab. 4.13 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Bielsku - Białej.

W0 autobusy z obecnym napędem	W1 autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane z ładowarek pantografowych	W2 autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane wyłącznie z ładowarek zajezdniowych plug-in z akumulatorami o dużej pojemności energii	W3 autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi (komunalna stacja tankowania)
<p>Odnowa floty w oparciu o autobusy konwencjonalne z napędem spalinowym</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 39 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI Całościowo elektryfikowane linie: 1, 2, 4, 6, 15, 22, 23, 24, 28, 32 Częściowo elektryfikowane linie: 20, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3,7,8,10,11,12,13,16,17,19,21,25,31,33,34,50,56,57 Budowa 20 szt. dwustanowiskowych lub 39 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 8 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania na pętłach Osiedle Beskidzkie (1 szt.), Osiedle Karpackie (2 szt.), Osiedle Kopernika (1 szt.), Osiedle Langiewicza (1 szt.), Osiedle Polskich Skrzydeł (2 szt.), Wapienica Strażacka (1 szt.) działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 42 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI Całościowo elektryfikowane linie: 1, 2, 4, 6, 15, 22, 23, 24, 28, 32 Częściowo elektryfikowane linie: 20, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3,7,8,10,11,12,13,16,17,19,21,25,31,33,34,50,56,57 Budowa 21 szt. dwustanowiskowych lub 42 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 39 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI Całościowo elektryfikowane linie: 1, 2, 4, 6, 15, 22, 23, 24, 28, 32 Częściowo elektryfikowane linie: 20, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3,7,8,10,11,12,13,16,17,19,21,25,31,33,34,50,56,57 Założono, że stacja tankowania wodoru zostanie zbudowana i sfinansowana przez Miejski Zakład Komunikacyjny Sp. z o. o. lub gminę Miasto Bielsko-Biała  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 tzw. bezinwestycyjny z odtwarzaniem floty bielsko-bialskiej komunikacji miejskiej o autobusy za obecnie stosowanymi napędami (wariant W0) oraz cztery warianty inwestycyjne:

- z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in i pantografowymi (wariant W1),
- z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami typu plug-in (wariant W2),
- z autobusami wyposażonymi w wodorowe ogniwa paliwowe, które będą tankowane ze stacji wybudowanej przez Miejski Zakład Komunikacyjny w Bielsku-Białej Sp. z o.o. (wariant W3).

### 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 analizie zostaną podjęte w 2023 roku, a eksploatacja pojazdów zeroemisyjnych rozpocznie się od 2024 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 2019 r. z usług komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej skorzystało 15,827 mln pasażerów.
- Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI przystosowane do szybkiego ładowania z ładowarek pantografowych realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 10% do poziomu ok. 63 tys. wzmk rocznie, przejmując część pracy eksploatacyjnej autobusów z normą spalania EURO 6 z odpowiedniej klasy pojazdów,
- Autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI będą realizować zwiększoną pracę eksploatacyjną o 55% do poziomu ok. 91 tys. wzmk rocznie,

zastępując pracę eksploatacyjną autobusów spalinowych odpowiedniej

klasy pojemnościowej z normą spalania EURO 6.

## 5.2 Nakłady inwestycyjne

Koszty inwestycyjne zostały oszacowane w oparciu o analizę rynku oraz wiedzę ekspercką. 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 prognozy) oraz w

nawiązaniu do sporządzonego modelu teoretycznego modernizacji floty MZK. Dodatkowo w wariantcie W2 przyjęto założenie, że 1 ładowarka dwustanowiskowa wolnego ładowania przypada na 2 autobusy (w przypadku nieparzystej liczby autobusów wartość zaokrąglono w górę).

**Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1**

Wariant W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 13 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2023	29 900 000 zł
Budowa 7 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2023	1 575 000 zł
Budowa 3 ładowarek pantografowych z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – 2 szt. Os. Karpackie i 1 szt. Os. Langiewicza	2023	1 800 000 zł
Przystosowanie zajezdni	2023	2 050 000 zł
Zakup 13 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	29 900 000 zł
Budowa 6 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2024	1 350 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowych z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – Os. Kopernika i Os. Polskich Skrzydeł	2024	1 200 000 zł
Budowa przyłączy i infrastruktury towarzyszącej przy ładowarkach pantografowych	2024	700 000 zł
Zakup 13 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	29 900 000 zł
Budowa 7 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	1 575 000 zł
Budowa 3 ładowarek pantografowych z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – Os. Beskidzkie, Os. Wapienica i Os. Polskich Skrzydeł	2027	1 800 000 zł
Budowa przyłączy i infrastruktury towarzyszącej przy ładowarkach pantografowych	2027	1 050 000 zł
	<b>Suma:</b>	<b>102 800 000 zł</b>

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2**

Wariant W2		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 13 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2023	35 100 000 zł
Budowa 13 ładowarek jedno stanowiskowych wolnego ładowania	2023	2 925 000 zł
Przystosowanie zajezdni	2023	1 000 000 zł



Wariant W2		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 15 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	40 500 000 zł
Budowa 15 ładowarek jednostanowiskowych wolnego ładowania	2024	3 375 000 zł
Zakup 14 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	37 800 000 zł
Budowa 14 ładowarek jednostanowiskowych wolnego ładowania	2027	3 150 000 zł
	<b>Suma:</b>	<b>123 850 000 zł</b>

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3

Wariant W3		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 13 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2023	39 956 800 zł
Nakłady na budowę stacji tankowania na terenie zajezdni	2023	18 200 000 zł
Zakup 13 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2024	39 956 800 zł
Zakup 13 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2027	39 956 800 zł
	<b>Suma:</b>	<b>132 176 772 zł</b>

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

Stopień elektryfikacji linii			
LINIE	2024 r.	2025 r.	2028 r.
1	BRAK	BRAK	PEŁNA
2	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
4	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
6	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
15	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
20	BRAK	BRAK	CZĘŚCIOWA
22	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
23	BRAK	BRAK	PEŁNA
24	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
28	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
32	CZĘŚCIOWA	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 te będą ponoszone po 15 latach użytkowania pojazdu o napędzie zeroemisyjnym. W przypadku obecnie posiadanych pojazdów o napędzie

konwencjonalnym okres eksploatacji wynosić będzie nie mniej niż 15 lat, przy czym po każdej ich kolejnej wymianie okres żywotności wynosić będzie 10 lat. Dla każdego autobusu z napędem konwencjonalnym wyprodukowanego po 2021 r. pierwsze nakłady odtworzeniowe zostaną poniesione po 10 latach eksploatacji. Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych

nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.5. Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatorów stanowi 40% wartości autobusu

elektrycznego, a w 2030 r. ich cena spadnie o 10% względem dzisiejszej. W Tab. 5.6 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych we wszystkich analizowanych wariantach.

**Tab. 5.5 Okres eksploatacji środków trwałych**

Rodzaj środka trwałego	Okres eksploatacji (żywności) w latach	Stopień odtworzenia po zakończeniu eksploatacji (żywności) w %
Zakup autobusów	Autobusy spalinowe: od 10 do 15 lat 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 oraz autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi: 15 lat (połowa długości okresu między cyklem życia autobusu spalinowego na poziomie 10 lat i trolejbusu na poziomie 20 lat, wskazanych w Niebieskiej Księdze)	100%
Infrastruktura energetyczna do ładowania pojazdów	40	100%
Stacje ładowania	20	100%
Akumulatory w autobusach elektrycznych	8	100%

Źródło: Opracowanie własne

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

Rok	Wartość nakładów odtworzeniowych – W0	Wartość nakładów odtworzeniowych – W1	Wartość nakładów odtworzeniowych – W2	Wartość nakładów odtworzeniowych – W3
2021	- zł	- zł	- zł	- zł
2022	5 400 000,00 zł	5 400 000,00 zł	5 400 000,00 zł	5 400 000,00 zł
2023	5 250 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2024	5 250 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2025	10 500 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2026	14 100 000,00 zł	12 000 000,00 zł	12 000 000,00 zł	12 000 000,00 zł
2027	12 600 000,00 zł	8 400 000,00 zł	8 400 000,00 zł	8 400 000,00 zł
2028	7 350 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2029	7 200 000,00 zł	4 050 000,00 zł	4 050 000,00 zł	4 050 000,00 zł
2030	10 050 000,00 zł	10 050 000,00 zł	10 050 000,00 zł	10 050 000,00 zł
2031	30 900 000,00 zł	36 135 000,00 zł	40 815 000,00 zł	37 045 000,00 zł
2032	29 100 000,00 zł	37 485 000,00 zł	44 175 000,00 zł	28 945 000,00 zł
2033	5 250 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2034	5 250 000,00 zł	2 100 000,00 zł	8 550 000,00 zł	- zł
2035	10 500 000,00 zł	8 385 000,00 zł	14 070 000,00 zł	9 295 000,00 zł

Rok	Wartość nakładów odtworzeniowych – W0	Wartość nakładów odtworzeniowych – W1	Wartość nakładów odtworzeniowych – W2	Wartość nakładów odtworzeniowych – W3
2036	19 350 000,00 zł	17 250 000,00 zł	17 250 000,00 zł	12 000 000,00 zł
2037	12 600 000,00 zł	9 450 000,00 zł	15 300 000,00 zł	8 400 000,00 zł
2038	7 350 000,00 zł	29 900 000,00 zł	35 100 000,00 zł	36 061 012,00 zł
2039	7 200 000,00 zł	33 950 000,00 zł	39 150 000,00 zł	40 111 012,00 zł
2040	10 050 000,00 zł	10 050 000,00 zł	10 050 000,00 zł	10 050 000,00 zł
2041	30 900 000,00 zł	27 750 000,00 zł	27 750 000,00 zł	27 750 000,00 zł
2042	29 100 000,00 zł	59 000 000,00 zł	66 210 000,00 zł	55 711 012,00 zł
2043	- zł	- zł	- zł	- zł
<b>SUMA</b>	<b>275 250 000,00 zł</b>	<b>311 355 000,00 zł</b>	<b>358 320 000,00 zł</b>	<b>305 268 036,00 zł</b>

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2021-2043	275 250 000,00 zł	311 355 000,00 zł	358 320 000,00 zł	305 268 036,00 zł
Zmiana do W0		36 105 000,00 zł	83 070 000,00 zł	30 018 036,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

## 5.4 Prognoza kosztów operacyjnych

Do kosztów operacyjnych zaliczono wszystkie koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów zeroemisyjnych we wszystkich wariantach inwestycyjnych. Analizę przeprowadzono z podziałem na warianty oraz rozróżnieniem na poszczególne składowe. W każdym wariantcie analizy (bezinwestycyjnym W0 oraz inwestycyjnych W1, W2, W3) wielkość pracy eksploatacyjnej jest jednakowa – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej w zakresie tras i rozkładów jazdy. Poniżej przedstawiono opis założeń do kalkulacji kosztów operacyjnych w arkuszu kalkulacyjnym.

Tab. 5.8 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zużycia materiałów i części zamiennych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych oraz z wodorowymi ogniwami paliwowymi względem autobusów spalinowych.
Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.
Średnie spalanie ON	Na podstawie danych MZK.	Na podstawie danych MZK.	Na podstawie danych MZK.	Na podstawie danych MZK.
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA II półroczu 2021 r. według stanu na dzień 10.11.2021 r.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA II półroczu 2021 r. według stanu na dzień 10.11.2021 r.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA II półroczu 2021 r. według stanu na dzień 10.11.2021 r.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA II półroczu 2021 r. według stanu na dzień 10.11.2021 r.
Średnie zużycie energii	-	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 140 kWh/ 100 km).	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 140 kWh/ 100 km).	-
Koszty zużycia energii	-	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu	-

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
		jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh z Taryfy dla energii elektrycznej TAURON Sprzedaż Spółka z o.o. dla KLIENTÓW rozliczanych na podstawie grup taryfowych A,B,C,O,R oraz z uwzględnieniem Taryfy dla energii elektrycznej TAURON Dystrybucja S.A. na rok 2021	jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh z Taryfy dla energii elektrycznej TAURON Sprzedaż Spółka z o.o. dla KLIENTÓW rozliczanych na podstawie grup taryfowych A,B,C,O,R oraz z uwzględnieniem Taryfy dla energii elektrycznej TAURON Dystrybucja S.A. na rok 2021	
Średnie zużycie wodoru	-	-	-	Oszacowano na podstawie doświadczeń operatorów z innych krajów (autobusy MAXI 9 kg/ 100 km)
Koszty zużycia wodoru	-	-	-	Na podstawie informacji z MZK (25,00 zł netto/ 1 kg)
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.
Koszty napraw	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. 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 – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury tankowania 18%



Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
<b>Podatki i opłaty</b>	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XIII/264/2019 Rady Miejskiej w Bielsku-Białej z dnia 19 listopada 2019 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych.	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XIII/264/2019 Rady Miejskiej w Bielsku-Białej z dnia 19 listopada 2019 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych.	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XIII/264/2019 Rady Miejskiej w Bielsku-Białej z dnia 19 listopada 2019 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych.	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XIII/264/2019 Rady Miejskiej w Bielsku-Białej z dnia 19 listopada 2019 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych.
<b>Ubezpieczenia</b>	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.
<b>Koszty wynagrodzeń dodatkowych pracowników</b>	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	Założono, że koszt 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. 5.9 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych

Wyszczególnienie	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Wartość rezydualna w zł	74 660 000,00 zł	79 860 000,00 zł	73 261 012,00 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	310 790 000,00 zł	357 340 000,00 zł	336 298 796,00 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	385 450 000,00 zł	437 200 000,00 zł	409 559 808,00 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. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych

Kategoria	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
FNPV/C	-49 230 352,87 zł	-83 931 374,80 zł	-99 253 653,55 zł
FRR/C	-5%	-9%	-10%

Źródło: Opracowanie własne

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

Niewątpliwie największy wpływ na ujemną wartość wskaźnika FNPV/C mają znacznie wyższe wartości nakładów inwestycyjnych, generowane przez wyższe koszty jednostkowe autobusów elektrycznych akumulatorowych oraz z wodorowymi ogniwami paliwowymi w porównaniu do autobusów konwencjonalnych. Ponadto w wariantach W1 i W2 wartość nakładów odtworzeniowych znacznie wzrasta z uwagi na konieczność

wymiany akumulatorów po 7. roku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych.

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

Obliczono także lukę finansową jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik dla całego okresu analizy przy docelowym udziale autobusów zeroemisyjnych w rozumieniu uepa wyniósł 50% w przypadku wariantu W1,

natomiast w wariantcie W3 osiągnął on wartość 85%.

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż elektryfikacja komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej zaplanowana w wariantcie W1, którego wskaźnik ENPV w dalszej części analizy jest najwyższy spośród wszystkich wariantów inwestycyjnych, nie zaburzy stabilności finansowej Miasta Bielsko-Biała w całym okresie analizy. Nie zostanie przekroczony poziom:

- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określonego w art. 243 Ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (t.j. Dz. U. z 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 (t.j. 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 zeroemisyjnych, jest wyższa ze względu na wykorzystywanie większej ilości płynów eksploatacyjnych, jak i elementów mechanicznych, a także stosowanie oleju w obiegu silnika.

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

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

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

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

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

Emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, wywołując silne i przewlekłe choroby nawet ze skutkiem śmiertelnym. Emisja cząstek stałych PM 2,5, PM 10 prowadzi do<sup>36</sup>:

- 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

<sup>36</sup> Update of the Handbook on External Costs of Transport, RICARDO-AEA, 2014.

choroby układu oddechowego i sercowo – naczyniowego. Wpływa negatywnie na zdrowie dzieci, powodując astmę, białaczkę, ograniczony wzrost płuc.

Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

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

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

W poniższej tabeli zestawiono zmianę wielkości emisji spalin i gazów cieplarnianych w wyniku realizacji poszczególnych wariantów inwestycyjnych na przestrzeni lat 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.

Z kolejnej tabeli można wywnioskować, iż w wariantach W1 i W2 redukcja emisji dotknie tlenki azotu NO<sub>x</sub> (o 54,74 oraz 56,11 Mg) oraz metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 25,71 i 26,42 Mg). Widoczny jest wyraźny wzrost emisji dwutlenku węgla (wyłącznie w wariantach W1 i W2 odpowiednio o 178,53 Mg i 262,51 Mg), gdyż jest on substancją emitowaną 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.

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

- tlenki azotu NO<sub>x</sub> o 121,80 Mg,
- pyły zawieszone PM 2,5 o 2,65 Mg,
- metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC o 35,74 Mg,
- oraz dwutlenek węgla CO<sub>2</sub> o 65 411,19 Mg.



Tab. 6.1 Emisja spalin w dolnej warstwie atmosfery w analizowanych wariantach [w Mg]

Rok	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3
	SO2				NOx				PM 2,5/ PM				NHMC/NMVOC				CO2			
2021	-	-	-	-	46,58	46,58	46,58	46,58	0,70	0,70	0,70	0,70	8,39	8,39	8,39	8,39	6 813,34	6 813,34	6 813,34	6 813,34
2022	-	-	-	-	46,58	46,58	46,58	46,58	0,70	0,70	0,70	0,70	8,39	8,39	8,39	8,39	6 813,34	6 813,34	6 813,34	6 813,34
2023	-	-	-	-	41,92	41,92	41,92	41,92	0,61	0,61	0,61	0,61	7,87	7,87	7,87	7,87	6 880,80	6 880,80	6 880,80	6 880,80
2024	-	0,60	0,60	-	36,22	27,88	27,88	26,66	0,50	0,43	0,43	0,38	7,21	5,91	5,91	5,73	6 858,97	6 813,71	6 813,71	5 622,57
2025	-	1,18	1,24	-	31,23	20,05	19,80	17,75	0,44	0,40	0,39	0,30	6,64	4,36	4,29	4,01	6 837,13	6 786,65	6 813,86	4 384,51
2026	-	1,18	1,24	-	23,74	20,05	19,80	17,75	0,41	0,40	0,39	0,30	5,69	4,36	4,29	4,01	6 800,19	6 786,65	6 813,86	4 384,51
2027	-	1,18	1,24	-	14,96	12,16	12,07	9,73	0,29	0,28	0,28	0,19	4,32	3,16	3,12	2,80	6 758,31	6 749,58	6 777,59	4 346,88
2028	-	1,76	1,80	-	10,36	9,43	9,44	5,73	0,26	0,29	0,29	0,14	3,37	2,42	2,41	1,86	6 732,80	7 316,53	7 354,24	3 724,67
2029	-	1,76	1,80	-	11,00	9,43	9,44	5,73	0,28	0,29	0,29	0,14	3,58	2,42	2,41	1,86	7 150,18	7 316,53	7 354,24	3 724,67
2030	-	1,76	1,80	-	11,70	9,84	9,83	6,15	0,29	0,30	0,30	0,15	3,80	2,56	2,53	2,00	7 603,00	7 584,20	7 608,34	3 998,61
2031	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2032	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2033	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2034	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2035	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2036	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2037	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2038	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2039	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2040	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2041	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2042	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
2043	-	1,76	1,80	-	12,68	10,80	10,75	7,14	0,32	0,32	0,32	0,18	4,12	2,87	2,83	2,32	8 242,21	8 208,77	8 201,22	4 637,82
Suma	0,00	32,27	33,21	0,00	439,12	384,39	383,02	317,33	8,58	8,54	8,54	5,94	112,83	87,11	86,41	77,08	176396,73	176575,26	176659,23	110985,54
Zmiana do W0		32,27	33,21	0,00		-54,74	-56,11	-121,80		-0,04	-0,04	-2,65		-25,71	-26,42	-35,74		178,53	262,51	-65411,19

Źródło: Opracowanie własne

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

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego<sup>37</sup>. Zakładają one uwzględnienie:

- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla gazów cieplarnianych CO<sub>2</sub>, wynikających ze struktury produkcji energii elektrycznej w Polsce, wytwarzanej głównie przez

elektrownie ciepłe, 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<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM 2,5),
- w wariantach W1 i W2 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej.

Wskaźniki emisyjności CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.).

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach

<sup>37</sup> Źródło:

[https://www.cupt.gov.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=692&Itemid=411](https://www.cupt.gov.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=692&Itemid=411)

opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA z 2014 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźniki emisyjności NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> 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<sub>x</sub>: 0,576 g/kWh,
- dla PM: 0,029 g/kWh,
- dla CO<sub>2</sub>: 719 kg/MWh,
- dla SO<sub>2</sub>: 0,511 g/kWh.

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

Związek chemiczny	W0	W1	W2	W3
	<b>Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych</b>			
SO <sub>2</sub>	0,00 zł	3 713 269,02 zł	3 819 256,08 zł	- zł
Zmiana do W0		3 713 269,02 zł	3 819 256,08 zł	- zł
NO <sub>x</sub>	42 317 869,55 zł	35 927 082,79 zł	35 759 306,64 zł	29 514 166,85 zł
Zmiana do W0		-6 390 786,77 zł	-6 558 562,91 zł	-12 803 702,70 zł
PM 2,5	14 162 619,40 zł	11 277 092,21 zł	11 194 598,15 zł	9 454 186,65 zł
Zmiana do W0		-2 885 527,19 zł	-2 968 021,25 zł	-4 708 432,75 zł
NHMC/NMVOC	1 410 005,82 zł	1 068 142,14 zł	1 058 692,51 zł	931 623,79 zł
Zmiana do W0		- 341 863,69 zł	- 351 313,32 zł	- 478 382,04 zł
CO <sub>2</sub>	42 167 940,34 zł	42 187 957,96 zł	42 200 844,26 zł	25 892 813,21 zł
Zmiana do W0		20 017,62 zł	32 903,92 zł	-16 275 127,13 zł
SUMA	100 058 435,12 zł	94 173 544,12 zł	94 032 697,64 zł	65 792 790,50 zł
Zmiana do W0		-5 884 891,00 zł	-6 025 737,48 zł	-34 265 644,62 zł

Źródło: Opracowanie własne

W wariantach W1 i W2 największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na ich korzyść, można dostrzec w kosztach emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub> i pyłów zawieszonych PM 2,5. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO<sub>x</sub> oraz PM 2,5 wynosić będą odpowiednio w wariantach W1 ok. 6,4 mln zł i 2,9 mln zł, zaś w wariantach W2 odpowiednio ok. 6,6 mln zł i 3,0 mln zł. Koszty emisji metanowych lotnych związków organicznych w wariantach W1 i W2 spadną odpowiednio o ok. 0,34 mln zł i 0,35 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> koszty emisji wzrosną o ok. 0,02 mln zł w wariantach W1 i o ok. 0,03 mln zł w wariantach W2, 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 wariantów W1 i W2 cechuje emisję tlenków siarki, mającą miejsce wyłącznie przy

użytkowaniu autobusów elektrycznych akumulatorowych i wynosi on ok. 3,7 mln zł w wariantach W1, a w wariantach W2 ok. 3,8 mln zł.

Znacznie korzystniej prezentują się efekty płynące z monetyzacji kosztów emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w wariantach inwestycyjnym W3, który przewiduje eksploatację autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Redukcja wszystkich analizowanych związków przełoży się na zmniejszenie kosztów zewnętrznych emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub> o ok. 12,8 mln zł, pyłów zawieszonych PM 2,5 o ok. 4,7 mln zł, metanowych lotnych związków organicznych o ok. 0,5 mln zł, a dwutlenku węgla o ok. 16,3 mln zł.

Podsumowując:

- realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych

- substancji i gazów cieplarnianych o ok. 5,9 mln zł,
- realizacja wariantu W2 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ponad 6,0 mln zł,

- realizacja wariantu W3 przełoży się na spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych związków chemicznych o ok. 34,3 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

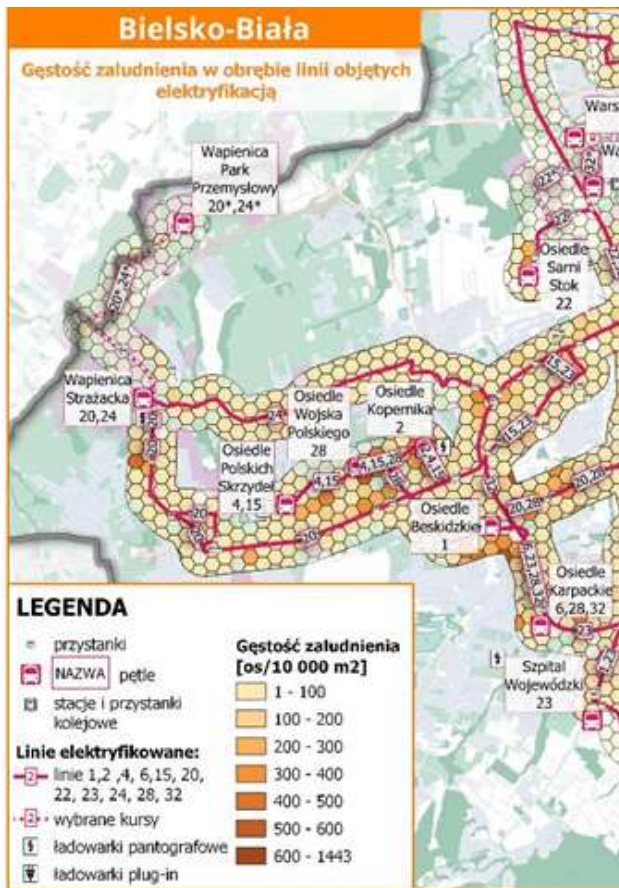
Źródło: Zbiory własne

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

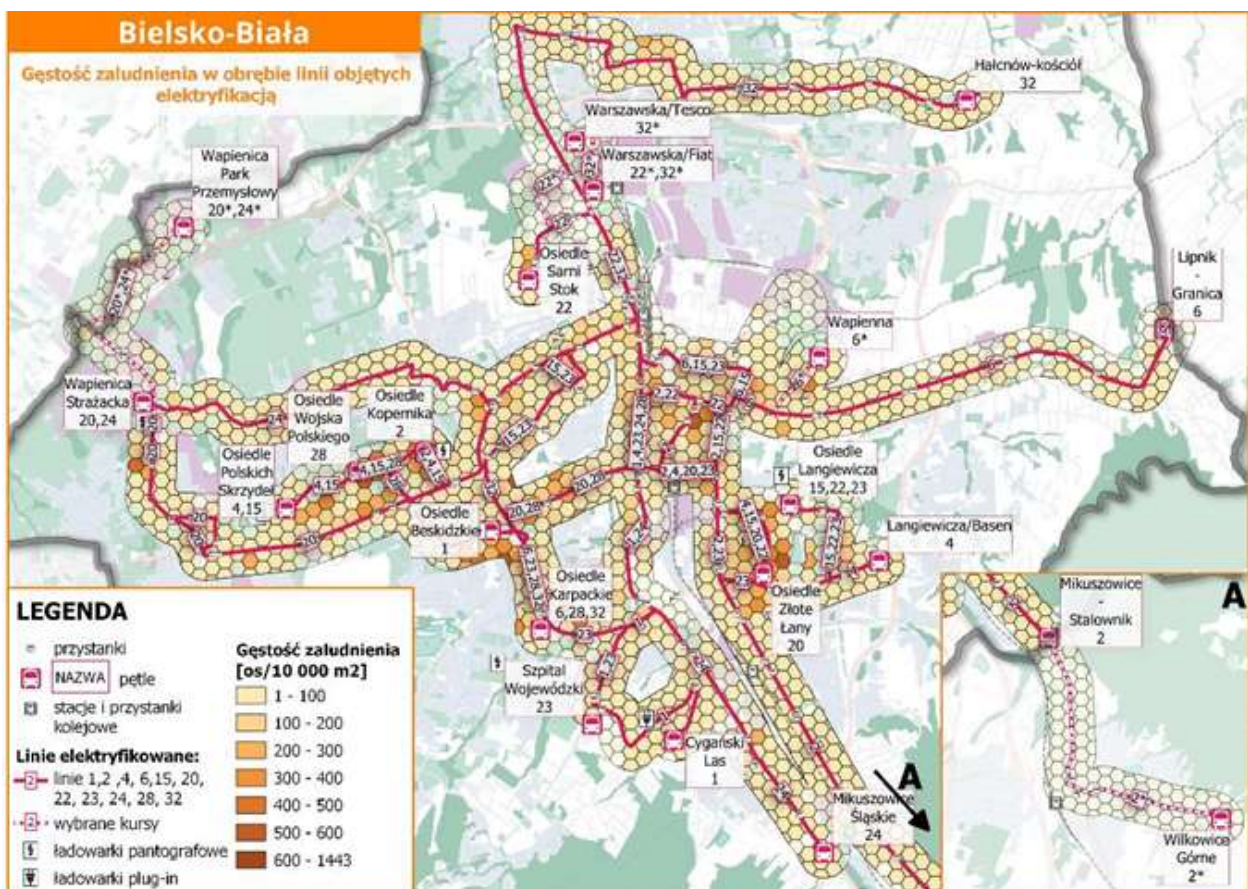
- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA 2014),
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,
- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych<sup>38</sup>,
- 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 (3 437,7 os./km<sup>2</sup>), przez co relacja gęstości zaludnienia przy całościowo elektryfikowanych liniach do średniej gęstości zaludnienia obszaru miejskiego (3000 os./km<sup>2</sup>) wynosi 1,146.

<sup>38</sup> Quieter buses socioeconomic effects”, Koucky & Partners A.B, 2014.





Rys. 7.2 przedstawia gęstość zaludnienia w obrębie 250 metrów od linii obsługiwanych przez autobusy elektryczne akumulatorowe, który jest zamieszkały przez 105 154 mieszkańców.



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 zmultiplikowane o wskaźnik relacji gęstości zaludnienia obszarów wzdłuż całościowo

elektryfikowanych linii do gęstości zaludnienia typowego obszaru miejskiego, wynoszący 1,146.

Poniższa tabela przedstawia zmonetyzowane korzyści zewnętrzne w wyniku redukcji hałasu w latach 2021-2043.

**Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2021-2043**

Rok	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W0	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W1	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W2	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariancie W3
2021	2 790 527,18 zł	2 790 527,18 zł	2 790 527,18 zł	2 790 527,18 zł
2022	2 870 858,52 zł	2 870 858,52 zł	2 870 858,52 zł	2 870 858,52 zł
2023	2 944 677,20 zł	2 944 677,20 zł	2 944 677,20 zł	2 944 677,20 zł
2024	3 067 176,78 zł	2 968 868,88 zł	2 968 868,88 zł	2 947 617,02 zł
2025	3 193 160,55 zł	2 994 280,81 zł	2 988 547,89 zł	2 949 166,20 zł
2026	3 279 237,93 zł	3 074 997,03 zł	3 069 109,57 zł	3 028 666,28 zł
2027	3 368 129,22 zł	3 158 351,89 zł	3 152 304,84 zł	3 110 765,24 zł
2028	3 506 932,82 zł	3 186 209,39 zł	3 181 736,35 zł	3 111 743,21 zł
2029	3 594 589,60 zł	3 265 849,59 zł	3 261 264,75 zł	3 189 522,11 zł
2030	3 684 944,71 zł	3 347 941,35 zł	3 343 241,26 zł	3 269 695,27 zł
2031	3 775 197,04 zł	3 429 939,74 zł	3 425 124,53 zł	3 349 777,24 zł
2032	3 865 190,49 zł	3 511 702,92 zł	3 506 772,93 zł	3 429 629,50 zł
2033	3 954 758,12 zł	3 593 079,22 zł	3 588 034,99 zł	3 509 103,92 zł
2034	4 043 720,30 zł	3 673 905,44 zł	3 668 747,74 zł	3 588 041,12 zł
2035	4 131 877,95 zł	3 754 000,71 zł	3 748 730,57 zł	3 666 264,46 zł
2036	4 219 086,83 zł	3 833 233,98 zł	3 827 852,60 zł	3 743 645,93 zł
2037	4 308 539,61 zł	3 914 505,94 zł	3 909 010,46 zł	3 823 018,44 zł
2038	4 396 785,11 zł	3 994 681,02 zł	3 989 072,99 zł	3 901 319,73 zł
2039	4 483 612,28 zł	4 073 567,49 zł	4 067 848,72 zł	3 978 362,51 zł
2040	4 572 440,42 zł	4 154 271,93 zł	4 148 439,86 zł	4 057 180,77 zł
2041	4 663 254,65 zł	4 236 780,82 zł	4 230 832,91 zł	4 137 761,32 zł
2042	4 752 353,06 zł	4 317 730,83 zł	4 311 669,27 zł	4 216 819,40 zł
2043	4 839 530,22 zł	4 396 935,27 zł	4 390 762,52 zł	4 294 172,73 zł
<b>SUMA</b>	<b>88 306 580,60 zł</b>	<b>81 486 897,17 zł</b>	<b>81 384 036,51 zł</b>	<b>79 908 335,30 zł</b>
<b>Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu w latach 2021 – 2043</b>		<b>-6 819 683,43 zł</b>	<b>-6 922 544,09 zł</b>	<b>-8 398 245,30 zł</b>

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że elektryfikacja bielskiej komunikacji miejskiej przełoży się na znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów zeroemisyjnych. Największe zmonetyzowane korzyści z tytułu redukcji emisji hałasu zostaną wygenerowane w wariancie W3 z autobusami wodorowymi w wysokości ok. 8,4 mln zł w całym okresie objętym analizą, zaś w przypadku autobusów elektrycznych akumulatorowych

odpowiednio ok. 6,8 i 6,9 mln zł w wariantach W1 i W2.

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

Eksplatacja autobusów elektrycznych akumulatorowych w polskich miastach wiąże się z pośrednim generowaniem emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych, powstających w procesie produkcji energii elektrycznej. Emisję tę można uznać za proces o rozproszonym charakterze, o znacząco mniejszym nasileniu w miejscu eksploatacji autobusów elektrycznych. Wykorzystanie autobusów elektrycznych akumulatorowych de facto nie powoduje powstawania lokalnej emisji do niższych warstw atmosfery, co stanowi istotną korzyść dla

mieszkańców ośrodków miejskich, w których eksploatowane są pojazdy tego typu (brak emisji lokalnej cechuje także eksploatację autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi). Korzyść tą oszacowano na podstawie różnicy kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji przez autobusy spalinowe, liczoną między wariantami inwestycyjnymi (w których część pracy eksploatacyjnej autobusów spalinowych będzie wykonywana przez autobusy zeroemisyjne) i wariantem W0.

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

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w latach 2021-2043	100 058 435,12 zł	75 677 218,34 zł	81 034 085,23 zł	65 792 790,50 zł
Zmiana do W0		-24 381 216,78 zł	-19 024 349,89 zł	-34 265 644,62 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. 7.4.

**Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej**

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

Źródło: Opracowanie własne

Wskaźniki zostały obliczone na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowane. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy zeroemisyjne jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ w każdym z analizowanych wariantów inwestycyjnych wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną, ERR przyjął wartość mniejszą od stopy dyskontowej, a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1. **Zmonetyzowane koszty z tytułu eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w 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 Bielsku-Białej nie jest wymagane. Niemniej jednak, uwzględniając potencjalne korzyści finansowe, ekonomiczne i społeczne dla mieszkańców Bielska-Białej ościennych gmin, planowane jest przeprowadzenie modernizacji floty MZK Bielsko-Biała w oparciu o autobusy elektryczne akumulatorowe przystosowanych do**

**szybkiego ładowania pantografowego lub o autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi, gdyż najwyższy wynik ENPV uzyskały warianty W1 i W3. Uzyskanie dofinansowania ze źródeł zewnętrznych zrekompensuje wyższe nakłady inwestycyjne w porównaniu do zakupu autobusów o napędach konwencjonalnych (np. autobusów spalinowych). Dla poszczególnych przedsięwzięć inwestycyjnych dotyczących nabycia autobusów zeroemisyjnych będą przeprowadzane odrębne analizy kosztów i korzyści, które będą wskazywały na zasadność i słuszność inwestycji w zakresach rzeczowych innych aniżeli analizowany w niniejszym dokumencie cały system komunikacji miejskiej zakładający wprowadzenie do eksploatacji 39 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. 1 748 000 PLN netto. W przypadku autobusów wodorowych, aby wskaźnik ENPV osiągnął wartość na poziomie dodatnim, cena autobusu wodorowego powinna ulec obniżeniu z 3 073 600 PLN do 2 022 000 PLN**

Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	W1	W2	W3
ENPV	- 21 836 444,87 zł	- 54 871 129,60 zł	- 39 132 945,56 zł
ERR (%)	-0,1%	-5,5%	-1,6%
B/C	0,68	0,45	0,64

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).

Niniejszą analizę przeprowadzono dla wariantu W1, który cechuje się najwyższym poziomem wskaźnika ENPV w niniejszej analizie.

Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
<b>Wartość bazowa</b>		- 21 836 444,87 zł		-0,1%		0,68	
<b>Nakłady inwestycyjne</b>	25%	- 40 811 110,08 zł	86,89%	-2,32%	1836%	0,53	-22%
	15%	- 33 221 244,00 zł	52,14%	-2%	1191%	0,58	51%
	-15%	- 10 451 645,75 zł	-52,14%	1,83%	-1622%	0,82	75%
	-25%	- 2 861 779,67 zł	-86,89%	3,64%	-3132%	0,94	89%
<b>Koszty operacyjne</b>	25%	- 19 487 572,36 zł	-10,76%	0,39%	-422%	0,70	64%
	15%	- 20 427 121,37 zł	-6,45%	0,18%	-253%	0,69	63%
	-15%	- 23 245 768,38 zł	6,45%	-0,42%	254%	0,67	58%
	-25%	- 24 185 317,38 zł	10,76%	-0,63%	423%	0,66	57%
<b>Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%</b>		- 31 811 920,49 zł	45,68%	-1,3%	968%	0,59	52%

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 elektrycznych akumulatorowych dostosowanych do szybkiego ładowania pantografowego będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 28,78%.

Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości

Badana zmienna	Wartość ENPV po zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV przy zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV=0
<b>Nakłady inwestycyjne (+1%)</b>	- 22 595 431,48 zł	3,48%	-28,78%
<b>Koszty operacyjne (+1%)</b>	- 21 742 489,97 zł	-0,43%	-

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. Niniejszą analizę sporządzono dla wariantu inwestycyjnego W1, którego wskaźnik ENPV osiągnął najwyższą wartość.

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
<b>Ryzyko techniczne</b>			
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.
<b>Ryzyko eksploatacyjne</b>			
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
<b>Ryzyko administracyjne</b>			
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 w Katowicach 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.
<b>Ryzyko finansowe</b>			
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.
<b>Ryzyko klimatyczne i środowiskowe</b>			
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
<b>Ryzyko popytowe</b>			
R27	Poziom ruchu niższy, niż prognozowany	Przyspieszenie negatywnych tendencji demograficznych, starzenie się społeczeństwa, mniejsza mobilność osób starszych.	Spadek ekonomicznej opłacalności projektu.

Źródło: Opracowanie własne

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

**Tab. 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
<b>Ryzyko techniczne</b>			
R1	Zbyt duży popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Założenie dłuższego czasu produkcji pojazdu lub wcześniejsze rozpisanie 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
<b>Ryzyko eksploatacyjne</b>			
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 nieznanomości 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
<b>Ryzyko administracyjne</b>			
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
<b>Ryzyko finansowe</b>			
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
<b>Ryzyko klimatyczne</b>			
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
<b>Ryzyko popytowe</b>			
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

Każdy pojazd wprowadzany do eksploatacji w bielskiej komunikacji miejskiej powinien spełniać minimalne wymagania określone w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Bielsko-Biała oraz Gmin, z którymi Miasto Bielsko-Biała zawarło porozumienia międzygminne w zakresie organizacji publicznego transportu zbiorowego. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, nowe pojazdy powinny posiadać:

- niską podłogę bez progów poprzecznych wewnątrz,
- dopuszczalny poziom emisji spalin nie wyższy niż odpowiadający normie Euro 6,
- monitoring przestrzeni pasażerskiej wraz z rejestracją obrazu,
- komplet urządzeń informacji pasażerskiej – zestaw wyświetlaczy na zewnątrz i wewnątrz pojazdu, głośniki wewnętrzne itp.,
- urządzenia umożliwiające łączność z systemem dynamicznej informacji pasażerskiej,
- kasowniki wielofunkcyjne dostosowane do biletów jednorazowych i kart elektronicznych,
- udogodnienia niezbędne dla osób niepełnosprawnych, na które składają się:
  - przestrzeń specjalna dla osób poruszających się na wózkach inwalidzkich wyposażona w urządzenia przytrzymujące, zapewniające stabilność wózka inwalidzkiego,
  - pochylnia oraz układ przykłąku umożliwiające obniżenie podłogi pojazdu do wysokości chodnika na przystanku,
  - urządzenia łączności pasażerów z kierowcą z dodatkowymi oznaczeniami w alfabecie Braille'a, wyróżniające się kolorami kontrastującymi z otoczeniem,
  - siedzenia specjalne o wyróżniającej się barwie,
  - odpowiednie piktogramy odnoszące się do osób z niepełnosprawnością,
  - poręcze i uchwyty o barwie kontrastującej z otoczeniem,
  - podłoga pojazdu wyłożona materiałem przeciwpoślizgowym,
- osłony krawędzi stopni wykonane w sposób minimalizujący ryzyko potknięcia się w kolorze kontrastującym z otoczeniem, urządzenia poprawiające bezpieczeństwo przewozów, w tym:
  - układy hamulcowe z systemem EBS lub ABS i ASR,
  - układ gaszenia pożaru komory silnika,
- systemy ogrzewania przedziału pasażerskiego zapewniające równomierne i skuteczne ogrzewanie całego wnętrza autobusu,

układy zapewniające zwiększenie efektywności obsługi technicznych pojazdów (automatyczne systemy smarowania podzespołów i uzupełniania oleju w silniku).

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 różnicowania 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.

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

**Miasto Bielsko-Biała 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 Bielsku-Białej.**

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 Bielsku-Białej 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
<b>Ocena i prognoza potrzeb przewozowych z uwzględnieniem w szczególności:</b>	
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
<b>Pożądany standard usług przewozowych w przewozach o charakterze użyteczności publicznej, poprzez określenie standardu przewozów i jakości usług przewozowych, uwzględniając potrzebę zapewnienia w szczególności:</b>	
ochrony środowiska naturalnego,	Nie wymaga aktualizacji
dostępu osób niepełnosprawnych oraz osób o ograniczonej zdolności ruchowej do publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
<b>Przewidywany sposób organizowania systemu informacji dla pasażera, w tym uwzględniając potrzeby pasażerów związane z dostępem do informacji w zakresie:</b>	
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

Zakres	Konieczność aktualizacji
węzłów przesiadkowych	Nie wymaga aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
<b>Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania</b>	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	<p><b>Dotyczy rozdziału 11.:</b></p> <p><i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Bielsku Białej, na których powinny być eksploatowane pojazdy zeroemisyjne:</i></p> <p><i>Całościowo elektryfikowane linie: 1, 2, 4, 6, 15, 22, 23, 24, 28, 32</i></p> <p><i>Częściowo elektryfikowane linie: 20,</i></p> <p><i>Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 19, 21, 25, 31, 33, 34, 50, 56, 57</i></p> <p><i>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury tankowania lub ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i></p>
geograficzne położenie stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
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 w oparciu o autobusy wodorowe z ogniwami paliwowymi, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <i>na terenie zajezdni Miejskiego Zakładu Komunikacyjnego w Bielsku-Białej Sp. z o.o.</i></li> </ul> <p><i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii w oparciu o autobusy elektryczne akumulatorowe, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <i>na terenie zajezdni Miejskiego Zakładu Komunikacyjnego w Bielsku-Białej Sp. z o.o.,</i></li> <li>■ <i>przy pętli Os. Karpackie (2 szt.),</i></li> <li>■ <i>przy pętli Os. Beskidzkie (1 szt.),</i></li> <li>■ <i>przy pętli Os. Kopernika (1 szt.),</i></li> <li>■ <i>przy pętli Os. Langiewicza (1 szt.),</i></li> <li>■ <i>przy pętli Os. Polskich Skrzydeł (2 szt.),</i></li> <li>■ <i>przy pętli Wapienica Strażacka (1 szt.).</i></li> </ul>
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 50% w wariantcie W1 oraz 85% w wariantcie W3, 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 oraz 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.<sup>39</sup> 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 FRPA<sup>40</sup>).

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w dniu 23.07.2021 r. ogłosił kolejny nabór w programie priorytetowym „**Zielony Transport Publiczny**”, w którym organizatorzy publicznego transportu zbiorowego mogą ubiegać się o dofinansowanie w formie dotacji lub pożyczki na zakup nowych autobusów zeroemisyjnych oraz rozwój infrastruktury ładowania. W przeciwieństwie do Fazy I programu, w ramach której wnioski były przyjmowane w okresie od 4 do 18 stycznia 2021 r., nabór w III i IV kwartale 2021 r. przyjął tryb konkursowy, w którym premiowane są wnioski organizatorów reprezentujących miasta średnie i duże do 70 000 mieszkańców (a w szczególności tracących funkcje społeczno-gospodarcze) i planujących rozszerzenie oferty przewozowej publicznego transportu zbiorowego przy tworzeniu podstaw do rozwoju elektromobilności z wykorzystaniem narzędzia w postaci Stref Czystego Transportu. Co istotne, o ile maksymalna intensywność dofinansowania zakupu taboru może wynieść 90% w przypadku

<sup>39</sup> 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)

<sup>40</sup> 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.)



autobusów elektrycznych wykorzystujących do napędu wyłącznie energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub 80% w przypadku pozostałych autobusów zeroemisyjnych, to ostateczny jej poziom wynika ze zdefiniowanych uwarunkowań preferujących przede wszystkim miasta małe i średnie do 70 000 mieszkańców, tracące funkcje społeczno – gospodarcze i charakteryzujących się relatywnie niskim wskaźnikiem dochodów podatkowych. Zgodnie z przyjętymi zasadami naboru, Miasto Bielsko-Biała pomimo dużych potrzeb inwestycyjnych w zakresie wymiany taboru komunikacji miejskiej na ekologiczny, może liczyć jedynie na 35% dofinansowania zakupu autobusów zeroemisyjnych, czyli znacząco poniżej obliczonej luki finansowej w niniejszej analizie kosztów i korzyści, które nie uzasadnia uczestnictwa w ogłoszonym przez NFOŚiGW naborze wniosków.

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 €.

## Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2020.....	14
Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej (stan na dzień 09.11.2021 r.) .....	14
Tab. 3.3 Przedsięwzięcia zrealizowane w ostatnich latach przez MZK Bielsko-Biała Sp. z o.o. (stan na 19.11.2021r.).....	19
Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 19.11.2021 r.).....	20
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na 19.11.2021 r.).....	21
Tab. 3.6 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r. ....	21
Tab. 3.7 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r. ....	21
Tab. 3.8 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r. ....	22
Tab. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 19.11.2021 r.).....	22
Tab. 3.10 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny.....	24
Tab. 3.11 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów (dane dla dnia roboczego szkolnego).....	24
Tab. 3.12 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny.....	25
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 (koszt budowy stacji tankowania po stronie gminy lub operatora).....	34
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 .....	37
Tab. 4.8 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową .....	41
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 .....	41
Tab. 4.10 Koszty netto zakupu trolejbusów.....	44
Tab. 4.11 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów.....	44
Tab. 4.12 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym .....	45
Tab. 4.13 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Bielsku - Białej.....	48
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1 .....	50
Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2.....	50
Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3.....	51
Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych.....	51
Tab. 5.5 Okres eksploatacji środków trwałych.....	52
Tab. 5.6 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach objętych analizą .....	52

Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach .....	53
Tab. 5.8 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych .....	54
Tab. 5.9 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych .....	57
Tab. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.....	57
Tab. 6.1 Emisja spalin w dolnej warstwie atmosfery w analizowanych wariantach [w Mg].....	61
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2021-2043 .....	63
Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2021-2043.....	66
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2021-2043.....	67
Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej.....	67
Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej .....	68
Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy.....	69
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości .....	69
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki.....	70
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa .....	73
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt.....	73
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka .....	73
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko .....	74
Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym .....	78

## Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI.....	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 typu MAXI na trasie przechodzącej przez strefę zamieszkania w Düsseldorf .....	10
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Świdnicy.....	10
Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi .....	11
Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2020.....	14
Rys. 4.1 Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MEGA18 w Poznaniu podczas szybkiego ładowania .....	35
Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI przystosowany do ładowania wyłącznie techniką plug-in w Aachen (Niemcy).....	37
Rys. 4.3 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze.....	38
Rys. 4.4 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie .....	39
Rys. 4.5 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek.....	40
Rys. 4.6 Trolejbus typu MAXI w Tychach .....	42
Rys. 4.7 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem.....	43
Rys. 4.8 Trolejbus typu MAXI w Pireusie .....	43
Rys. 4.9 Schemat koncepcji sieci trolejbusowej .....	45
Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK .....	46
Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Rzeszowie.....	64
Rys. 7.2 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.....	65