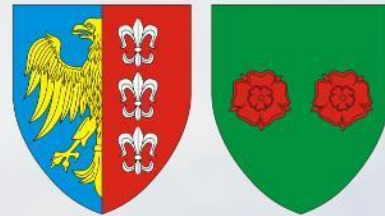


Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej na terenie Bielska-Białej



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





Dokument przygotowany przez:

TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE

Szamborski i Szelukowski S.J. ©

ul. Jaracza 71/9, 50-305 Wrocław,

e-mail: poczta@trako.com.pl

www.trako.com.pl

Spis treści

1	Cel analizy	5
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	6
2	Uwarunkowania techniczne i prawne	7
2.1	Uwarunkowania prawne	7
2.2	Uwarunkowania techniczne	8
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej	11
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	11
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	19
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	24
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych...	35
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	36
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów	49
4.3	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	52
4.4	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	53
4.5	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru linii do elektryfikacji	57
5	Analiza finansowa	61
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej	61
5.2	Nakłady inwestycyjne	61
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych	63
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych wariantów	64
5.5	Wartość rezydualna	66
5.6	Efektywność finansowa	67
5.7	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności finansowej	67
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi	69
7	Analiza społeczno – ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji	71
7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym	71
7.2	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym	73
7.3	Inne korzyści zewnętrzne	75

7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej	75
7.5	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej	77
8	Analiza ryzyka	78
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru z uwzględnieniem różnych napędów autobusów w perspektywie do 2028 roku	82
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania	84
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych	86

1 Cel analizy

Celem niniejszego dokumentu jest przeprowadzenie pogłębionej analizy kosztów i korzyści wprowadzenia do eksploatacji w bielskiej komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych. 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. 2018 poz. 317) oraz niżej wymienionych aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U. z 2017 r. poz. 2136 z późn. zm.),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2017 r. poz. 286 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”.

W pierwszych rozdziałach opracowania przedstawiono uwarunkowania techniczne i prawne, wprowadzając czytelnika w temat elektromobilności oraz przeprowadzono pogłębioną analizę eksploatacyjną przewozów w komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej, kluczową dla precyzyjnej analizy wariantowej prowadzącej do wyboru typu autobusów zeroemisyjnych.



Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

Efektem analizy jest wyłonienie najkorzystniejszego wariantu w wyniku porównania m.in. kosztów wdrożenia oraz parametrów eksploatacyjnych.

Dla wybranego wariantu wprowadzenia do ruchu autobusów zeroemisyjnych opracowana została analiza finansowa i ekonomiczna, uwzględniająca potencjalne korzyści społeczne i środowiskowe, w odniesieniu do alternatywnego wariantu opartego na odtwarzaniu floty w oparciu o autobusy spalinowe. Ostatnim etapem analizy jest przedstawienie rekomendacji dotyczących strategii wymiany taboru komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej w perspektywie do 2028 roku.

1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- AKK – analiza kosztów i korzyści
- BCR, B/C – (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 – (conversion factor) wskaźnik konwersji
- ENPV – (economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto
- ERR – (economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu
- FNPV – (financial net present value) finansowa wartość bieżąca netto
- FNPV/c – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji
- FRR/c – finansowa stopa zwrotu z inwestycji
- MCA (ang. Multivariate Comparative Analysis) – wielokryterialna analiza porównawcza
- MINI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 6 – 8 metrów
- MIDI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 – 10 metrów
- MAXI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 12 metrów
- MEGA15 – autobus jednoczłonowy o długości ok. 15 metrów
- MEGA18 – autobus przegubowy o długości ok. 18 metrów
- Postój wyrównawczy – przerwa między kursowa zaplanowana w rozkładzie jazdy na przystanku krańcowym
- Praca eksploatacyjna – liczba wykonywanych wozokilometrów przez środki transportu
- Prędkość eksploatacyjna – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich i długości przerw międzykursowych
- Prędkość komunikacyjna – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich
- uepa – Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 07.02.2018 r., poz. 317)
- 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

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 07.02.2018 r., poz. 317), której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w ustawie definicja autobusu zeroemisyjnego precyzuje ten typ pojazdu jako autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2017 r. poz. 286 ze zm.) oraz trolejbus¹. Analizując ustalenia Ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, w której wskazano, że do grona tych substancji należą m.in. tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), benzo(a)piren, to za autobusy zeroemisyjne można uznać wyłącznie:

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

Pojazdy te nie emitują gazów cieplarnianych oraz innych szkodliwych dla środowiska substancji. Kryterium autobusu zeroemisyjnego nie spełniają zatem autobusy spalinowe,

autobusy gazowe (napędzane CNG, LNG, LPG, biometan), 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 terytorialnego². Osiągnięcie udziału na poziomie 30% ma być osiągnięte etapowo³:

¹ Art. 2 ust. 1 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 07.02.2018 r., poz. 317).

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

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

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

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

Każda z wymienionych w art. 36 jednostek samorządu terytorialnego, sporządza co 36 miesięcy analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, przy czym pierwsza analiza ma zostać opracowana w terminie do 31 grudnia 2018 r.⁴

Gmina Bielsko-Biała z liczbą mieszkańców 171 505⁵, pełniąca funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest ustawowo jednostką samorządu terytorialnego zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

2.2 Uwarunkowania techniczne

W ramach niniejszego rozdziału zostały przeanalizowane uwarunkowania techniczne trolejbusów, autobusów elektrycznych akumulatorowych ładowanych ładowarkami

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 2017 r. poz. 1405 ze zm.). 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 Energii,
- ministrowi właściwemu do spraw gospodarki – obecnie Ministrowi Przedsiębiorczości i Technologii,
- ministrowi właściwemu do spraw środowiska – aktualnie Ministrowi 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.

plug-in, pantografowymi i indukcyjnymi, autobusów na wodorowe ogniwa paliwowe.

Trolejbusy stanowią jeden z najdłużej eksploatowanych środków transportu

⁴ Ibidem, art. 72.

⁵ Dane według stanu na dzień 31.12.2017 r., źródło: <http://bdl.stat.gov.pl/>, dostęp 19.09.2018 r.

publicznego, pozostając wciąż popularnymi pojazdami przede wszystkim w niektórych państwach azjatyckich i europejskich.

Eksploatacja trolejbusów wymaga utworzenia odpowiedniej infrastruktury sieciowej, niezbędnej do realizowania przewozów. W ostatnich latach producenci trolejbusów rozwinęli napędy pomocnicze (silniki spalinowe, akumulatory), pozwalające na wykorzystywanie ich na odcinkach sieci pozbawionych sieci trakcyjnej, znacząco zwiększając ich zasięg oraz elastyczność planowania tras. Obecnie czołowi europejscy producenci oferują trolejbusy typu MAXI, MEGA15, MEGA 18, MEGA 25.



Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie

Źródło: Zbiory własne

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

Ze względu na relatywnie długi czas potrzebny do naładowania autobusu (nawet do 6 – 8 godzin, zależnie od konfiguracji akumulatorów w autobusie i 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 uzupełniające metody ładowania autobusów elektrycznych.



Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

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 pantografu:

- pantografy podnoszone, które są montowane na dachach autobusów i na czas ładowania unoszone są podczas postoju pod ładowarką,
- pantografy odwrócone, opuszczane z masztu pantografowego do strefy gniazda ładowania, ulokowanego na dachu autobusu.

Na chwilę obecną, na rynku elektrobusów w Polsce i Europie widać tendencję wykorzystywania ładowania poprzez pantograf odwrócony, a czołowi producenci taboru podjęli kroki do ustandaryzowania systemu ładowania, właśnie w ten sposób.



Rys. 2.4 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Krakowie

Źródło: Zbiory własne

Drugą metodą jest ładowanie z wykorzystaniem pętli indukcyjnej zbudowanej pod przystankiem lub przystankiem krańcowym. 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, jest to jednak metoda najdroższa we wdrożeniu i nie wykorzystywana obecnie w Polsce. Główni europejscy producenci taboru dla transportu publicznego oferują autobusy elektryczne akumulatorowe o klasach wielkościowych MINI, MIDI, MAXI, MEGA18.

Autobusy napędzane wodorem – poruszają się dzięki silnikom elektrycznym zasilanym prądem

wytwarzanym z czystego wodoru w ogniwach paliwowych. Pojazdy te stanowią stosunkowo nowe rozwiązanie w branży transportu publicznego, z którym związane są duże nadzieje wynikające z przewidywanego zasięgu kursowania na poziomie nawet do 350 km dziennie.



Rys. 2.5 Autobus na ogniwa wodorowe polskiej konstrukcji

Źródło: Travelarz, <https://commons.wikimedia.org/wiki/>,
dostęp: 20.07.2018 r.

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

3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

3.1.1 Założenia i wymagania płynące z obowiązujących umów o świadczenie usług przewozowych

Miejski Zakład Komunikacyjny w Bielsku-Białej (zwanej dalej jako: MZK Bielsko-Biała) funkcjonuje jako zakład budżetowy na podstawie Uchwały Nr XXII/134/91 Rady Miejskiej w Bielsku-Białej z dnia 13 czerwca 1991 roku w sprawie przekształcenia Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Bielsku-Białej w zakład budżetowy z dniem 1 lipca 1991 roku. Zgodnie z uchwałą nr LIII/1222/2010 Rady Miejskiej w Bielsku-Białej z dnia 2 marca 2010 roku, która zatwierdza Statut MZK w Bielsku-Białej realizuje ona zadania własne Miasta w zakresie lokalnego transportu zbiorowego. Przedmiotem działalności MZK jest:

- wykonywanie autobusowych przewozów pasażerskich,
- planowanie rozwoju transportu zbiorowego,
- opracowywanie i koordynowanie rozkładów jazdy,
- badania natężenia ruchu pasażerów i projektowanie linii komunikacyjnych,
- dystrybucja i sprzedaż biletów komunikacyjnych, map, informatorów, rozkładów jazdy,

- kontrola biletów,
- obsługa komunikacyjna osób niepełnosprawnych,
- wykonywanie konserwacji, napraw i obsługi autobusów, innych pojazdów samochodowych, maszyn i urządzeń,
- wykonywanie badań diagnostycznych autobusów i innych pojazdów samochodowych,
- administrowanie i zarządzanie posiadanymi nieruchomościami, w tym budynkami i budowlami, a także przystankami komunikacji miejskiej.

Zgodnie z postanowieniami Statutu, MZK może również podejmować działalność gospodarczą w dziedzinach niezwiązanych z realizacją zadań gminy, za zgodą Prezydenta Miasta, o ile podjęcie takiej działalności nie spowoduje ograniczenia lub pogorszenia jakości lub ciągłości realizacji tych zadań, a będzie korzystnie wpływać na wyniki ekonomiczne zakładu.

3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej składa się z 50 linii autobusowych, spośród których wyróżnić można:

- według kryterium przestrzennego:

- 44 linii miejskich: D, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 9, 11, 12, 13, 13W, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 24BIS, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 35L, 35S, 36, 37, 38, 56BIS, N1, N2,

- 5 linii podmiejskich: 25, 51, 52, 56, 57,
 - 1 linię miejsko – podmiejską: 50,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - 31 linii całorocznych: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 30, 31, 32, 35, 50, 51, 52, 56, 57, N1, N2,
 - 4 linie kursujące tylko w roku szkolnym: D, 37, 38, 56BIS,
 - 1 linia kursująca tylko w roku akademickim: 24BIS,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
 - 30 linii kursujących codziennie: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 30, 31, 32, 50, 51, 52, 56, 57, N1, N2,
 - 15 linii kursujących tylko w dni robocze: 9, 12, 14, 18, 24BIS, 26, 27, 29, 34, 37, 38, 35L, 35S, 56BIS, D,
 - 3 linie kursujące od poniedziałku do soboty: 19, 33, 36,
 - 1 linia weekendowa: 35,
- według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:
 - 36 linii kursujących przez cały dzień lub większą część dnia: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 35L, 35S, 50, 51, 52, 56, 57, 56BIS, N1, N2,
 - 12 linii okresowych: D, 9, 12, 13W, 14, 19, 24BIS, 29, 36, 37, 38, 56BIS,
 - 2 linie nocne: N1, N2,
- według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - 8 linii podstawowych: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 11,
 - 13 linii uzupełniających: 7, 13, 15, 16, 20, 22, 23, 24, 28, 31, 32, 50, 56,
 - 29 linii dodatkowych: D, 9, 12, 13W, 14, 17, 18, 19, 21, 24BIS, 25, 26, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 35L, 35S, 36, 37, 38, 51, 52, 56BIS, 57, N1, N2.

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren miasta Bielsko-Biała, pełniąc funkcję jej organizatora oraz 4 gmin, które powierzyły Gminie Miasto Bielsko-Biała organizację komunikacji miejskiej na mocy stosownych porozumień międzygminnych, tj. Bestwina, Czechowice-Dziedzice, Jasienica, Wilkowice. W **Tab. 3.1** zaprezentowano wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017.

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017

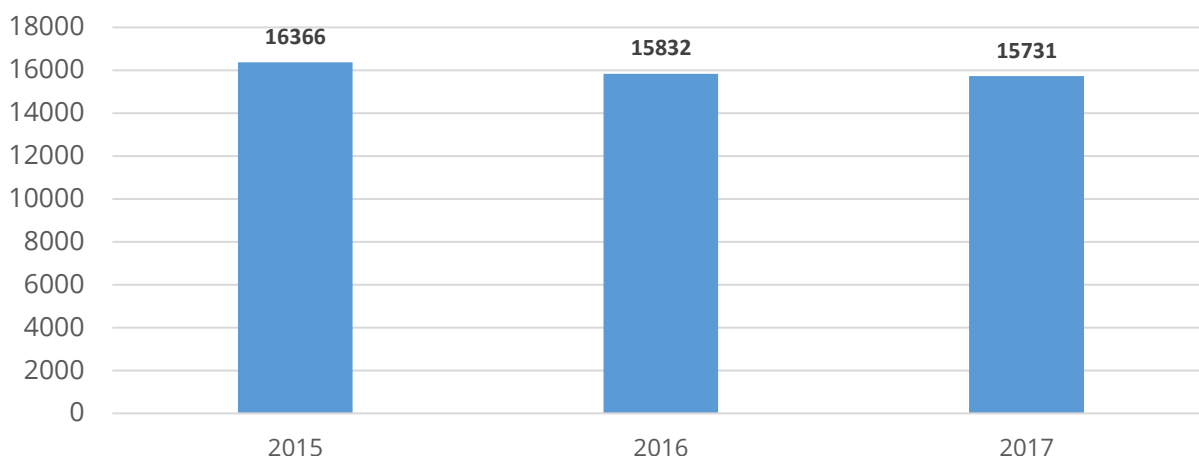
Rok	ROZNI
2015	7895,8
2016	7891,0
2017	7880,3

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynu IGKM „Komunikacja miejska w liczbach” za lata 2015, 2016, 2017

Na Rys. 3.1 przedstawiono liczbę przewiezionych pasażerów, który wskazuje na 3,9% spadek wielkości popytu na usługi

bielskiej komunikacji miejskiej w latach 2015 – 2017.

Przewiezieni pasażerowie [w tys.]



Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2017

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynu IGKM „Komunikacja miejska w liczbach” za lata 2015, 2016, 2017

W Tab. 3.2 przedstawiono trasy oraz długość na liniach obsługiwanych przez MZK Bielsko-Biała. Najkrótsza linia – D, ma długość 3,75 km i kursuje pomiędzy przystankami: Hałcnów -

Kościół oraz Hałcnów - Granica. Najdłuższą linią jest linia nocna N2 o długości 22,33 km, która kursuje na odcinku zajezdnia MZK - Komorowicka - Kościół.

Tab. 3.2 Linie obsługiwane przez MZK Bielsko-Biała – stan na dzień 03.08.2018r.

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
D	- HAŁCNÓW KOŚCIÓŁ – Wyzwolenia – WYZWOLENIA WITOSA – Witosza – KRZEMIONKI WITOSA - HAŁCNÓW KOŚCIÓŁ – Wyzwolenia – Janowicka – JANOWICE NIKLÓWKA PĘTLA - HAŁCNÓW KOŚCIÓŁ – Wyzwolenia – HAŁCNÓW GRANICA	3,750	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	10,975	miejska	podstawowa
2	MIKUSZOWICE STAŁOWNIK - Żywiecka – PCK – S. Sempołowskiej – R. Dmowskiego – Ks. S. Stojałowskiego – 3 Maja – Piastowska – Cieszyńska – Jesionowa – OSIEDLE KOPERNIKA	11,150	miejska	podstawowa
3	KOMOROWICE SOSNA – Bestwińska – I. Daszyńskiego – Olimpijska – Komorowicka – I. J. Paderewskiego – Wyzwolenia – Ks. S. Stojałowskiego – Żywiecka – PCK – 1 Maja – Prof. M. Michałowicza – OSIEDLE BESKIDZKIE – Al. Gen. W. Andersa – OSIEDLE KARPACKIE – Kolistka – Gościńska – Al. Armii Krajowej – SZPITAL WOJEWÓDZKI	12,750	miejska	podstawowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
4	LANGIEWICZA BASEN – Langiewicza – Łagodna – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – PCK – 1 Maja – Partyzantów – Zimowa – 3 Maja – Piastowska – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – Cz. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	10,300	miejska	podstawowa
6	OSIEDLE KARPACIE – Gen. Kazimierza Sosnkowskiego – Al. Gen. W. Andersa – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Piastowska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Lwowska – Krakowska – LIPNIK GRANICA	12,925	miejska	podstawowa
7	kursy do KAMIENICA (poza sezonem kursy skrócone do pętli HALA WIDOWISKOWO-SPORTOWA) SZYNDZIELNIA – Al. Armii Krajowej – Karbowa – Karpacza – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – S. Wyspiańskiego – J. III Sobieskiego – Browarna – Cieszyńska – Dzwonkowa – WAPIENICA DZWONKOWA	15,925	miejska	uzupełniająca
8	SZYNDZIELNIA – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Warszawska - WARSZAWSKA DWORZEC kursy do Warszawska FIAT/TESCO	7,475	miejska	podstawowa
9	MIKUSZOWICE DOM LUDOWY – Żywiecka – Lwowska – Piekarska – Komorowicka – J. Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Piastowska – Cieszyńska – CIESZYŃSKA LOTNISKO	13,175	miejska	dodatkowa
10	MIKUSZOWICE ŚLĄSKIE – Bystrańska – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – Cieszyńska – (Regera ← Dworcowa) – Międzyrzeczka – Strażacka – WAPIENICA STRAŻACKA kursy wydłużone do WAPIENICA GIEŁDA, WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY, WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY GE oraz BESKIDZKI INKUBATOR TECHNOLOGICZNY	14,025	miejska	podstawowa
11	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Lwowska – Żywiecka – Górská – STRACONKA LEŚNICZÓWKA kursy wydłużone do STRACONKA ZAKRĘT oraz WARSZAWSKA FIAT/TESCO	8,375	miejska	podstawowa
12	MIKUSZOWICE BŁONIA ATH – Czołgistów – Szeroka – Bystrańska – Długa – Św. A. Boboli – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – Partyzantów – 1 Maja – PCK – W. Broniewskiego – Kierowa – R. Dmowskiego – (Konfederatów Beskidzkich ← Głębocka) – (Ks. S. Stojalskiego → Wyzwolenia → I. J. Paderewskiego) – Komorowicka – Czerwona – Niepodległości – Wyzwolenia – HAŁCZÓW KOŚCÍÓŁ	14,100	miejska	dodatkowa
13	LIPNIK DOLNY – Lipnicka – Żywiecka – Lwowska – J. Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Warszawska – E. Kwiatkowskiego – Czerwona – Niepodległości – Wyzwolenia – HAŁCZÓW KOŚCÍÓŁ kursy wydłużone do KRZEMIONKI WITOSA	10,825	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
13W	KRZEMIONKI WITOSA – W. Witosa – Wyzwolenia – Niepodległości – Czerwona – E. Kwiatkowskiego – Warszawska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Lwowska – Żywiecka – Lipnicka – LIPNIK DOLNY	16,825	miejska	dodatkowa
14	CYGAŃSKI LAS – Olszówka – Bystrzańska – Długa – Św. A. Boboli – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – Partyzantów – Prof. M. Michałowicza – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – Cz. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	10,550	miejska	dodatkowa
15	OSIEDLE LANGIEWICZA – J. Tuwima – Urodzajna – Łagodna – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Lwowska – J. Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Piastowska (Listopadowa → / ← Wyspiańskiego) – Grunwaldzka – 3 Pułku Strzelców Podhalańskich – Marii Konopnickiej – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – Cz. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	11,550	miejska	uzupełniająca
16	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – Piastowska – Cieszyńska – Jaworzyńska – Zapora – WAPIENICA ZAPORA ■ kursy wydłużone do WARSZAWSKA FIAT	8,350	miejska	uzupełniająca
17	PODWALE DWORZEC – Podwale – S. Okrzei – Gazownicza – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – Piekarska – Wyzwolenia – W. Witosa – KRZEMIONKI WITOSA ■ Kursy wariantowe Krzemionki – Wyzwolenia – HAŁCZÓW KOŚCIOŁ	6,425	miejska	dodatkowa
18	OSIEDLE ZŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Al. Gen. W. Andersa – Al. Armii Krajowej – Gościnną – Karpacza – Partyzantów – Zimowa – 3 Maja – Piastowska – Listopadowa – (Mieszka I ← Asnyka) – Nad Potokiem – J. III Sobieskiego – STARE BIELSKO KOŚCIOŁ	14,725	miejska	dodatkowa
19	OSIEDLE ZŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Lwowska – Wyzwolenia – Piekarska – Komorowicka – E. Kwiatkowskiego – M. Grażyńskiego – GRAŻYŃSKIEGO FIAT II ■ Kursy wydłużone Konwojowa – CZECHOWICE-DZIEDZICE PROSEAT	10,125	miejska	dodatkowa
20	OSIEDLE ZŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – PCK – 1 Maja – Prof. M. Michałowicza – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – (Regera ← Dworcowa) – Międzyrzeczka – Strażacka – WAPIENICA STRAŻACKA ■ kursy wydłużone do WAPIENICA PARK PRZEMYSŁOWY	10,100	miejska	uzupełniająca
21	OSIEDLE LANGIEWICZA – J. Tuwima – Urodzajna – Łagodna – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Partyzantów – Bystrzańska – Szeroka – MIKUSZOWICE BŁONIA ATH – Szeroka – Bystrzańska – Długa – Św. A. Boboli – SZPITAL WOJEWÓDZKI – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – Cz. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	17,750	miejska	dodatkowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
22	OSIEDLE LANGIEWICZA – J. Tuwima – Urodzajna – Łagodna – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Ks. S. Stojłowskiego – 3 Maja – Warszawska – Sarni Stok – Sarni Potok – OSIEDLE SARNI STOK ■ Wybrane kursy przez FIAT/ul. Okrężną	8,500	miejska	uzupełniająca
23	SZPITAL WOJEWODZKI – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Marii Konopnickiej – 3 Pułku Strzelców Podhalańskich – Grunwaldzka – (S. Wyspiańskiego → / ← Listopadowa) – Piastowska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Lwowska – Żywiecka – Łagodna – Urodzajna – J. Tuwima – OSIEDLE LANGIEWICZA	14,125	miejska	uzupełniająca
24	MIKUSZOWICE BŁONIA ATH – Szeroka – Bystrzańska – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – J. III Sobieskiego – Strażacka – WAPIENICA STRAŻACKA	11,850	miejska	uzupełniająca
24 BIS	OSIEDLE KOPERNIKA – Jesionowa – Cieszyńska – Piastowska – 3 Maja – Zamkowa – Partyzancka – Bystrzańska – Szeroka – Czołgistów – MIKUSZOWICE BŁONIA	8,950	miejska	dodatkowa
25	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – Piastowska – J. III Sobieskiego – Al. Gen. W. Andersa – Mazańcowice – MAZAŃCOWICE SPÓŁDZIELNIA – Starobielska – Ligocka – MAZAŃCOWICE OŚRODEK ZDROWIA	8,400	podmiejska	dodatkowa
26	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Ks. S. Stojłowskiego – R. Dmowskiego – Kierowa – W. Broniewskiego – PCK – Żywiecka – Krakowska – (A. Dygasińskiego – C. K. Norwida) – Wapienna – WAPIENNA OSIEDLE	5,225	miejska	dodatkowa
27	OSIEDLE SARNI STOK – Sarni Potok – Sarni Stok – Warszawska – WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Ks. S. Stojłowskiego – Żywiecka – Krakowska – Polna – Ks. S. Brzóska – LIPNIK DOLNY	13,025	miejska	dodatkowa
28	OSIEDLE KARPACKIE – Gen. Kazimierza Sosnkowskiego – Al. Gen. W. Andersa – Prof. M. Michałowicza – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Piastowska – Cieszyńska – Stawowa – Spółdzielców – OSIEDLE WOJSKA POLSKIEGO	8,400	miejska	uzupełniająca
29	PIASTOWSKA DWORZEC – WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – E. Kwiatkowskiego – M. Grażyńskiego – Mazańcowska – Komorowicka – Olimpijska – I. Daszyńskiego – Bestwińska – KOMOROWICE SOSNA	7,875	miejska	dodatkowa
30	OSIEDLE KARPACKIE – Gen. Kazimierza Sosnkowskiego – Al. Gen. W. Andersa – OSIEDLE BESKIDZKIE – Prof. M. Michałowicza – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Warszawska – CH SARNI STOK	6,375	miejska	dodatkowa
31	PODWALE DWORZEC – Gazownicza – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – Piekarska – Wyzwolenia – HAŁCŃÓW GRANICA	9,350	miejska	uzupełniająca
32	OSIEDLE KARPACKIE – Gen. Kazimierza Sosnkowskiego – Al. Gen. W. Andersa – Piastowska – WARSZAWSKA DWORZEC – Mazańcowska – Komorowicka – Olimpijska – I. Daszyńskiego – Hałcnowska – Wyzwolenia – HAŁCŃÓW KOŚCIÓŁ	13,275	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
33	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – Piekarska – Wyzwolenia – Niepodległości – Czerwona – Komorowicka – Mazańcowicka – Komorowicka – MAZAŃCOWICE OSIEDLE	10,625	miejska	dodatkowa
34	OSIEDLE ZŁOTE ŁANY – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Al. Gen. W. Andersa – Babiogórska – Szarotki – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – Cz. Tańskiego – OSIEDLE POLSKICH SKRZYDEŁ	8,625	miejska	dodatkowa
35	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Ks. S. Stojałowskiego – Lipnicka – Ks. S. Brzóska – Wielkopolska – LIPNIK WIELKOPOLSKA	7,775	miejska	dodatkowa
35L/S	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Ks. S. Stojałowskiego – Lipnicka – Ks. S. Brzóska – LIPNIK WIELKOPOLSKA – Ks. S. Brzóska – Górka – Żywiecka – Gen. T. Bora-Komorowskiego – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Warszawska – WARSZAWSKA DWORZEC	16,500	miejska	dodatkowa
36	DWOROWA POCZTA – Dworcowa – T. Regeja – Cieszyńska – Piastowska – Warszawska – E. Kwiatkowskiego – M. Grażyńskiego – Konwojowa – CZECHOWICE-DZIEDZICE PROSEAT	12,275	miejska	dodatkowa
37	HALA WIDOWISKOWO SPORTOWA – Karbowa – Kolistka – Al. Gen. W. Andersa – Prof. M. Michałowicza – Partyzantów – Ks. S. Stojałowskiego – R. Dmowskiego – Kierowa – W. Broniewskiego – PCK – Żywiecka – Łagodna – Jutrzenki – J. Tuwima – OSIEDLE LANGIEWICZA	10,775	miejska	dodatkowa
38	CYGAŃSKI LAS – Olszówka – Bystrzańska – Długa – Partyzantów – Bora-Komorowskiego – Łagodna – Jutrzenki – Lenartowicza – Żywiecka – PCK – Broniewskiego – Kierowa – Dmowskiego – Stojałowskiego – Lwowska – Piłsudskiego – Mostowa – Wałowa – 3 Maja – Warszawska – WARSZAWSKA DWORZEC	7,650	miejska	dodatkowa
50	OSIEDLE KARPACIE – Gen. Kazimierza Sosnkowskiego – Al. Gen. W. Andersa – OSIEDLE BESKIDZKIE – Al. Gen. W. Andersa – Prof. M. Michałowicza – Partyzantów – Zamkowa – 3 Maja – Warszawska – WARSZAWSKA TESCO – (Warszawska → Mazańcowicka → / ← Węglowa ←) Węglowa – Katowicka – Czechowice-Dziedzice: Legionów – Niepodległości – Towarowa – Traugutta – Wyspiańskiego – Szkolna – Węglowa – Górnica – CZECHOWICE-DZIEDZICE SILESIA	20,575	miejsko - podmiejska	uzupełniająca
51	WARSZAWSKA DWORZEC – Warszawska – 3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – Mazańcowicka – MAZAŃCOWICE OSIEDLE ■ Kursy wydłużone – Komorowicka – Ligocka – MAZAŃCOWICE OŚRODEK ZDROWIA	7,825	podmiejska	dodatkowa
52	OSIEDLE SARNI STOK – Sarni Potok – Sarni Stok – Warszawska – Piastowska – Cieszyńska – (Regeja ← Dworcowa) – Międzyrzeczka – Międzyrzecze Górne: Bielska – Centralna – MIĘDZYRZECZE GÓRNE PĘTLA – Międzyrzecze Dolne: Wapienicka – MIĘDZYRZECZE DOLNE PĘTLA	17,200	podmiejska	dodatkowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
56	PODWALE DWORZEC – Mostowa – J. Piłsudskiego – Lwowska – Wyzwolenia – Janowicka – <i>Janowice: Janowicka – Bestwina: Janowicka</i> –BESTWINA PIEKARNIA	12,125	podmiejska	uzupełniająca
56b BIS	PODWALE DWORZEC – Okrzei – Gazownicza – Mostowa – Piłsudskiego – Lwowska – Wyzwolenia – Janowicka – JANOWICKA NIKLÓWKA PĘTLA ■ Kursy wydłużone BESTWINA PIEKARNIA	7,325	miejska	dodatkowa
57	FILOWA MED. WORK – Filarowa – Sarni Potok – Sarni Stok – Warszawska WARSZAWSKA DWORZEC – 3 Maja – Zamkowa – Partyzantów – Bystrzańska – <i>Bystra: Szczyrkowska – Fałata – BYSTRA LEŚNICZÓWKA</i>	14,200	podmiejska	dodatkowa
N1	DŁUGA ZAJEZDNIA MZK – Długa – Św. A. Boboli – Al. Armii Krajowej – Al. Gen. W. Andersa – <i>Babogórska</i> – Prof. M. Michałowicza – Partyzantów – Zamkowa – 3 maja – Piastowska – Cieszyńska – Jesionowa – Spółdzielców – Stawowa – Cieszyńska – WAPIENICA CENTRUM - WAPIENICA REGERA - Cieszyńska - Stawowa - Spółdzielców - Jesionowa - Cieszyńska - Piastowska - 3 Maja - Zamkowa - Partyzantów - Prof. M. Michałowicza - Babogórska - Al. Gen. W. Andersa - Al. Armii Krajowej - Św. A. Boboli - Długa - Długa Zajezdnia MZK	14,875	miejska	dodatkowa
N2	DŁUGA ZAJEZDNIA MZK – Długa – Bystrzańska – Ks. J. Kusia – Przędzalnicza – Żywiecka – Górska – Dojazdowa – Złotych Kłosów – Łagodna – Jutrzenki – T. A. Lenartowicza – Żywiecka – Lipnicka – Polna – Krzyżowa – Sikorek – Podgórna – Krakowska – Żywiecka – ks. S. Stojałowskiego –3 Maja – Wałowa – Mostowa – J. Piłsudskiego – Komorowicka – KOMOROWICKA KOŚCIÓŁ – Komorowicka – Olimpijska – I. Daszyńskiego - Hałcnowska - Wyzwolenia - Niepodległości - Czerwona - R. Dmowskiego – Kierowa – W. Broniewskiego – PCK – Żywicka – Lipowa – Żywiecka - Krakowska - Podgórna - Lipnicka - Żywiecka - T. – A. - Lenartowicza - Jutrzenki - Łagodna - Gen. T. Bora-Komorowskiego – Partyzantów - Bystrzańska - Długa - Długa Zajezdnia MZK	22,325	miejska	dodatkowa

Źródło: Opracowanie własne

3.1.3 Koszty eksploatacyjne

Źródłem finansowania MZK w Bielsku-Białej są przychody z działalności określonej w statucie jednostki organizacyjnej (dochody z dystrybucji i sprzedaży biletów komunikacyjnych oraz

działalności dodatkowej) oraz rekompensaty za świadczenie usług publicznych w zakresie transportu pasażerskiego i dotacji z budżetu Miasta.

Tab. 3.3 Finansowanie przewozów w latach 2015-2017

Rok	Wielkość pracy eksploatacyjnej w tys. wzkm	Przychody z biletów w zł	Dotacje i środki na inwestycje w zł	Koszty przewozów w zł
2015	7895,8	26 544 832,04	23 159 533,10	52 713 839,23
2016	7891,0	25 592 037,73	23 171 152,81	53 267 558,19
2017	7880,3	25 778 178,46	24 729 522,90	57 433 334,23

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK w Bielsku-Białej

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

Jednym z zadań własnych Gminy Miasto 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 dla Gminy Miasto Bielsko-Biała oraz Gmin, z którymi Gmina Miasto Bielsko-Biała posiada zawarte porozumienie międzygminne w zakresie publicznego transportu zbiorowego. W dokumencie tym, stanowiącym akt prawa miejscowego, założono,

iż „realizowanie przewozów o charakterze użyteczności publicznej planowane jest na obszarze Gminy Miasto Bielsko-Biała, Bestwina, Czechowice-Dziedzice, Jasienica, Wilkowice, z którymi Gmina Miasto Bielsko-Biała zawarła porozumienia w sprawie wspólnej organizacji publicznego transportu zbiorowego”. Wskazane uwarunkowania formalno – prawne gwarantują podstawy instytucjonalne umożliwiające wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w perspektywie wieloletniej, m.in. w zakresie minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora.

3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

W ostatnich latach w Bielsku-Białej zakupiono 51 nowych autobusów. W 2015 roku zakupiono fabrycznie nowy autobus SKD LF38 z normą spalania EURO 6. W 2016 roku rozstrzygnięto przetarg na 50 nowych pojazdów w ramach projektu „Rozwój zrównoważonego transportu miejskiego na terenie miasta Bielsko-Biała” współfinansowanego ze środków Regionalnego

Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego. W zakresie postępowania, w tym samym roku dostarczono do Bielska-Białej 23 autobusy Solaris Urbino 12 oraz 5 pojazdów Solaris Urbino 18 z normą spalania EURO 6. W 2017 roku do Bielska Białej dotarły kolejne 22 pojazdy: 15 sztuk Solaris Urbino 12, 5 sztuk Solaris Urbino 18 oraz 2 SKD LF38.

Tab. 3.4 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2015	SKD LF38	MINI	1	2015	EURO 6
2016	Solaris Urbino 12 IV generacji	MAXI	23	2016	EURO 6
	Solaris Urbino 18 IV generacji	MEGA18	5	2016	EURO 6
2017	Solaris Urbino 12	MAXI	15	2017	EURO 6
	Solaris Urbino 18	MEGA18	5	2017	EURO 6
	SKD LF38	MINI	2	2017	EURO 6

Źródło: Opracowanie własne

3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej eksploatowanych jest 128 pojazdów. Wszystkie posiadają silniki napędzane olejem napędowym, z czego 40% floty operatora posiada klimatyzację. We flocie użytkowanej przez Miejski Zakład Komunikacyjny – Bielsko-Biała wszystkie użytkowane autobusy są niskopodłogowe.

Najwięcej z nich stanowią pojazdy o normie spalania EURO 6 – 51 pojazdów (40%). Kolejną

największą grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 5, które stanowią 35% całego taboru. We flocie użytkowanej przez MZK Bielsko-Biała znajdują się także 32 pojazdy o normie spalania EURO 3 (25%). Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów w czerwcu 2018 roku

Norma spalania / typ pojazdu	MAXI	MEGA18	MINI	Liczba pojazdów
EURO 1				
EURO 2				
EURO 3	26		6	32
EURO 4				
EURO 5	35	10		45
EEV				
EURO 6	38	10	3	51
Liczba pojazdów	99	20	9	128

Źródło: Opracowanie własne

3.2.3 Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru

Obecnie średni wiek pojazdów MZK Bielsko-Biała wynosi 6,9 roku. Najstarszy pojazd został wyprodukowany w 2002 roku – Solaris Urbino 12

klasy MAXI. Najmłodsze pojazdy jeżdżące w Bielsku-Białej wyprodukowano w 2017 roku – 15 sztuk Solaris Urbino 12, 5 sztuk Solaris Urbino 18

oraz 2 sztuki SKD LF38 z normą spalania EURO 6. MZK Bielsko-Biała posiada około 40% pojazdów, które są młodsze niż 4 lata. Pojazdy w wieku 15

lat i więcej stanowią jedynie 4,6% wszystkich pojazdów. W poniższej tabeli zaprezentowano obecną strukturę pojazdów według wieku i typu.

Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w lipcu 2018 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT	2	38	10	50
3-4 LATA	1			1
5-6 LAT				
7-8 LAT		10	10	20
9-10 LAT		15		15
11-12 LAT	6	30		36
13-14 LAT				
15 LAT I WIĘCEJ		6		6

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnych tabelach przedstawiono przewidywaną 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. Symulacja wymiany taboru została sporządzona w oparciu o:

- założenia operatora dotyczące wymiany najstarszych pojazdów,
- wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego, wskazujące na

maksymalnie 10-letni okres eksploatacji autobusu, które będą wprowadzane stopniowo,

- założenie dotyczące kontynuacji wymiany części floty w oparciu o autobusy używane, przewidziane do wprowadzenia wyłącznie w grupach typów taboru cechujących się najniższym wykorzystaniem w sieci.

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

Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2021 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT		11		11
3-4 LATA	2	15	5	22
5-6 LAT	1	33	5	39
7-8 LAT				
9-10 LAT		10	7	17
11-12 LAT		5	3	8
13-14 LAT	5	20		25
15 LAT I WIĘCEJ	1	10		11

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.8 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT	6	10		16
3-4 LATA		11		11
5-6 LAT	2	15	5	22
7-8 LAT	1	33	5	39
9-10 LAT				
11-12 LAT		10	7	17
13-14 LAT		5	3	8
15 LAT I WIĘCEJ		20		20

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.9 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT		15		15
3-4 LATA	6	10		16
5-6 LAT		11		11
7-8 LAT	2	15	5	22
9-10 LAT	1	33	5	39
11-12 LAT				
13-14 LAT		10	7	17
15 LAT I WIĘCEJ		10	3	13

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.10 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT	3	38	10	51
3-4 LATA		20	10	30
5-6 LAT		15		15
7-8 LAT	6	10		16
9-10 LAT		21		21
11-12 LAT				
13-14 LAT				
15 LAT I WIĘCEJ				

Źródło: Opracowanie własne

3.2.4 Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym

Emisja gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym zależy od zużycia paliwa przez pojazdy, ich norm spalania oraz przejechanego dystansu. W celu oszacowania emisji gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym obliczono średnie zużycie oleju napędowego dla każdej grupy, która składa się

z pojazdów o jednakowym modelu i tej samej marce oraz o tej samej normie spalania. Następnie obliczono emisję gazów cieplarnianych (tj. dwutlenku węgla CO₂) i substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych

lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO_x i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy oraz sumaryczną liczbę przejechanych kilometrów przez dany typ

pojazdów. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w Tab. 3.11.

Tab. 3.11 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych

Typ pojazdu	Średnie zużycie oleju napędowego	Roczna liczba km przejechana przez dany typ pojazdu	NMHC/NMVOC w g	NO _x w g	PM w g	CO ₂ w kg/km
EURO 3						
Solaris Urbino 12	43,21	899758,56	2 565 985,45	19 439 283,74	388 785,67	1 041 945,61
Jelcz M081MB	22,83	547658,17	825 200,37	6 251 517,97	125 030,36	335 081,36
Scania N230	49,60	571320,60	1 870 275,12	14 168 750,88	283 375,02	759 445,05
EURO 5						
Mercedes Benz O530K Citaro	40,62	745678,20	1 393 280,33	6 057 740,56	60 577,41	811 737,24
Mercedes Benz O530 Citaro	40,84	712029,30	1 337 548,46	5 815 428,10	58 154,28	779 267,37
Mercedes Benz O530G Citaro	54,55	511465,90	1 283 447,52	5 580 206,63	55 802,07	747 747,69
Mercedes Benz Conecto LF	41,11	599538,90	1 133 791,61	4 929 528,74	49 295,29	660 556,85
Solaris Urbino 12	41,33	640484,40	1 217 676,13	5 294 244,05	52 942,44	709 428,70
EURO 6						
SKD LF38	19,61	47070,00	12 001,59	36 927,98	923,20	24 737,54
Solaris Urbino 12	41,67	88208,74	47 783,55	147 026,32	3 675,66	98 578,56
Solaris Urbino 18	51,53	70811,40	47 408,23	145 871,48	3 646,79	97 733,89
Emisja roczna wszystkich pojazdów:			11 734 398,38	67 866 526,47	1 082 208,18	6 066 259,86

Źródło: Opracowanie własne

3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne Miejskiego Zakładu Komunikacyjnego w Bielsku-Białej. Sieć została przeanalizowana pod względem liczby wozokilometrów liniowych z podziałem na linie i technicznych według typu dnia, wskaźników wykorzystania taboru. Następnie przedstawiono dane dotyczące prędkości komunikacyjnych i eksploatacyjnych w przekroju całej sieci i linii komunikacyjnych na terenie miasta Bielsko-Biała oraz zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady. W końcowej części rozdziału wykonana została analiza rozkładów jazdy na podstawie bazy rozkładów jazdy z dnia 1 sierpnia 2018 roku.

Wszystkie linie komunikacyjne wykonują pracę eksploatacyjną w poszczególne dni na poziomie:

- dzień roboczy szkolny (październik-kwiecień) – 25 713,3 wzk,
 - dzień roboczy wakacyjny – 23 883,2 wzk
 - sobota (sezon ciepły) - 15 532,1 wzk,
 - niedziela (niehandlowa sezon ciepły) - 12 094,8 wzk,
 - święta (sezon ciepły) – 5 853,0 wzk.

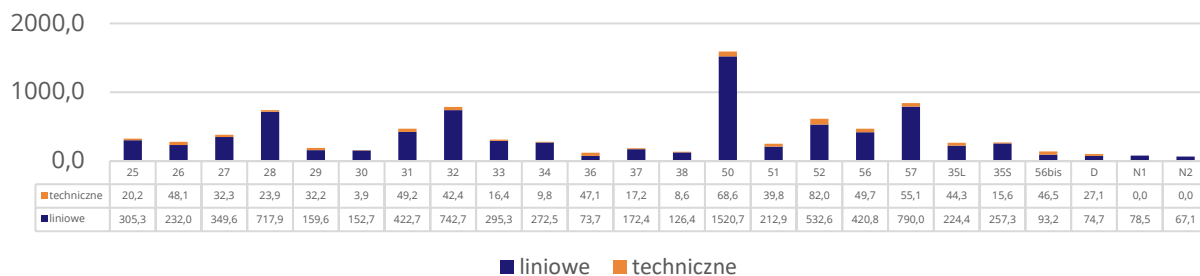
Najwięcej kilometrów realizowanych jest zwykle na linii 1, 4, 10, 50. Najmniejszą pracą eksploatacyjną cechuje się linia nocna N1 kursująca o charakterze okrężnym rozpoczynając i kończąc kurs w zajezdni MZK. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano liczbę wozokilometrów na poszczególnych liniach w wybrane typy dni tygodnia.



Rys. 3.2 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny

Źródło: Opracowanie własne

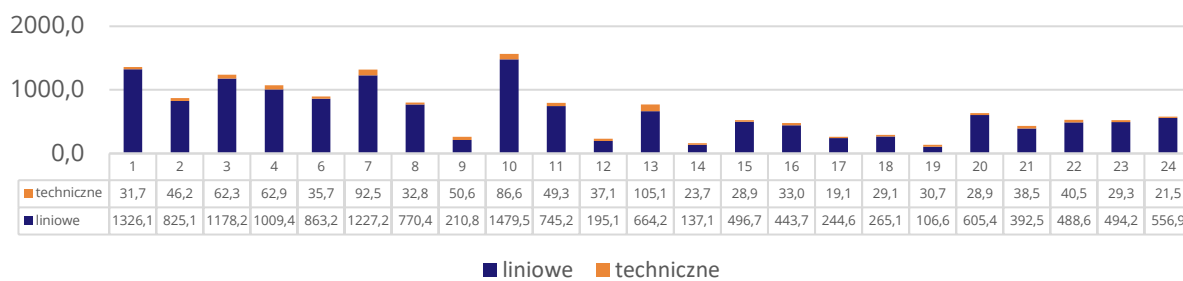
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny (październik - kwiecień)



Rys. 3.3 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny (część druga)

Źródło: Opracowanie własne

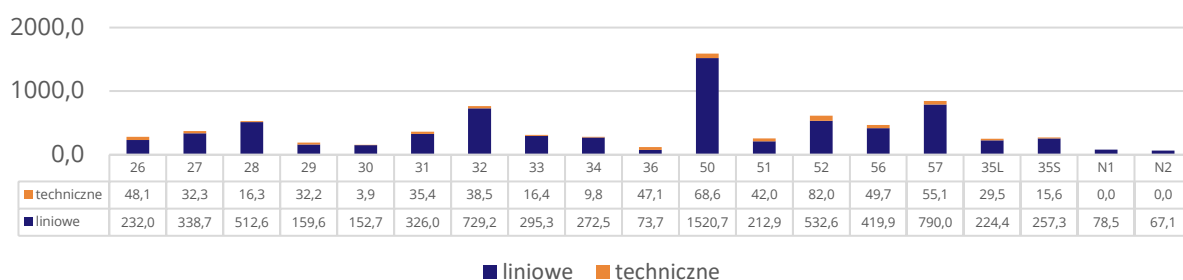
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny



Rys. 3.4 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny

Źródło: Opracowanie własne

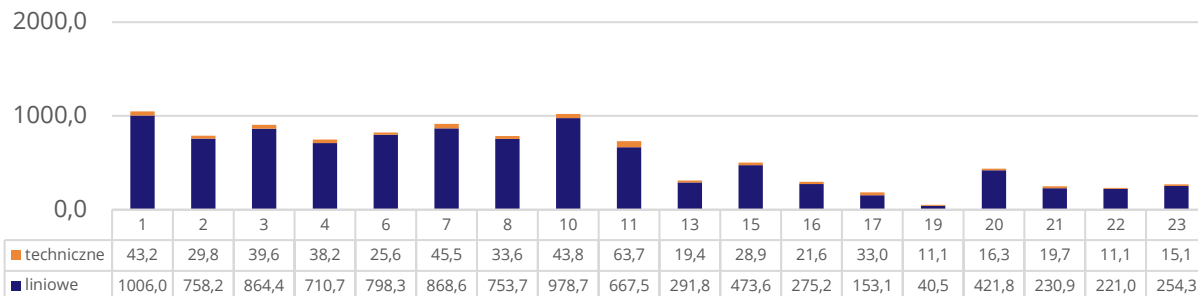
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny



Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny (część druga)

Źródło: Opracowanie własne

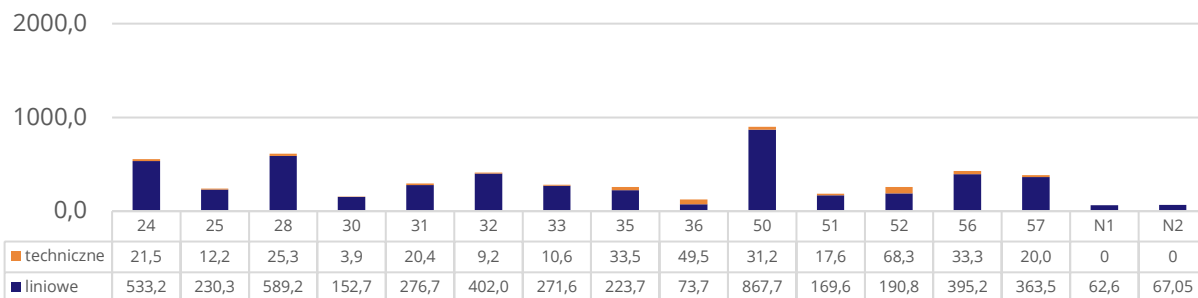
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty

Źródło: Opracowanie własne

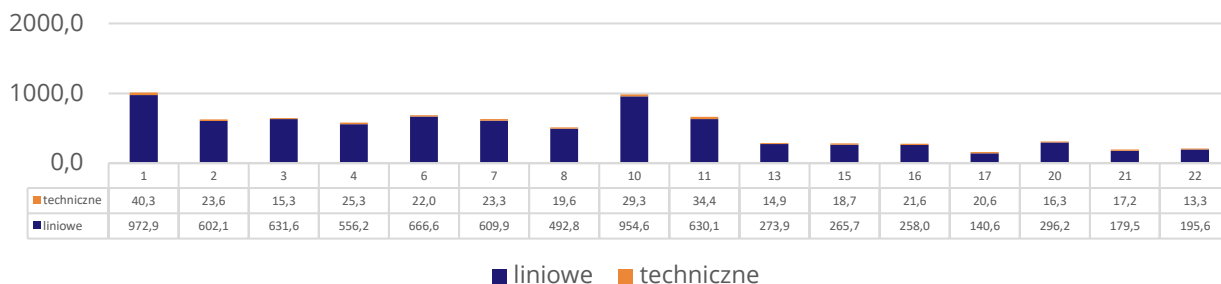
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty (część druga)

Źródło: Opracowanie własne

Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele

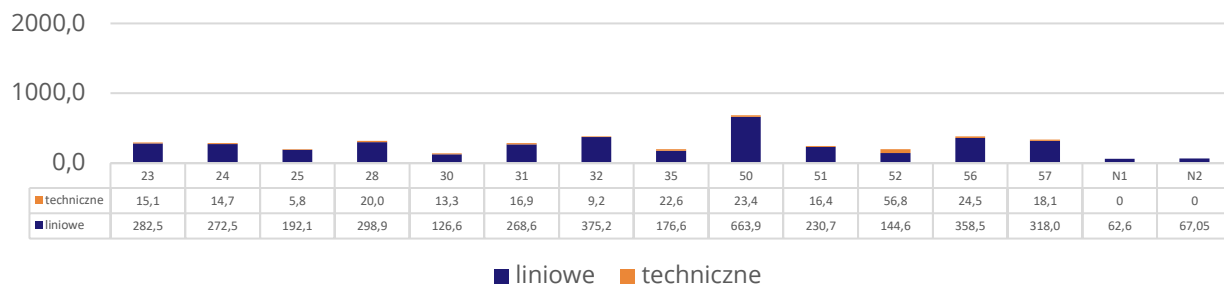


■ liniowe ■ techniczne

Rys. 3.8 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele

Źródło: Opracowanie własne

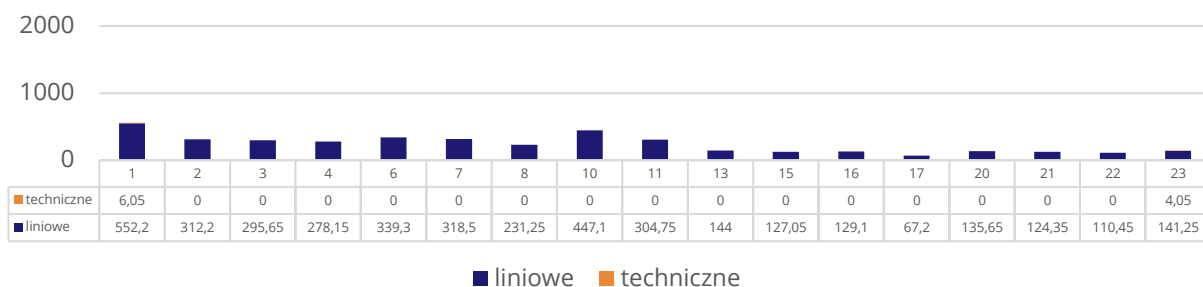
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele



Rys. 3.9 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele (część druga)

Źródło: Opracowanie własne

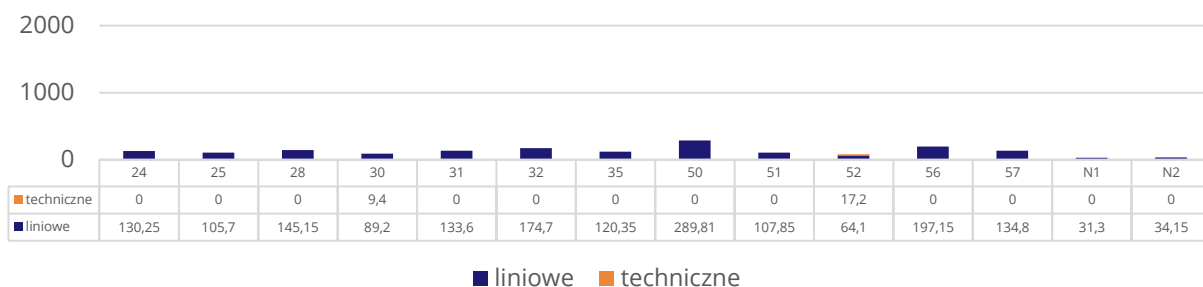
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta



Rys. 3.10 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta

Źródło: Opracowanie własne

Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta



Rys. 3.11 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta (część druga)

Źródło: Opracowanie własne

3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

Aktualnie Miejski Zakład Komunikacyjny w Bielsku-Białej dysponuje 128 autobusami, z czego do obsługi linii, ekspediowanych jest:

- w dni robocze w okresie szkolnym 100 autobusów – 78 % taboru,
- w dni robocze w okresie wakacji 90 autobusów – 70 % taboru,

- w soboty 58 autobusów – 45 % taboru,
- w niedziele 44 autobusów – 34% taboru,
- w święta 44 autobusy – 34% taboru.

W Tab. 3.12 przedstawiono wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu.

Tab. 3.12 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu

Typ dnia /typ pojazdu	MINI		MAXI		MEGA	
	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa
Roboczy szkolny	5	4	75	24	20	
Roboczy wakacyjny	5	4	65	34	20	
Sobota	7	2	51	48		20
Niedziela	6	3	38	61		20
Święta	6	3	38	61		20

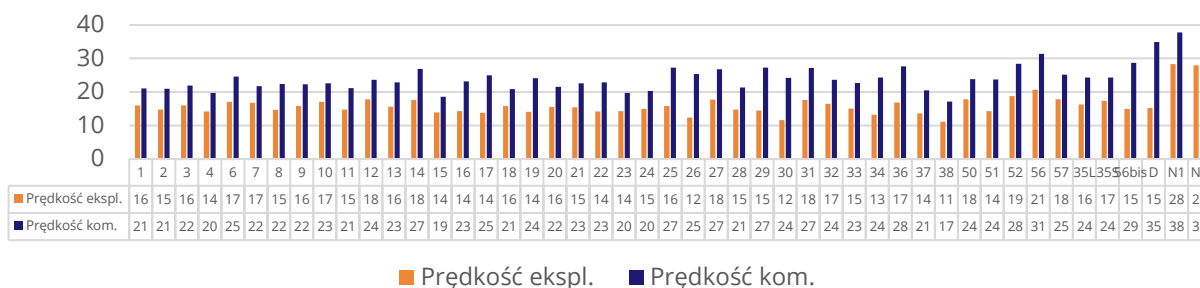
Źródło: Opracowanie własne

3.3.2 Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych

Prędkości eksploatacyjne w całej sieci kształtują się zwykle na poziomie od 16 do 17,9 km/h w zależności od typu dnia. Prędkości komunikacyjne w przekroju całej sieci kształtują się zwykle na poziomie od 23,9 do 26 km/h w zależności od typu dnia. Zwykle najwyższe

prędkości eksploatacyjne wśród linii dziennych osiągają linie 52, 56, 57 a najniższe 26, 30. W przypadku prędkości komunikacyjnych najwyższe osiągają linie dzienne 36, 52, 56, a najniższe 4, 15, 23.

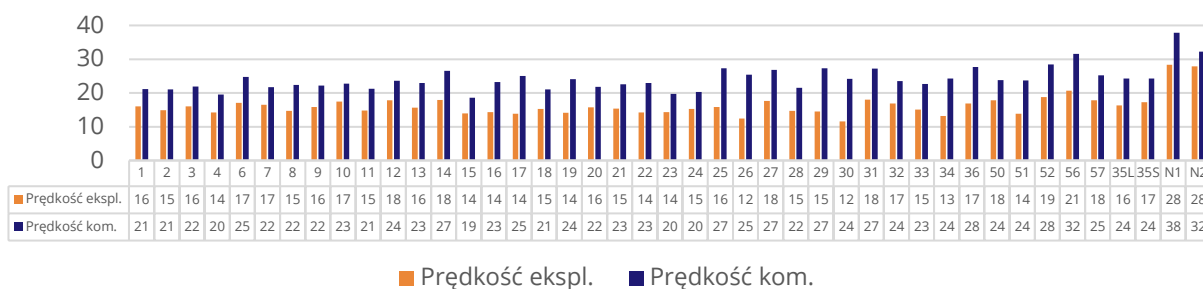
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne



Rys. 3.12 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne

Źródło: Opracowanie własne

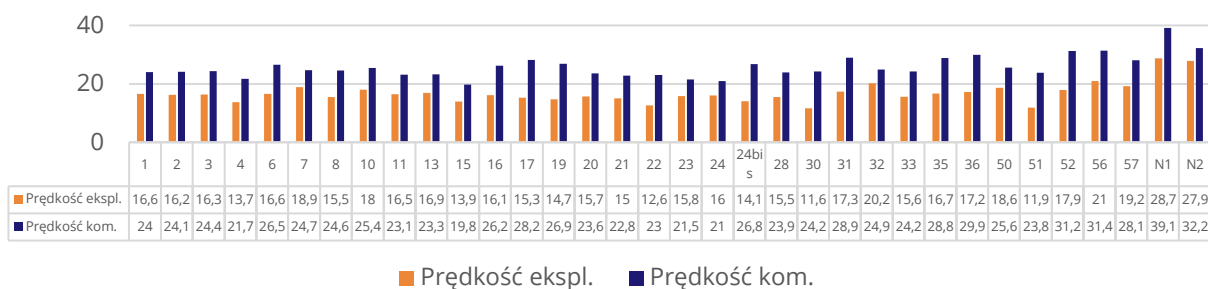
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne



Rys. 3.13 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny

Źródło: Opracowanie własne

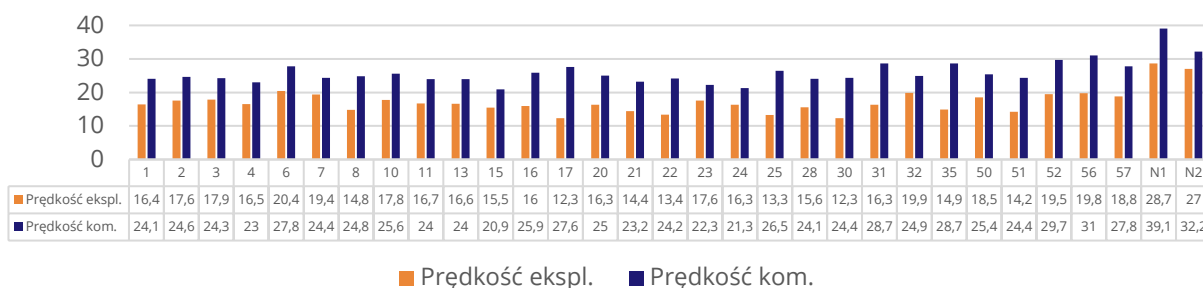
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.14 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w soboty

Źródło: Opracowanie własne

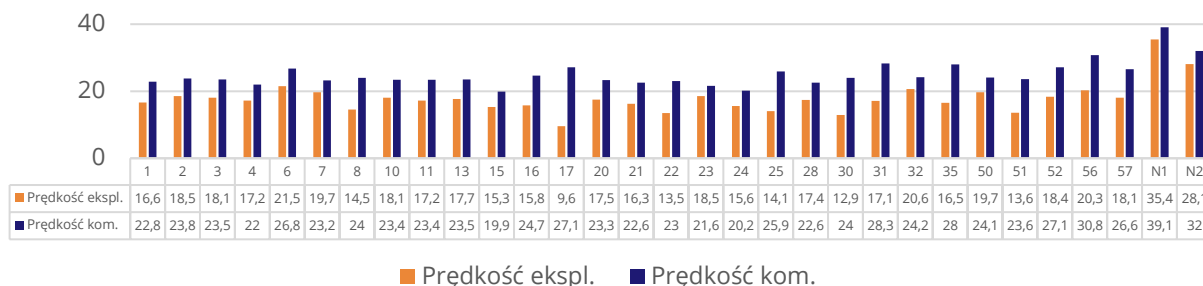
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedziele



Rys. 3.15 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedziele

Źródło: Opracowanie własne

Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta



Rys. 3.16 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta

Źródło: Opracowanie własne

3.3.3 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady

Wszystkie brygady w dzień roboczy szkolny wykonują łącznie 25 713,27 wzk. Najwięcej brygad jest obsługiwane autobusami MAXI - 75, wykonują one pracę eksploatacyjną na poziomie 19 343,66 wzk. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie o długości 84,10 km i jest obsługiwana przez autobus klasy MEGA. Najdłuższe zadanie ma długość 345,3 km, na którym są eksploatowane autobusy typu MEGA. Przeciętna długość brygady w całej sieci wynosi 253,9 km, pojazdy klasy MEGA są zwykle kierowane na najdłuższe brygady. 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.

Największym zróżnicowaniem długości brygad charakteryzują się brygady obsługiwane przez autobusy MINI (35%). Oznacza to, że istnieją brygady realizujące znacznie więcej wozokilometrów niż wynosi średnia, jak i znacznie mniej. Liczba wozokilometrów jest najmniej zróżnicowana w przypadku autobusów klasy MEGA – 24%. Szczegółowe dane dotyczące zróżnicowania brygad zostały zaprezentowane w Tab. 3.13.

Tab. 3.13 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny (obowiązujący we wrześniu)

Parametr / typ taboru	MINI	MAXI	MEGA18	Cała sieć
liczba brygad	5	75	20	100
minimalna długość w km	114,1	88,5	84,1	84,1
maksymalna długość w km	329,9	340,3	345,3	345,3
średnia długość w km	204,1	254,0	265,9	253,9
odch. standardowe	71,8	64,8	64,1	69,0
wsp. Zmienności	35%	26%	24%	27%
Suma km	1020,49	19343,66	5381,12	25745,27

Źródło: Opracowanie własne

3.3.4 Analiza rozkładów jazdy

Ze względu na ograniczenia techniczne wynikające z ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych i trolejbusów, które obsługują obszary bez sieci trakcyjnej, wykonano pogłębioną analizę rozkładów jazdy. Analiza posłużyła do wskazania linii lub brygad, które mogłyby zostać obsługiwane przez autobusy zeroemisyjne. Sprawdzono również najczęściej

występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. Szczegółową analizę rozkładów jazdy dla każdego wariantu dokonano w następnym rozdziale. W Tab. 3.14 zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

Tab. 3.14 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów

Stan obecny	MINI	MAXI	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	5	75	20	100
Liczba brygad poj. Zeroemisyjnych	0			
Liczba brygad w ruchu	5	75	20	100
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	9	99	20	128
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0			
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	56%	76%	100%	78%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych	0%			
Udział pojazdów zeroemisyjnych	0%			

Źródło: Opracowanie własne

W poniższych tabelach przedstawiono najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. Kraniec podstawowy to pętla lub przystanek, gdzie bieg kończy najwięcej kursów danej linii. Długości postojów na wszystkich innych przystankach krańcowych są przedstawione w kolumnie „krańce wariantowe”. Linie wykonujące tylko 1 parę kursów w danej

porze, mają wpisaną długość postoju tylko na jednym krańcu. Przy braku powtarzalnych interwałów rozumianych jako częstotliwości kursowania, zdefiniowany został przedział z występującymi odstępami lub liczba par kursów (np. „p1” oznacza 1 parę). Z analizy wyłączone zostały dedykowane przerwy posiłkowe, które nie są zaplanowane jako powtarzalne postoje wyrównawcze.

Tab. 3.15 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny (październik – kwiecień) [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	4-15	
2	Mikuszowice Stalownik	Osiedle Kopernika	30	7	16-46		23	8-9	5-10	

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny (październik – kwiecień) [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
3	Osiedle Karpackie	Komorowice Sosna	45	11-41	5-8	24	37	23	4	11
4	Langiewicza Basen	Osiedle Polskich Skrzydeł	20	3-8	5-10		32	6-7	3-8	
6	Osiedle Karpackie	Lipnik Granica	30	17	5		25	24	4	
7	Szyndzielnia	Wapienica Dzwonkowa	25	9	13-18		25	3-8	21-26	
8	Szyndzielnia	Warszawska Lipowa	25	10-15	17	3	20	9		2-6
9	Cieszyńska Lotnisko	Mikuszowice Dom Ludowy	-				45	22	10	
10	Mikuszowice Śląskie	Wapienica Strażacka	17	5-15	10-15	6	20	5-18	18	6-15
11	Warszawska Dworzec	Straconka Leśniczówka	30	18	20	17	25	11	10-12	4-9
12	Mikuszowice Błonia ATH	Hałcnów Kościół	-				90	5	7	
13	Lipnik Dolny	Hałcnów Kościół	55	9	10-50	25	27	8	10-15	15
14	Cygański Las	Osiedle Polskich Skrzydeł	-				70	3	5	
15	Osiedle Langiewicza	Osiedle Polskich Skrzydeł	52	21	5		50	6-11	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 Złote Łany	Stare Bielsko Kościół	75		5		100	5	4	
19	Osiedle Złote Łany	Czechowice Dziedzice Proseat	-				55	0-11		8
20	Osiedle Złote Łany	Wapienica Strażacka	35	5-15	6	5	30	9-10	7-17	
21	Osiedle Langiewicza	Osiedle Polskich Skrzydeł	140	24	19		P1	24	19	
22	Osiedle Langiewicza	Osiedle Sarni Stok	35	16	8		35	6-11	8	
23	Szpital Wojewódzki	Osiedle Langiewicza	52	5-8	23		48	6	6-11	

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny (październik – kwiecień) [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
24	Mikuszowice Błonia ATH	Wapienica Strażacka	40	2-32	4-14		32	7-17	14	
24bis	Osiedle Kopernika	Mikuszowice Błonia ATH	-				-			
25	Warszawska Dworzec	Mazańcowice Ośrodek Zdrowia	75	23-42	9	16	60	7-14	6	
26	Warszawska Dworzec	Wapienna Osiedle	60	17	16		60	15	16	
27	Osiedle Sarni Stok	Lipnik Dolny	57	11-21	4-19		60	5	18	
28	Osiedle Karpackie	Osiedle Wojska Polskiego	20	5-25	5		25	4-9	8	
29	Piastowska Dworzec	Komorowice Sosna	P1		10		60	12	10	
30	Osiedle Karpackie	Sarni Stok	75	17-32	13		80	12	33	
31	Podwale Dworzec	Hałcnów Granica	55	9	4-9		60	2-9	6	
32	Osiedle Karpackie	Hałcnów Kościół	50	45	7-8		30	7	7-10	
33	Warszawska Dworzec	Mazańcowice Osiedle	65	21	2-7		70	3	3-8	
34	Osiedle Złote Łany	Osiedle Polskich Skrzydeł	60	24	23-68		80	7	26	
35	Warszawska Dworzec	Lipnik Wielkopolska	-				-			
36	Dworcowa Pocztą	Czechowice Dziedzice Proseat	-				-			
37	Karbową Hala Widowiskowo – Sportowa	Osiedle Langiewicza	105	21			80	8	4	
38	Cygański Las	Warszawska Lipowa	190		23		75	8	6-12	
50	Osiedle Karpackie	Czechowice- Dziedzice Silesia	30	4-21	7-11		25	10-34	8	
51	Warszawska Dworzec	Mazańcowice Osiedle	165		9	18	80	9		9
52	Osiedle Sarni Stok	Międzyrzecze Dolne	70		6		65	42	14	
56	Podwale Dworzec	Bestwina Piekarnia	60		6		60	16	24	

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny (październik – kwiecień) [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
57	Filarowa Med. Work	Bystra Leśniczówka	45	6-14	5-9	8	30	9	5-10	
35L	Warszawska Dworzec	Warszawska Lipowa	60	23	18		85	37		
35S	Warszawska Dworzec	Warszawska Lipowa	55	12-27	7		65	20		
56bis	Podwale Dworzec	Janowice Nikłowska Pętla	-				P1		9	
D	Hałcnów Kościół	Krzemionki Witosza	30	27	2	1-5	P1	9		

Źródło: Opracowanie własne

4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W rozdziale 4 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 oraz 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 najlepszych wariantów do dalszych części analiz kosztów i korzyści.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych w sieci komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej 128 pojazdach, wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi⁶:

- w terminie od 01.01.2021 r. – 7 pojazdów (tj. 5% spośród posiadanej liczby autobusów),
- 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%).

⁶ Obliczając liczbę wymaganych autobusów zeroemisyjnych, przyjęto metodę zaokrąglania w górę do pełnych jedności dla wartości z ułamkami.

4.1 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

Wśród pojazdów zeroemisyjnych coraz większą popularność zyskują autobusy o napędzie elektrycznym opartym o ogniwa paliwowe. Do końca pierwszego kwartału br. w Europie pojawiło się ponad 70 takich pojazdów, którymi przejechano ponad 10 mln km. Rozwiązanie to jest atrakcyjne nie tylko ze względu na korzyści związane z ochroną środowiska (w wyniku utleniania wodoru powstaje tylko para wodna), ale także na brak konieczności inwestowania w dodatkową infrastrukturę do doładowywania pojazdu w trakcie wykonywania zadania. Najważniejszą inwestycją infrastrukturalną jest

stacja tankowania wodoru (HRS), która umiejscowiona może być, np. na terenie zajezdni autobusowej. Obecnie autobusy napędzane wodorem są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak Londyn, Hamburg, Oslo, Mediolan czy Kolonia. Są to niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk, ale ich liczba wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie pojawi się co najmniej 60 kolejnych autobusów napędzanych wodorem⁷. Warto też wspomnieć o niedawnym zamówieniu na 40 autobusów złożonym wspólnie przez Kolonię i Wuppertal⁸.

Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie

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

Źródło: Opracowanie własne

4.1.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy napędzane energią pochodzącą z czystego wodoru różnią się od klasycznych autobusów elektrycznych tym, że głównym źródłem prądu elektrycznego są ogniwa wodorowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję wspomagającą (są doładowywane w trakcie jazdy). Rozwiązanie to jest korzystniejsze ze względu na krótki czas tankowania i wydajność autobusu wyposażonego w ogniwa

paliwowe. Zbiorniki na wodór umieszczane na dachu autobusu mają pojemność 35-40 kg, co wystarcza na przejechanie ok. 450 km, bez konieczności doładowania akumulatora na trasie (jak to ma miejsce w przypadku obecnie eksploatowanych pojazdów elektrycznych akumulatorowych). Tankowanie zajmuje około

⁷ <https://fuelcellsworld.com/news/a-total-of-62-hydrogen-powered-buses-will-soon-be-deployed-in-four-european-cities>, dostęp 18.07.18

⁸ <https://www.hyvolution-event.com/en/40-hydrogen-buses-order-van-hool>, dostęp 18.07.18

10 minut, a wodór przechowywany jest w pojemnikach pod ciśnieniem ok. 35 MPa.

Eksploatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością budowy odpowiedniej infrastruktury do tankowania, jako że obecnie w Polsce nie ma stacji tankowania wodorem. Utrudnieniem jest także brak

dystrybucji czystego wodoru na potrzeby transportowe. Pojawiły się natomiast pierwsze porozumienia mające na celu stworzenie infrastruktury do ładowania takich pojazdów.⁹

Tab. 4.2 przedstawia poszczególne parametry autobusów zaprojektowanych przez polskich producentów.

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

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
Solaris Urbino 18,75	18,75 m	2014	120 kWh	101 kW	300 km	105 pasażerów
Ursus Demo Hydrogen (elektryczny na wodorowe ogniwa paliwowe)	12 m	2017	70 kWh	226 kW (silniki w piastach kół) 120 kW (silnik na osiach)	450 km	20 tys. h pracy, 700 tys. km przebiegu, ok. 80 pasażerów
Solaris Urbino 12 Hydrogen	12 m	2019	29,2 kWh	2 x 60 kW	ponad 350 km	ok. 80 pasażerów

Źródło: Opracowanie własne

4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów napędzanych wodorem, obejmują koszty zakupu taboru jak i infrastruktury niezbędnej do tankowania pojazdu. Według planu firmy Solaris Bus & Coach S.A., który dotyczy eksploatacji autobusów napędzanych wodorem, koszt takiego pojazdu klasy MAXI wynosi od 750 tys. do 1 mln euro. Solaris jest w trakcie realizacji wartego 18 mln euro kontraktu na dostawę 10 przegubowych, 18,75 metrowych trolejbusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi i 10 napędzanych wodorem 12 metrowych autobusów dla łotewskiej Rygi.¹⁰

Docelowo cenę zakupu jednego autobusu napędzanego wodorem szacuje się na 500 tys.

euro. Cena takiego pojazdu zależy od wielkości zamówienia. Na Rys. 4.1 przedstawiono koszty budowy podzespołów elektrycznych ogniw paliwowych 12-metrowego autobusu, o mocy 60 kW. Są to kwoty, jakich oczekuje się przy eksploatacji taboru do roku 2020, co pozwala na redukcję tych obecnych nawet do 40%. Dr Frank Koch z Energie Agentur NRW, agencji zajmującej się ekspertyzami energetycznymi dla Nadrenii Północnej – Westfalii, szacuje, że koszty zakupu autobusu typu MAXI (12-13,5 m) kształtują się w okolicy 650 tys. euro, a za autobus przegubowy do 1 miliona euro.¹¹ Ceny te również pojawiają się w materiałach i podręczniku promującym

⁹ Miasto Gdynia i Grupa Lotos podpisały list intencyjny dotyczący ewentualnych dostaw wodoru (data podpisania 3 kwietnia 2018 r.)

¹⁰ <https://skaties.lv/zinas/latvija/rigas-satiksme-teres-18-miljonus-lai-nopirkto-jaunus-udenraza-autobusus-un-trolejbusus/>, dostęp 18.07.18

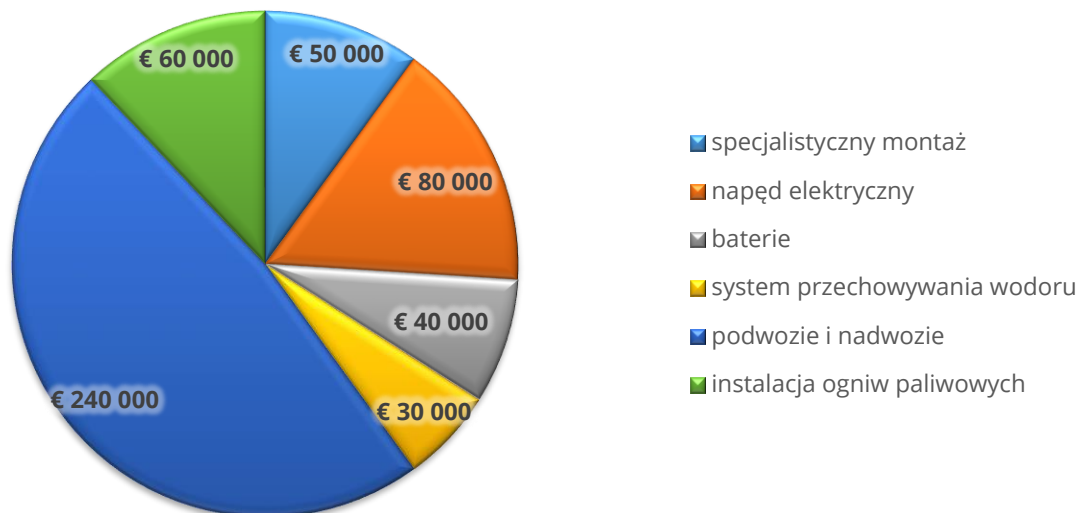
¹¹ https://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20160308-fachkonferenz-in-aachen-und-foerderaufuf/frankkoch_energieagrnw_fk-aachen-08-03-2016.pdf, dostęp na 18.07.18

zastosowanie ogniw wodorowych w transporcie publicznym, wspieranym przez UE.¹²

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów napędzanych wodorem o długości 13 m, cena może być niższa. Kontrakt wart był 13 mln euro,

co oznacza, że jeden autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. Rynek autobusów napędzanych wodorem jest młody i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹³. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie 3,21 mln zł netto (0,75 mln euro netto).

Koszt budowy podzespołów elektrycznych ogniw paliwowych



Rys. 4.1 Koszt budowy podzespołów elektrycznych ogniw paliwowych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <https://www.fuelcellbuses.eu>

¹² JIVE and MEHRLIN Performance Assessment Handbook, Stefan Eckert, Michael Faltenbacher, Klaus Stolzenburg, Martin Gallmetzer

¹³ <http://www.rvk.de/das-unternehmen/innovationsfuehrer-rvk/projekt-null-emission.html>, dostęp na 18.07.18

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

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam ¹⁴	2	Van Hool 13m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia	30	Van Hool 13m	13,0mln €	430 tys. €
Aberdeen ¹⁵	10	Van Hool 13m	brak danych	~500 tys. £ ≈ 560 tys. €
Oslo ¹⁶	10	Brak danych	38mln NOK ≈ 14mln €	~1,4mln €

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykułów branżowych.

4.1.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów

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

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

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

(produkcja na miejscu, dostawa w formie płynnej lub gazowej)¹⁷ i wymagań, jakie stawiają założenia odnośnie taboru i jej użytkowników. Według danych opublikowanych przez stowarzyszenie UKH2Mobility, na budowę sieci stacji tankowania wodoru w największych miastach do 2030 roku, potrzeba 418 mln funtów. Kwota ta ma pokryć koszty budowy blisko 1200 stacji, co oznacza, że średnio jedna stacja będzie kosztować 350 tys. funtów, czyli około 400 tys. euro. Opracowanie dr F. Kocha z Energie Agentur NRW określa koszt budowy stacji mogącej obsłużyć sieć do 10 autobusów na 600 tys. euro¹⁸.

¹⁴ <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp 18.07.18

¹⁵ <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses/> dostęp 18.07.18

¹⁶ <https://www.hegner.no/Nyheter/Naeringsliv/2018/07/Ruter-faar-stoette-til-ti-nye-hydrogenbusser-i-Oslo> dostęp 18.07.18

¹⁷ <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing> dostęp 18.07.18

¹⁸ https://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20160308-fachkonferenz-in-aachen-und-foerderaufuf/frankkoch_energieagrnw_fk-aachen-08-03-2016.pdf, dostęp na 18.07.18

W artykułach traktujących o stacjach tankowania wodoru do aut osobowych, padają kwoty między 1, a 2 mln euro¹⁹ Łotewska Ryga za budowę dużej stacji tankowania, mogącej obsługiwać 20 pojazdową flotę autobusów i pojazdy prywatne, zapłaciła 4,5 mln euro²⁰. Inne dane, pochodzące z USA wyceniają koszt budowy jednej dużej stacji na 5 mln dolarów, jednak warto zwrócić uwagę, że są to dane z 2012²¹.

W Polsce ciągle jednak brakuje zdecydowanych działań zmierzających do rozwiązania problemów regulacji prawnych dotyczących punktów tankowania wodoru oraz budowy sieci dystrybucyjnej na szeroką skalę. Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym.

4.1.4 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

Obecnie liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych dynamicznie wzrasta. W pierwszym kwartale 2018 r. w polskich miastach wykorzystywano 89 autobusów elektrycznych akumulatorowych, a kolejnych 105 jest na etapie zakupu i produkcji²². Autobusy elektryczne w Polsce produkuje Solaris Bus & Coach S.A., Ursus Bus S.A. oraz VOLVO POLSKA sp. z o. o.. Autobusy elektryczne akumulatorowe mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych²³, 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 akumulatorów m.in. litowo-jonowych NMC, które charakteryzują się niskimi kosztami, niską masą, ale również niską żywotnością i małym zakresem temperatur pracy (>-10°C) litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je

eksploatować do temperatury -30°C. Powszechne są również akumulatory litowo-tytanowe LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²⁴. Najważniejszymi czynnikami charakteryzującym eksploatację autobusów elektrycznych akumulatorowych jest ich zasięg oraz metoda ładowania. Zasięg maksymalny autobusów eksploatowanych w Polsce waha się między 100 km, a 300 km, jednak ze względu na np. zużycie energii przez klimatyzację lub niską temperaturę (na którą czułe są akumulatory), zasięg eksploatacyjny jest mniejszy. Zasięg pojazdu zależy od liczby zastosowanych akumulatorów, co przekłada się na masę pojazdu: w autobusie Ursus City Smile 10 o zasięgu 240 km, masa akumulatorów wynosi około 2 tony, natomiast w Solarisie Urbino 8,9 o zasięgu do 100 km akumulatory mają masę 1,4t.

Należy zwrócić uwagę, że im większy akumulator oraz masa pojazdu, tym większe średnie zużycie

¹⁹ <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp 18.07.18

²⁰ <https://skaties.lv/zinas/latvija/rigas-satiksme-teres-18-miljonus-lai-nopirkto-jaunus-udenraza-autobusus-un-trolejbusus/>

²¹ https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review12/an020_melaina_2012_o.pdf, dostęp 18.07.18

²² <http://pspa.com.pl/polske-czeka-autobusowa-rewolucja>

²³ *Koncepcja wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych w lubelskiej komunikacji miejskiej*, Poznań 2014

²⁴ *Przegląd aktualnych doświadczeń w eksploatacji autobusów elektrycznych*, MZA Sp.z o.o., Kraków 2017

energii na kilometr. Na podstawie analizy postępowań rynkowych na zakup pojazdów akumulatorowych za najbardziej korzystną pojemność akumulatora uznano:

- dla pojazdu 12 metrowego oscylującą w granicach 160 kWh,
- dla 18 metrowego autobusu ok. 240 kWh.

Jednakże, ze względu na specyficzne ukształtowanie terenu w mieście należy rozważyć zastosowanie w autobusach pojemniejszej baterii dla autobusu klasy MAXI ok. 180 kWh.

Podczas doboru pojemności baterii założono, że dla autobusu 12 metrowego zużycie energii kształtuje się na poziomie 1,5 kWh/km, natomiast dla autobusu 18 metrowego 2,0 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 równolegle 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. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 18 electric

Źródło: Zbiory własne

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

Tab. 4.4 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast

Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowarki zawarte w cenie
Stalowa Wola	Solaris	9m	10	2,046	3x pantografowa i 5x plug-in
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

Źródło: Opracowanie własne

W Tab. 4.4 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 – 1,8 mln zł netto,
- MIDI – 1,9 mln zł netto,
- MAXI – 2,2 mln zł netto,
- MEGA – 2,8 mln zł netto.

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

Koszt zakupu ładowarek plug-in jest stosunkowo niski – koszt jednego urządzenia to około 130 000 zł netto. W celu efektywnego ładowania pojazdów zwykle wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek, zwykle jednej na pojazd (dla urządzeń jednostanowiskowych) lub jednej na dwa pojazdy (dla urządzeń dwustanowiskowych). Stosując ładowarki typu plug-in, bez doładowywania autobusów na

trasie, istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych potrzebnych do obsłużenia zaplanowanych brygad będzie większa niż analogiczna liczba pojazdów spalinowych (autobusy elektryczne akumulatorowe musiałyby zjeżdżać do zajezdni po wykonaniu około 150 km na kilkugodzinne ładowanie).

4.1.6 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. Przy analizie przyjęto założenie, że

jeden autobus elektryczny może przejechać 120 km na naładowanym akumulatorze. Wariant zakłada ładowanie pojazdów jedynie na zajezdni do pełnych akumulatorów.

Tab. 4.5 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MAXI	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	5	52	13	70
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe	2	32	2	36
Przyrost liczby brygad w ruchu		6		6
Liczba brygad w ruchu	7	84	15	106

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy pozwalają na obsługę autobusami elektrycznymi akumulatorowymi 36 brygad – 32 obsługiwanych autobusami klasy MAXI, 2 autobusami klasy MINI oraz 2 autobusami klasy MEGA 18.

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych zaistnieje potrzeba wprowadzenia do obsługi dodatkowo 6

autobusów klasy MAXI. Do obsługi łącznie będą potrzebne 134 pojazdy – o 6 więcej niż obecnie, w tym 44 autobusy z napędem elektrycznym (33%). Rozwiązanie to pozwoli osiągnąć ustawowy wymóg 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych. Przyrost liczby posiadanych autobusów wynika z ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych, który nie pozwala na wymianę autobusów spalinowych w stosunku 1:1.

Tab. 4.6 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	MAXI	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	6	67	17	90
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	2	39	3	44
Stan taboru	8	106	20	134
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	83%	78%	76%	78%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	100%	82%	67%	82%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	25%	37%	15%	33%

Źródło: Opracowanie własne

4.1.7 Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi

Zastosowanie ładowarek pantografowych na trasie linii obsługiwanych taborem elektrycznym akumulatorowym przyczynia się do znaczącego zwiększenia pokonywanych kilometrów, przez co ogranicza się ryzyko wcześniejszego powrotu 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, ponadto 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 *Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w barwach PKM Jaworzno*

Źródło: Zbiory własne

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

Analogicznie jak w modelu wyłącznie z ładowarkami plug-in wykonana została pogłębiona analiza rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od operatora komunikacji miejskiej oraz analiza wielokryterialna linii. Model oparty o ładowanie

pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, oprócz budowy stacji wolnego ładowania na terenie zajezdni, zakłada budowę ładowarek na terenie miasta w wybranych lokalizacjach. Przy analizie przyjęto następujące założenia:

- linie z przeznaczeniem do elektryfikacji zdefiniowano tak, aby w godzinach szczytów łączna liczba kursujących na nich brygada była zbliżona do wymaganej liczby autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora licząc na dzień 01.09.2018 r., przy założeniu, że wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych akumulatorowych będzie wynosił w dzień roboczy 90%,
- przyjęto, że preferowane do elektryfikacji są linie z niższymi prędkościami komunikacyjnymi oraz przebiegające przez:
 - zabytkowe centrum miasta,
 - największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,
 - węzły przesiadkowe o charakterze lokalnym lub międzyregionalnym,
- większość trasy znajduje się w granicach administracyjnych miejscowości o statusie miejskim,
- lokalizację infrastruktury szybkiego ładowania wyznaczono z pominięciem krańców położonych na terenach prywatnych oraz poza granicami miasta-organizatora, w związku z czym preferowane są linie z krańcami zlokalizowanymi na terenach gminy – organizatora,
- ściśle oceniono długości postojów na krańcach w przedstawionych kluczowych porach poszczególnych typów dni, które dla określonych linii powinny zostać odpowiednio wydłużone, zakładając konieczność zachowania odpowiedniej rezerwy czasowej na doładowywanie autobusów,
- założono, że trasy nie będą modyfikowane, a niewykorzystywane autobusy elektryczne akumulatorowe poza godzinami szczytów komunikacyjnych będą kierowane do obsługi innych linii,
- przyjęto, że preferowane do elektryfikacji są linie kursujące we wszystkie miesiące roku,
- wyżej ocenione zostały linie posiadające co najmniej 1 kraniec, na którym kończą bieg wszystkie kursy oraz posiadające wspólny kraniec z innymi liniami,
- preferowane są linie, które są obsługiwane przez typy autobusów przeznaczonych do wymiany oraz z jednym dominującym typem taboru,
- wyższą ocenę otrzymały linie obsługiwane przez brygady niekursujące na innych liniach w szczytach przewozowych,
- ze względu na ukształtowanie terenu w mieście Bielsko-Biała, dodatkowo przeanalizowano i oceniono profile pionowe i przewyższenia występujące na trasach linii komunikacyjnych,
- preferowano linie przejeżdżające przez skrzyżowania objęte systemem ITS,
- 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; założono, że nawet jeśli zwiększy się liczba pojazdów w ruchu przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny w ruchu będzie wyższa o 15% w porównaniu do użytkowanych pozostałych autobusów spalinowych.

- elektryfikacja może objąć wyłącznie linie, na trasach których nie znajdują się bariery infrastrukturalne ograniczające dopuszczalną wysokość pojazdów do poziomu min. 3,3 m (wiadukty, tunele, linie napowietrzne etc.); w sieci komunikacji miejskiej w Bielsku - Białej przykładem takiej bariery jest wiadukt linii kolejowej nad ul. Mazańcowicką, który uniemożliwia wprowadzenie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych na liniach 29, 32, 33 i 51.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej elektryfikacji wybrano linie: 1, 2, 4, 10, 15, 28 i 30, natomiast częściowej elektryfikacji podlegać będą linie 3 oraz 50.

Uzupełniając autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały linie 20, 21 oraz 24 w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy na liniach całkowicie lub częściowo zelektryfikowanych.

Wyznaczono również lokalizację ładowarki terenowych z funkcjonalnością szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu:

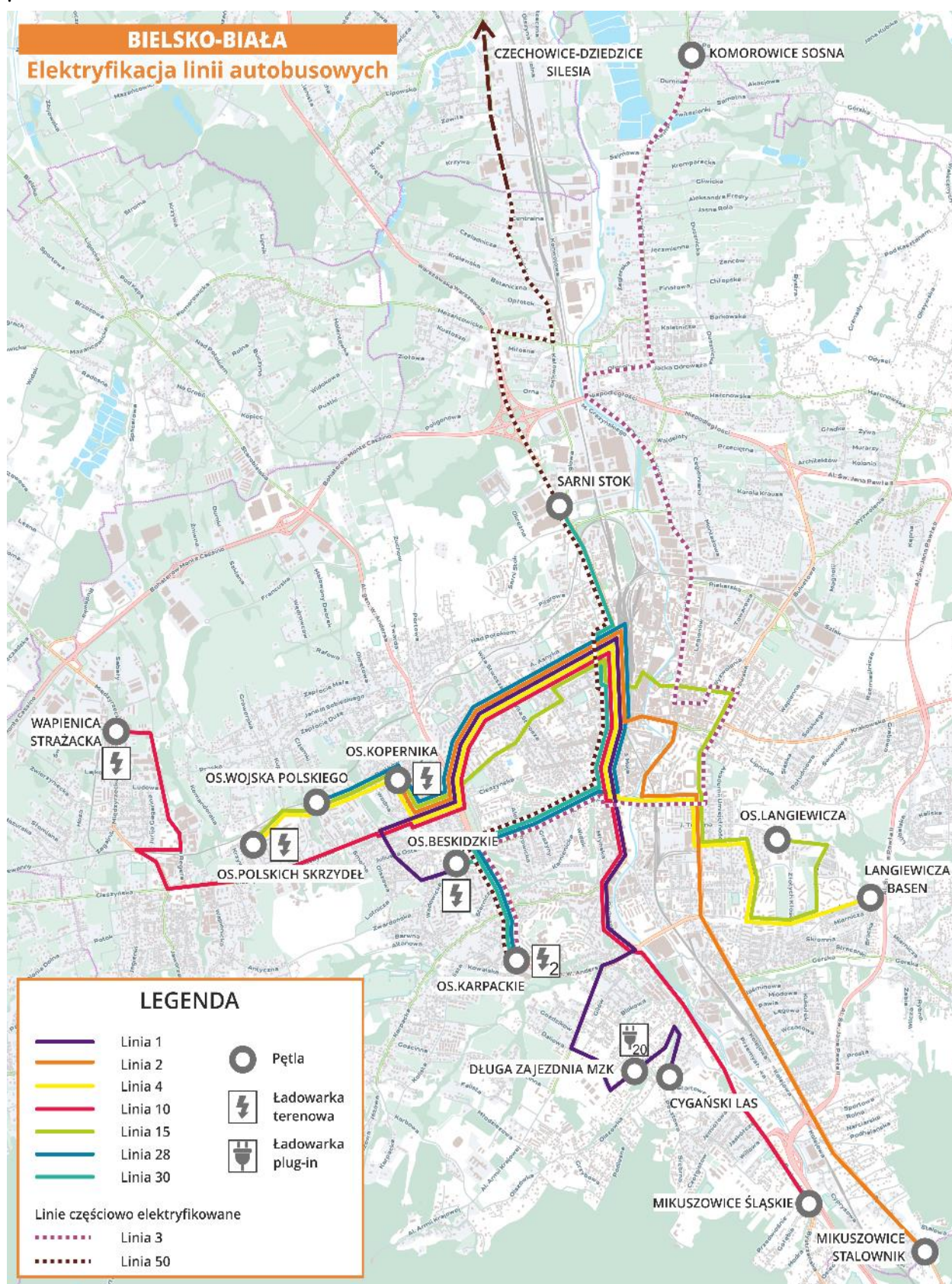
- 2 ładowarki na pętli „Os. Karpackie”
- 1 ładowarka na pętli „Os. Beskidzkie”,
- 1 ładowarka na pętli „Os. Polskich Skrzydeł”,
- 1 ładowarka na pętli „Osiedle Kopernika”,
- 1 ładowarka na pętli „Wapienica Strażacka”.

Do zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na elektryfikowanych liniach niezbędnych będzie 6 stacji szybkiego ładowania, dedykowanych dla 35 autobusów elektrycznych w ruchu.



Rys. 4.4 Ładowarka pantografowa i autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w malowaniu ZTM Warszawa

Źródło: Zbiory własne



Rys. 4.5. Elektryfikacja linii autobusowych

Źródło: Opracowanie własne

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych, niwelowany przez możliwość ich doładowywania ładowarkami pantografowymi, liczba autobusów

w ruchu wzrośnie. Linie 1, 2, 3, 4, 10, 15, 28, 30 oraz 50 obecnie obsługują maksymalnie 37 brygad w dzień roboczy, w godzinach szczytu przewozowego. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu o utrzymaniu obecnie stosowanych częstotliwości kursowania, liczba autobusów obsługujących wskazane linie

wzrośnie łącznie o 6 sztuk z uwagi na konieczność wydłużenia wybranych postojów wyrównawczych na doładowanie pojazdów przy użyciu ładowarki pantografowej. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie zatem o 6 sztuk – z poziomu 100 brygad do 106 brygad w dzień roboczy szkolny.

Tab. 4.7 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	5	62	3	70
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:		19	17	36
w tym na linii 1		6		
w tym na linii 2		5		
w tym na linii 3 (częściowo)			3	
w tym na linii 4			6	
w tym na linii 10		1	6	
w tym na linii 15		3		
w tym na linii 28		3	1	
w tym na linii 30		1		
w tym na linii 50 (częściowo)			1	
Przyrost liczby brygad w ruchu				
Liczba brygad w ruchu	5	81	20	106

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych pojazdów, przyrost wielkości floty operatora będzie niższy. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 134 pojazdów – o 6

więcej niż obecnie, w tym 41 autobusów o napędzie elektrycznym (31%). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych dla obecnego ilostanu operatora (41 sztuk stanowiących 31% spośród 134 użytkowanych pojazdów).

Tab. 4.8 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu

Wariant W3	MINI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	9	80	4	93
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe		22	19	41
Stan taboru	9	102	23	134
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	56%	78%	75%	75%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	86%	89%	88%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	22%	83%	31%

Źródło: Opracowanie własne

4.2 Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów

4.2.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów

Obecnie w Polsce istnieją trzy systemy trolejbusowe: w Gdyni, Lublinie oraz w Tychach. Trolejbusy w Polsce korzystają z sieci trakcyjnych z prądem stałym o napięciu 600 V. Oprócz tego do funkcjonowania komunikacji trolejbusowej potrzebne są podstacje trakcyjne oraz zaplecza techniczne (zajezdnia trolejbusowa). Na przykładzie Gdyni, sieć trakcyjna jest zasilana w 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 w Gdyni i w Lublinie

dokonano zakupu 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 10-20 kilometrów. Pozwala to na obsługę obszarów na którym nie ma trolejbusowej sieci trakcyjnej. 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.

4.2.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 roku w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup trolejbusów, tym razem na 15 sztuk klasy MEGA18. Wyposażenie trolejbusów to: klimatyzacja, system monitoringu, biletomaty, bramki zliczające oraz port USB w przestrzeni pasażerskiej. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²⁵. W 2018 roku, także w Lublinie przeprowadzono postępowanie na zakup taboru – 10 sztuk trolejbusów klasy MAXI. Wymogi dotyczące Warto podkreślić, że jedynie w tym postępowaniu wystartował tylko jeden oferent. Zakupu nowego taboru dokonano także w trzecim systemie trolejbusowym – w Tychach,

wyposażenia pojazdów były podobne, jak w postępowaniu przeprowadzonym w 2018 roku. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 70 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 2,17 mln zł brutto²⁶. W Gdyni w 2018 roku zakupiono 14 sztuk trolejbusów 12 metrowych z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 pojazdów MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy trolejbus MEGA18, kosztował 3,15 mln zł brutto²⁷.

gdzie rozpisano przetarg na dostawę trzech pojazdów klasy MAXI z bateriami nie mniejszymi niż 55 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,29 mln zł brutto²⁸.

4.2.3 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 technicznego²⁹. Dokonano także rozbudowy sieci trakcyjnej dla trolejbusów. 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)³⁰. W Tychach 1 km trakcji (w jedną stronę), budowa jednej stacji transformatorowo - prostownikowej, przebudowa sieci trakcyjnej na jednym skrzyżowaniu z połączeniem projektowanej sieci z istniejącą siecią kosztowała 8,73 mln zł brutto³¹.

²⁵ <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: 10.07.2018)

²⁶ <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: 10.07.2018)

²⁷ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html> (dostęp: 10.07.2018)

²⁸ <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727> (dostęp: 10.07.2018)

²⁹ http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184 (dostęp: 10.07.2018)

³⁰ <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczone/2016/2016-12-14-roboty-budowlana-przetarg-nieograniczony-na-budowe-trakcji-trolejbusowej-w-ul-j.-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-j.-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-j.-pawla-ii-i-ul-/> (dostęp: 10.07.2018)

³¹ <https://bazakonkurencyjnosci.gov.pl/publication/view/1082889#infowyk> (dostęp: 10.07.2018)

4.2.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Bielsku-Białej

W etapie docelowym udział pojazdów zeroemisyjnych powinien wynosić 30%. MZK Bielsko-Biała posiada w swojej flocie 131 pojazdów (102 pojazdy w ruchu), co oznacza, że powinna posiadać 40 pojazdów zeroemisyjnych (32 w ruchu, zakładając ten sam poziom wskaźnika wykorzystania autobusów co obecnie). Wymianę autobusów spalinyowych na trolejbusy założono w stosunku 1 do 1. Optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby 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 12m i 11 MEGA 18m). Trasa linii 1, 8 oraz 28 w całości będzie pokryta siecią trakcyjną, natomiast linie 2, 4, 10, 20 i 34 odcinkowo 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 zakłada się kursowanie trolejbusów z napędem pomocniczym. Linia 2 nie będzie posiadała 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 nie będą miały trakcji na kursach wariantowych od ulicy Międzyrzeckiej do Wapienicy Parku Przemysłowego. Linia 16 nie będzie posiadała trakcji na ulicy Jaworzańskiej i Zaporą, aż do przystanku Wapienica Zaporą oraz na kursach wariantowych od przystanku Warszawska Dworzec do przystanku Warszawska Fiat. Natomiast linia 34 funkcjonować będzie bez trakcji na ulicy Bora-Komorowskiego. Wyjazdy z zajezdni będą 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. 4.9 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
Maxi 12m	1,80 mln zł	26	46 800 000 zł
Mega 18m	2,05 mln zł	14	28 700 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Do obsługi liniowej przewidziane są 32 trolejbusy:

- 21 klasy MAXI,
- 11 klasy MEGA,

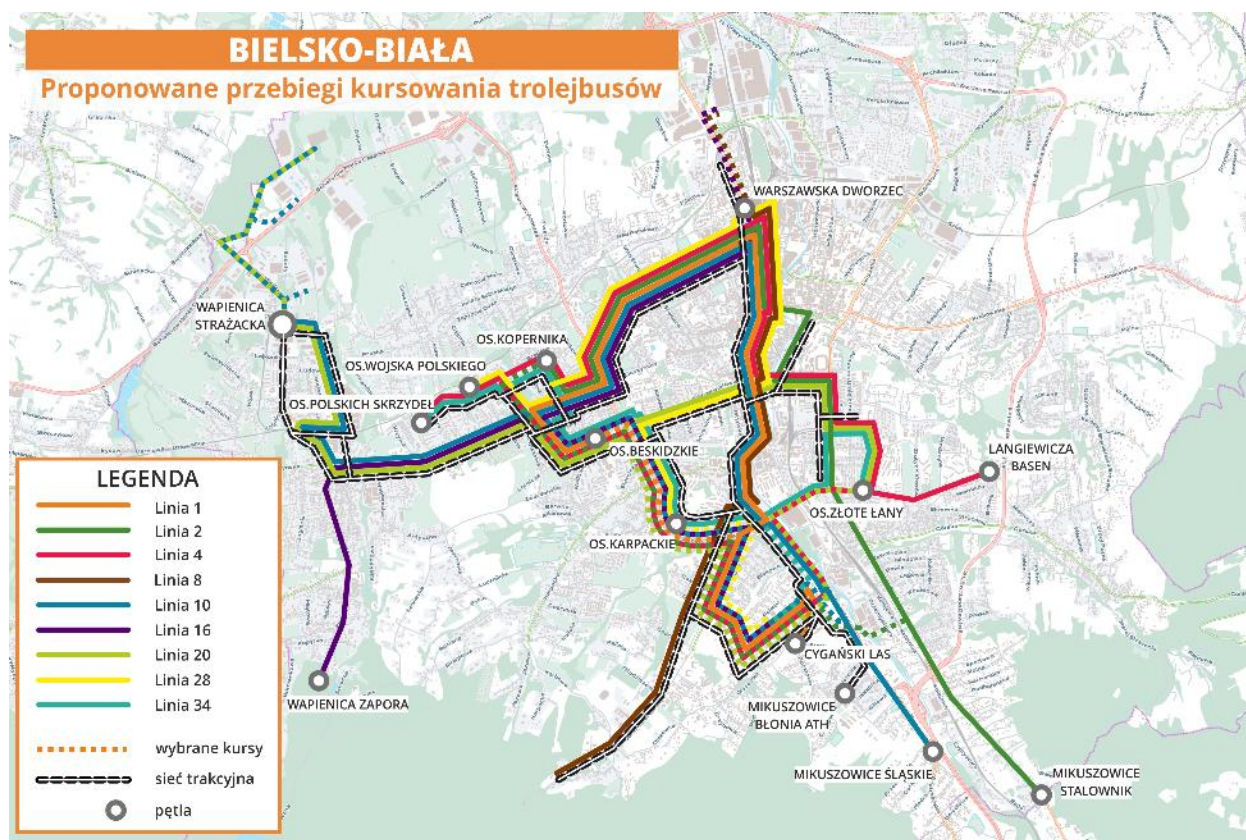
w tym również rezerwę 8 sztuk (5 sztuk MAXI, 3 sztuki MEGA). Koszt budowy 1km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto.

Istotnym elementem są podstacje trakcyjne, które powinny być rozmieszczone co około 3 km – koszt budowy 1 podstacji prognozuje się na poziomie około 2,1 mln zł netto. Poniżej zestawiono łączne koszty uruchomienia trakcji trolejbusowej w komunikacji miejskiej w Bielsku-Białej.

Tab. 4.10 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	75,50 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	134,00 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	25,20 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	246,90 mln zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.6 Schemat proponowanych przebiegów kursowania trolejbusów

Źródło: Opracowanie własne

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

Eksplotacja wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym (uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne) pozwala uniknąć nakładów finansowych na dodatkową infrastrukturę do obsługi pojazdów zeroemisyjnych – budowę sieci

trakcyjnej dla trolejbusów, stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem, czy ładowarek do autobusów elektrycznych akumulatorowych. 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 normę spalania EURO 6. Na podstawie ostatnich przetargów można założyć koszt pojedynczego autobusu klasy MAXI na poziomie około 0,95 mln zł netto za autobus, a klasy MIDI

0,85 mln zł netto. Koszt jednostkowy pojazdu klasy MEGA18 wynosi około 1,4 mln zł netto. Ze względu na brak przetargów w ostatnim czasie na autobusy klasy MEGA 15 – na potrzeby analizy przyjęto, że pojedynczy pojazd kosztuje 1,05 mln zł netto.

Tab. 4.11 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MAXI	22	0,95 mln zł	20,90 mln zł
MEGA	19	1,40 mln zł	26,60 mln zł
Koszt całkowity inwestycji:			47,50 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

4.4 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 taboru i możliwość używania pojazdów na innych liniach,

■ społeczny

- liczba potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taboru,

- 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.

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

Tab. 4.12 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom

l.p.	Aspekt		Waga aspektów szczegółowych		Waga aspektu
			Częstkowa	Łączna	
1.1	Techniczny	łatwość wprowadzenia	0,25	1,00	0,3
1.2		zasięg	0,30		
1.3		elastyczność zarządzania taborem	0,45		
2.1	Społeczny	liczbę potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taborem	0,40	1,00	0,1
2.2		potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym	0,60		
3.1	Dostępność technologiczna	dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	1,00	0,2
4.1	Środowiskowy	emisja spalin	0,50	1,00	0,2
4.2		emisja hałasu	0,50		
5.1	Ekonomiczno-finansowy	koszt wprowadzenia	1,00	1,00	0,2

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 4.13 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

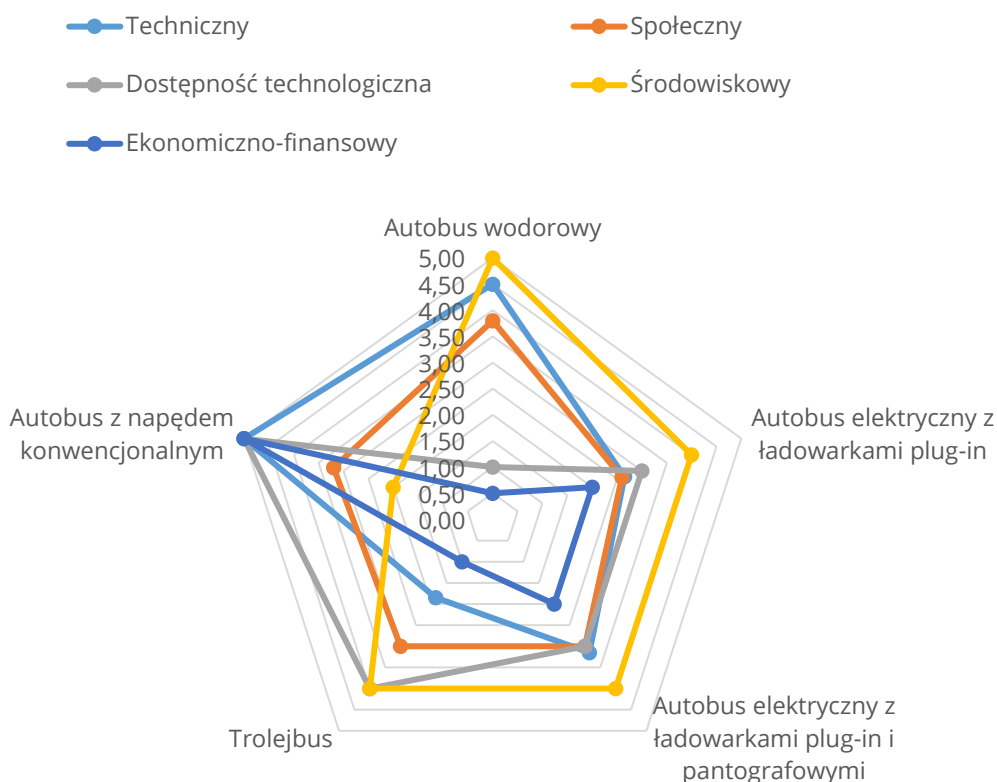
Aspekt szczegółowy	Ocena				
	Autobus napędzany wodorem	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi	Trolejbus	Autobus z napędem konwencjonalnym
łatwość wprowadzenia	3,00	4,00	3,00	2,00	5,00
zasięg	5,00	1,00	2,00	3,00	5,00
elastyczność zarządzania taborem	5,00	3,00	4,00	1,00	5,00

liczbę potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taborem	5,00	2,00	3,00	3,00	5,00
potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00
dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00
emisja spalin	5,00	3,00	3,00	3,00	2,00
emisja hałasu	5,00	5,00	5,00	5,00	2,00
koszt wprowadzenia	0,50	2,00	2,00	1,00	5,00

Źródło: Opracowanie własne

Następnym etapem analizy było przemnożenie poszczególnych ocen wariantów przez wagi aspektów szczegółowych.

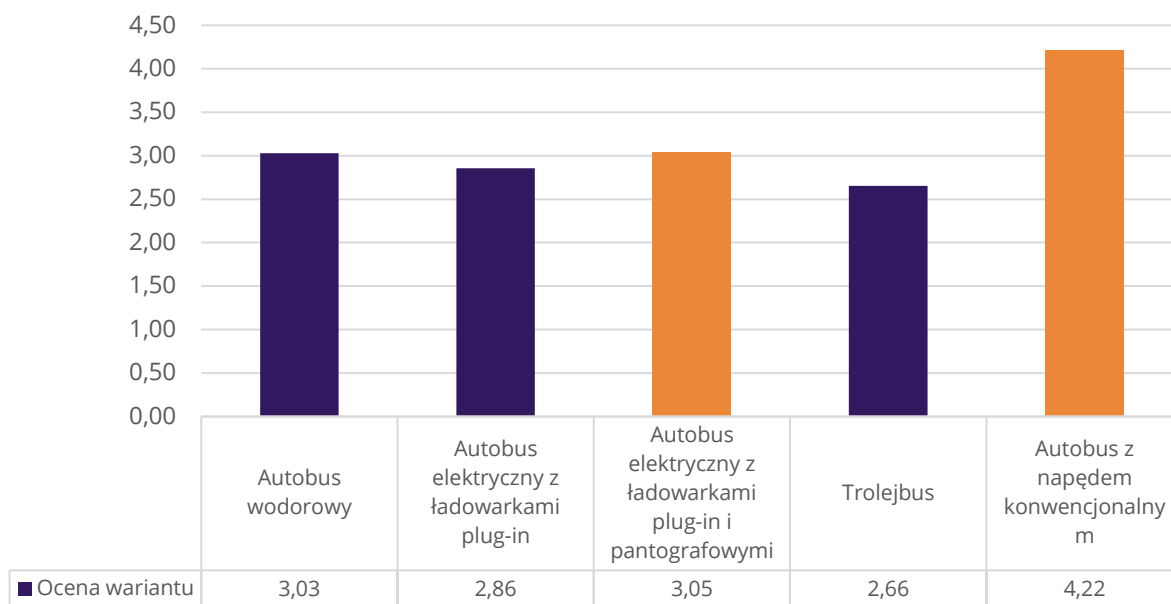
Ocena wariantów w poszczególnych aspektach



Rys. 4.7 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.8 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 dużą przewagą okazały się autobusy z napędem konwencjonalnym z oceną na poziomie 4,22. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 3,05. Powyższe dwa warianty będą poddane szczegółowej analizie w następnych rozdziałach.**

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

- **W0 – wariant bazowy, oparty o odtwarzanie autobusów w oparciu o obecnie stosowane napędy,**
- **W1 – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów o napędzie elektrycznym, doładowywanych na krańcach energii z ładowarek pantografowych.**

Tab. 4.14 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w Bielsku-Białej komunikacji miejskiej.

Wariant W0	Wariant W1
Odnowa floty w oparciu o autobusy spalinowe.	Wprowadzenie do eksploatacji 41 szt. autobusów elektrycznych Całościowo elektryfikowane linie: 1, 2, 4, 10, 15, 28, 30 Częściowo elektryfikowane linie: 3, 50 Uzupełniające elektryfikowane linie: 20, 21, 24 Budowa 21 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 6 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania przy pętli Os. Polskich Skrzydeł (1 szt.), Os. Beskidzkie (1 szt.), Os. Kopernika (1 szt.), Wapienica Strażacka (1 szt.), Os. Karpackie (2 szt.), Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe.

Źródło: Opracowanie własne

4.5 Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru linii do elektryfikacji

W niniejszym podrozdziale została przeprowadzona analiza wielokryterialna wyboru linii do elektryfikacji. Podstawą oceny była metoda ekspercka oparta o doświadczenie i opinie operatorów komunikacji miejskiej działających na obszarach o analogicznej charakterystyce w stosunku do Bielska-Białej. Na potrzeby analizy oceniono w skali od 1 do 5 poszczególne warianty pod względem następujących aspektów jakościowych:

■ Techniczno - eksploatacyjnych

- preferowane są linie o łagodnych profilach pionowych trasy
- prędkość komunikacyjna,
- linia kursuje we wszystkie miesiące roku,
- stosunek liczby brygad w ruchu w szczycie do godzin pozaszczytowych,
- oba podstawowe krańce nie znajdują się na terenach prywatnych oraz poza granicami miasta - operatora,
- jeden z krańców jest przystankiem początkowo-końcowym dla wszystkich kursów,
- jeden z krańców podstawowych na terenach gminnych jest obsługiwany przez co najmniej 2 linie,
- co najmniej 66% kursów w dzień roboczy obsługują autobusy produkowane w wersji elektrycznej,

- obsługa linii przez typy autobusów zaplanowanych do wymiany przed 2028r.,
- zróżnicowanie typów taboru obsługujących linię,
- przejazd przez skrzyżowania z planowanym ITS,
- preferowane są linie obsługiwane przez brygady niekursujące na innych liniach w szczytach przewozowych,

■ Społecznych

- przebieg przez zabytkowe centrum,
- przejazd przez węzeł przesiadkowy o znaczeniu lokalnym,
- przejazd przez węzeł przesiadkowy o znaczeniu międzyregionalnym,
- większość trasy przebiega w granicach miastach (min. 50% wariantu podstawowego),
- Przebieg przez duże osiedla mieszkaniowe (5 punktów blokowiska po 2 stronach, 1 punkt bez Śródmieścia ościenna lub promienista ze wsi, 2 punkty promienista z blokowisk lub średnicowa przez wsie, 3 punkty średnicowa blokowiska - wieś, 4 punkty średnicowa blokowiska-osiedle bez wieżowców),

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi. Przy przypisywaniu wag kierowano się opiniami organizatorów i operatorów korzystających z autobusów o napędzie elektrycznym.

Tab. 4.15 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom

	Aspekt		kryterium szczegółowe	Waga	
				cząstkowa	łącznie
1.1	Techniczno - eksploatacyjny	Preferowane są linie z niższymi prędkościami komunikacyjnymi	Prędkość komunikacyjna	0,05	1,00
1.2		Zakres funkcjonowania linii w przekroju roku	Linia kursuje we wszystkie miesiące roku	0,05	
1.3		Zróżnicowanie liczby brygad w ciągu dnia	Stosunek liczby brygad w ruchu w szczycie do godzin pozaszczytowych	0,10	
1.4		Własność przystanków krańcowych, na których może odbywać się szybkie ładowanie autobusów	Oba podstawowe krańce nie znajdują się na terenach prywatnych oraz poza granicami miasta - organizatora	0,05	
1.5		Preferowane są linie mające wspólne krańce podstawowe z innymi liniami	Jeden z krańców jest przystankiem początkowo-końcowym dla wszystkich kursów	0,05	
1.6			Jeden z krańców podstawowych na terenach gminnych jest obsługiwany przez co najmniej 2 linie	0,05	
1.7		Obsługa linii przez typy autobusów dostępne na rynku autobusów elektrycznych	Co najmniej 66% kursów w dzień roboczy obsługują autobusy produkowane w wersji elektrycznej		
1.8		Preferowane są linie, które są obsługiwane przez typy autobusów planowane do wymiany	Obsługa linii przez typy autobusów zaplanowanych do wymiany przed 2028 r.	0,05	
1.9		Preferowane linie z jednym dominującym typem taboru	Zróżnicowanie typów taboru obsługujących linię	0,10	
1.10		Preferowane są linie obsługiwane przez brygady niekursujące na innych liniach w szczytach przewozowych		0,05	

	Aspekt		kryterium szczegółowe	Waga	
				częstkowa	łączna
1.11		Preferowane są linie o łagodnych profilach pionowych trasy		0,40	
1.12		Preferowane są linie, które będą przejeżdżały przez skrzyżowania objęte systemem ITS	Przejazd przy skrzyżowania z planowanym ITS	0,05	
2.1	Społeczny	Preferowane są linie o łagodnych profilach pionowych trasy Preferowane są linie, które będą przejeżdżały przez skrzyżowania objęte systemem ITS Na aspekt społeczny składa się ocena przebiegu linii przez zabytkowe centrum miasta i obok dużych generatorów ruchu, a także duże osiedla mieszkaniowe	Przebieg przez zabytkowe centrum	0,25	1,00
2.2			Przejazd przez węzeł przesiadkowy o znaczeniu lokalnym	0,05	
2.3			Przejazd przez węzeł przesiadkowy o znaczeniu międzyregionalnym	0,05	
2.4			Większość trasy przebiega w granicach miasta (min. 50% wariantu podstawowego)	0,05	
2.5			Przebieg przez duże osiedla mieszkaniowe (5 punktów blokowiska po 2 stronach, 1 punkt bez Śródmieścia ościenna lub promienista ze wsi, 2 punkty promienista z blokowisk lub średnicowa przez wsie, 3 punkty średnicowa blokowiska - wieś, 4 punkty średnicowa blokowiska-osiedle bez wieżowców)	0,60	

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.16 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane aspektom

	waga
Techniczno-eksploatacyjny	80%
Społeczny	20%
Suma:	100%

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.17 Analiza wielokryterialna – oceny końcowe dla każdej linii – część pierwsza

	D	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Techniczno - eksploatacyjny	1,76	3,64	3,72	3,56	3,52	3,24	2,64	2,64	2,80	3,96	2,48	2,96	3,36	2,72	3,60	3,32
Społeczny	0,24	0,88	1,00	0,80	1,00	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,80	0,76	0,60	1,00	0,60
Suma ocen	2,00	4,52	4,72	4,36	4,52	4,12	3,52	3,52	3,68	4,84	3,36	3,76	4,12	3,32	4,60	3,92

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.18 Analiza wielokryterialna – oceny końcowe dla każdej linii – część druga

	17	18	19	20	21	22	23	24	24BIS	25	26	27	28	29	30
Techniczno - eksploatacyjny	2,84	3,24	2,68	3,12	2,40	3,36	2,68	3,04	2,72	3,04	2,60	2,40	3,88	3,20	3,80
Społeczny	0,72	0,76	0,48	0,72	0,72	0,88	1,00	0,76	0,76	0,48	0,88	0,88	1,00	0,60	0,88
Suma ocen	3,56	4,00	3,16	3,84	3,12	4,24	3,68	3,80	3,48	3,52	3,48	3,28	4,88	3,80	4,68

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.19 Analiza wielokryterialna – oceny końcowe dla każdej linii – część trzecia

	31	32	33	34	35L	35S	36	37	38	50	51	52	56	56BIS	57
Techniczno - eksploatacyjny	3,04	3,76	2,80	2,60	2,60	2,60	2,24	2,84	3,20	3,44	3,36	2,56	2,64	2,24	2,12
Społeczny	0,84	0,60	0,76	0,60	0,76	0,76	0,60	0,88	1,00	0,88	0,76	0,76	0,72	0,72	0,76
Suma ocen	3,88	4,36	3,56	3,20	3,36	3,36	2,84	3,72	4,20	4,32	4,12	3,32	3,36	2,96	2,88

Źródło: Opracowanie własne

Podczas wyboru linii (celem wprowadzenia do jej obsługi taboru zeroemisyjnego) autorzy niniejszej analizy oprócz ogólnej punktacji końcowej otrzymanej w ramach analizy MCA, brali pod uwagę liczbę brygad i pojazdów w ruchu, które w chwili obecnej obsługują daną

linię, tak aby dobrać optymalną ilość brygad w ruchu (celem spełnienia założeń wynikających bezpośrednio z ustawy o elektromobilności i pojazdach alternatywnych. Dlatego do elektryfikacji wybrane zostały linie: 1, 2, 4, 10, 15, 28 oraz 30

5 Analiza finansowa

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

5.1 Założenia i metodyka analizy finansowej

- Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji.
- Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego, danymi z dokumentacji technicznej, kosztorysów oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.
- Analiza została przeprowadzona w latach 2018-2042.
- W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 4%.
- Analiza została przeprowadzona w cenach stałych i nie uwzględnia wpływu inflacji.
- Analizę sporządzono w cenach netto (bez podatku VAT).
- Analiza została przeprowadzona w oparciu o model różnicowy
- Prognoza finansowa została przeprowadzona w okresach rocznych.
- Pierwsze nakłady inwestycyjne w projekcie zostaną podjęte w 2020 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2021 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 – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej. W 2017 r. z usług Bielsko-Białej komunikacji miejskiej skorzystało łącznie 15,73 mln pasażerów³².
- Autobusy elektryczne akumulatorowe realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 15% do poziomu średnio ok. 70 tys. wzm. rocznie, kosztem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów.

5.2 Nakłady inwestycyjne

Koszty inwestycyjne zostały oszacowane w oparciu o analizę rynku oraz wiedzę ekspercką osób przeprowadzających analizę. Wszystkie nakłady inwestycyjne zostały podane w kwotach netto. Założono, że lata inwestycji będą zbieżne z okresami przejściowymi w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych

(inwestycje w roku poprzedzającym wejście kolejnego prognozy). Dodatkowo przyjęto założenie, że 1 ładowarka wolnego ładowania przypada na 2 autobusy (w przypadku nieparzystej liczby autobusów wartość zaokrąglono w górę). Większa liczba zakupionych autobusów wynika z ograniczeń technicznych autobusów.

³² Źródło: *Biuletyn IGKM „Komunikacja miejska w liczbach” za rok 2017*

Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantie W1

W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 7 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2020	15 400 000 zł
Budowa 4 ładowarek wolnego ładowania	2020	520 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowych razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej– Os. Beskidzkie oraz Os. Kopernika	2020	1 900 000 zł
Przebudowa i przystosowanie zajezdni do obsługi autobusów elektrycznych	2020	1 700 000 zł
Zakup 7 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	15 400 000 zł
Budowa 3 ładowarek wolnego ładowania	2022	390 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej –Os. Polskich Skrzydeł	2022	950 000 zł
Zakup 3 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m oraz 10 typu MEGA 18 o długości 18m	2024	34 600 000 zł
Budowa 7 ładowarek wolnego ładowania	2024	910 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowych pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Wapienica Strażacka oraz Os. Karpackie	2024	1 900 000 zł
Zakup 5 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m oraz 9 typu MEGA 18 o długości 18m	2027	36 200 000 zł
Budowa 7 ładowarek wolnego ładowania	2027	910 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej –Os. Karpackie	2027	600 000 zł
Suma:		111 380 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

LINIE	Stopień elektryfikacji linii			
	2021 r.	2023 r.	2025 r.	2028 r.
1	CZĘŚCIOWA	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
2	CZĘŚCIOWA	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
4	BRAK	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
10	BRAK	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
15	BRAK	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
28	BRAK	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
30	BRAK	BRAK	PEŁNA	PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

5.3 Wartość nakładów odtworzeniowych

W obu wariantach inwestycyjnych założono ponoszenie nakładów o charakterze odtworzeniowym, które mają na celu utrzymanie poziomu świadczonych usług. Założono, że nakłady będą poniesione zgodnie z planem operatora lub po 15 latach od użytkowania danego pojazdu, o napędzie elektrycznym oraz spalinowym wyprodukowanym przed 2010 r. W przypadku pojazdów młodszych o napędzie konwencjonalnym stopniowo okres eksploatacji zmniejszano do 10 lat, który przyjęto dla autobusów wyprodukowanych po 2018 roku.

Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.2. Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatora stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2030 roku ich cena spadnie o 25% względem dzisiejszej. W Tab. 5.4 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w W0 i W1.

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych

Rodzaj środka trwałego	Okres eksploatacji (żywotności) w latach	Stopień odtworzenia po zakończeniu eksploatacji (żywotności) w %
Zakup autobusów	Autobusy spalinowe i hybrydowe: od 10 do 15 w zależności od roku produkcji, przy czym 10 lat dla wszystkich autobusów wyprodukowanych po 2018 r. (okres zgodny z wytycznymi w Niebieskiej Księdze). Autobusy elektryczne akumulatorowe: 15 lat (połowa długości okresu między cyklem życia autobusu spalinowego na poziomie 10 lat i trolejbusu na poziomie 20 lat, wskazanych w Niebieskiej Księdze)	100%
Infrastruktura energetyczna do ładowania pojazdów	40	100%
Stacje ładowania	30	100%
Akumulatory w autobusach elektrycznych	8	100%

Źródło: Opracowanie własne

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

Rok	2018	2019	2020	2021	2022
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	0,00	5 700 000,00	2 850 000,00	9 500 000,00	3 600 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	0,00	5 700 000,00	2 850 000,00	2 850 000,00	3 600 000,00
Różnica w zł	0,00	0,00	0,00	- 6 650 000,00	0,00

Rok	2023	2024	2025	2026	2027
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	9 500 000,00	4 750 000,00	31 100 000,00	4 750 000,00	600 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	2 850 000,00	1 900 000,00	17 100 000,00	0,00	600 000,00
Różnica w zł	- 6 650 000,00	- 2 850 000,00	- 14 000 000,00	- 4 750 000,00	0,00

Rok	2028	2029	2030	2031	2032
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	51 300 000,00	10 450 000,00	2 850 000,00	9 500 000,00	3 600 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	45 420 000,00	10 450 000,00	8 170 000,00	2 850 000,00	13 710 000,00
Różnica w zł	- 5 880 000,00	0,00	5 320 000,00	- 6 650 000,00	10 110 000,00

Rok	2033	2034	2035	2036	2037
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	9 500 000,00	4 750 000,00	31 100 000,00	4 750 000,00	600 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	2 850 000,00	1 900 000,00	42 910 000,00	0,00	16 000 000,00
Różnica w zł	- 6 650 000,00	- 2 850 000,00	11 810 000,00	- 4 750 000,00	15 400 000,00

Rok	2038	2039	2040	2041	2042
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	51 300 000,00	10 450 000,00	2 850 000,00	9 500 000,00	3 600 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	40 100 000,00	45 050 000,00	2 850 000,00	2 850 000,00	39 800 000,00
Różnica w zł	- 11 200 000,00	34 600 000,00	0,00	- 6 650 000,00	36 200 000,00

Źródło: Opracowanie własne

5.4 Prognoza kosztów operacyjnych wariantów

Do kosztów operacyjnych zaliczono wszystkie koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów elektrycznych akumulatorowych w wariantcie W1. Przed rozpoczęciem analizy, zestawiono dynamikę poszczególnych kosztów eksploatacyjnych w latach 2015-2017 i

porównano z inflacją średnioroczną CPI. Największy wzrost kosztów odnotowano w pozycji konserwacji i napraw bieżących (wzrost o 84,88%) oraz ubezpieczeń pojazdów (wzrost o 16,91%), które znacząco wyprzedziły poziom inflacji na poziomie 1,59%.

Tab. 5.5 Dynamika kosztów eksploatacyjnych

Koszt	Dynamika 2017/2015	Inflacja 2017/2015
części zamienne, materiały pomocnicze	1,21%	1,59%
materiały pędne (olej napędowy)	0,55%	
oleje, płyny i smaru	-1,04%	
ogumienie	-29,24%	
ubezpieczenia pojazdów	16,92%	
konserwacje i naprawy bieżące (usługi zewnętrzne)	84,88%	
wynagrodzenia wraz z pochodnymi	6,61%	

Źródło: Opracowanie własne

Analizę przeprowadzono z podziałem na warianty oraz rozróżnieniem na poszczególne składowe. W obu wariantach analizy wielkość pracy eksploatacyjnej jest jednakowa – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej w zakresie tras i rozkładów jazdy. Poniżej przedstawiono opis założeń do kalkulacji kosztów operacyjnych w arkuszu kalkulacyjnym.

Tab. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnej

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
Koszt części zamiennych i materiałów pomocniczych	Koszt części zamiennych i materiałów pomocniczych wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr	Koszt części zamiennych i materiałów pomocniczych wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr. Założono, że koszt ten jest niższy o 30% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych
Koszt olejów, płynów i smarów	Koszt olejów, płynów i smarów wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr.	Koszt olejów, płynów i smarów wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiadają 30% mniej części niż autobusy o napędzie konwencjonalnym
Średnie spalanie ON	Na podstawie danych od przewoźnika. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od przewoźnika. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 19.10.2018	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 19.10.2018
Średnie zużycie energii	Nie dotyczy	Na podstawie doświadczeń innych operatorów, zwiększone o 15% ze względu na podgórskie profile

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
		tras. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.
Zużycie energii	Nie dotyczy	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh i według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika Tauron Sprzedaż oraz Dystrybucja
Koszt ogumienia	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr.
Koszt napraw	Koszt napraw wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr.	Koszt napraw wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na 1 wozokilometr. 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 – 5%, dla stacji ładowania – 10%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty przedstawionej w Biuletynie Informacji Publicznej Urzędu Miasta Bielska Białej	Na podstawie kwoty przedstawionej w Biuletynie Informacji Publicznej Urzędu Miasta Bielska-Białej
Ubezpieczenia	Koszt ubezpieczenia wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na pojazd	Koszt ubezpieczenia wyliczono na podstawie kosztów MZK Bielsko-Biała z 2017 roku i wyrażono w zł na pojazd.
Koszt wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Nie dotyczy	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 40 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

5.5 Wartość rezydualna

W ostatnim roku analizy wyznaczono wartość rezydualną inwestycji jako wartość aktywów

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

Tab. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1

Wariant W1	
Wartość rezydualna w zł	50 040 000,00 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	160 990 000,00 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	211 030 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

5.6 Efektywność finansowa

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

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,

- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

Powyższe przepływy pieniężne po zsumowaniu zostały zdyskontowane przy przyjęciu stopy dyskontowej na poziomie 4%.

Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego

Kategoria	Wariant W1
FNPV/C	- 70 462 456,83
FRR/C	nieobliczalne

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 projektów.

Niewątpliwie największy wpływ na ujemną wartość wskaźnika FNPV/C mają znacznie wyższe wartości nakładów inwestycyjnych w W1, generowane przez wyższe koszty jednostkowe autobusów elektrycznych akumulatorowych w porównaniu do autobusów spalinowych. Ponadto w wariantcie W1 wartość nakładów odtworzeniowych znacznie wzrasta z uwagi na konieczność wymiany akumulatorów po 7. roku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych.

Wielkość kosztów operacyjnych w wariantcie W1 będzie niższa, dzięki oszczędnościom wynikającym z niższych kosztów napraw, 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 ten wyniósł 79% i oznacza najwyższy poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji w autobusy zeroemisyjne.

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż elektryfikacja komunikacji miejskiej w Bielsku - Białej zaplanowana w wariantcie W1 nie wpłynie na zaburzenie 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, 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, po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń w oparciu o wykonanie roku poprzedzającego pierwszy rok prognozy (wskaźnik ustalony w oparciu o średnią arytmetyczną z 3 poprzednich lat).

5.7 Analiza wrażliwości wskaźników efektywności finansowej

Kolejnym etapem analizy kosztów i korzyści była analiza wrażliwości, która polega na zbadaniu wpływu zmian poszczególnych zmiennych (ich spadek i wzrost) na wskaźniki efektywności finansowej (FNPV/C). Do analizy przyjęto następujące czynniki wrażliwości:

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

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

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

Tab. 5.9 Wyniki analizy scenariuszy

Zmiana:		Wartość FNPV/C	Zmiana FNPV/C
Wartość bazowa		-70 462 456,83	
Nakłady inwestycyjne	+25%	- 92 566 699,74	31,37%
	+15%	- 83 725 002,57	18,82%
	-15%	- 57 199 911,08	-18,82%
	-25%	- 48 358 213,91	-31,37%
Koszty operacyjne	+25%	- 70 662 921,33	0,28%
	+15%	- 70 582 735,53	0,17%
	-15%	- 70 342 178,12	-0,17%
	-25%	-70 261 992,32	-0,28%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		-83 845 281,27	18,99%

Źródło: Opracowanie własne

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

+/-1%. W związku z powyższym wyznaczono wartości progowe dla FNPV/C. Wdrożenie autobusów zeroemisyjnych będzie efektywne finansowo, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 79,7%.

Tab. 5.10 Wyniki analizy wrażliwości

Badana zmienna	Wartość FNPV/C po zmianie zmiennej o 1%	Zmiana FNPV/C przy zmianie zmiennej o 1%	Zmiana FNPV/C=0
Nakłady inwestycyjne (+1%)	- 71 346 626,54	1,25%	-79,7%
Koszty operacyjne (+1%)	- 70 470 475,41	0,01%	-

Źródło: Opracowanie własne

6 Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi

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

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

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

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

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

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

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

Emitowanie tlenków azotu wpływa negatywnie na zdrowie dzieci, powodując astmę, białaczkę, ograniczony wzrost płuc. Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

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

Dwutlenek siarki, emitowany w trakcie produkcji energii niezbędnej do eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, przyczynia się do powstawania wielu śmiertelnych chorób dotyczących wszystkie grupy wiekowe społeczeństwa, a także do przewlekłych i ostrych chorób układu krążeniowo – oddechowego.

W poniższej tabeli zestawiono zmianę wielkości emisji spalin i gazów cieplarnianych w wyniku realizacji wariantu inwestycyjnego na przestrzeni lat 2018-2042. Ukazuje ona zsumowane emisje szkodliwych substancji dla dolnych warstw atmosfery, które bezpośrednio wpływają na stan zdrowia oraz samopoczucie ludzi. Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego, odpowiednio skorygowanymi o założenia opisane w rozdziale 7.1.

Tab. 6.1 Różnice emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery dla wariantu W1 w stosunku do W0 [w Mg]

Związek chemiczny	W0	W1	Zmiana
	Wielkość emisji	Wielkość emisji	
SO ₂	-	69,62	69,62
NO _x	577,53	538,48	- 39,05
PM 2,5/ PM	8,48	10,94	2,46
NHMC/NMVOC	146,20	113,69	- 32,51
CO ₂	212 129,41	217 561,00	5 431,59

Źródło: Opracowanie własne

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż redukcja emisji dotknie wyłącznie metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 32,51 Mg), a także tlenki azotu NO_x (o 39,05 Mg). Widoczny jest wyraźny wzrost emisji dwutlenku siarki oraz dwutlenku węgla, gdyż pierwsza z tych substancji emitowana jest podczas produkcji energii elektrycznej. Jest to spowodowane faktem, iż polski sektor energetyki oparty jest na spalaniu węgla, co

przekłada się na bardzo niekorzystne wskaźniki dla pojazdów napędzanych energią elektryczną. Emisja cząstek stałych ulegnie nieznacznemu zwiększeniu.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że udział odnawialnych źródeł energii stale wzrasta, przez co wskaźniki dla pojazdów elektrycznych w najbliższych latach ulegną poprawie.

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

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

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

Jednym z istotnych aspektów realizacji inwestycji jest obniżenie emisji zanieczyszczeń w niższych warstwach atmosfery poprzez wykorzystanie jak największej liczby pojazdów niskoemisyjnych bądź zeroemisyjnych. W poniższej tabeli przedstawiono zsumowaną emisję szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych dla całego okresu objętego analizą, zarówno w wariantcie z wprowadzeniem do eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, jak i spalinowych.

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

- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla gazów cieplarnianych CO₂, wynikających ze struktury produkcji energii elektrycznej w Polsce, wytwarzanej głównie przez elektrownie ciepłownicze, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,
- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla dwutlenku siarki SO₂, przewidywanych tylko dla autobusów elektrycznych w wariantcie W1, które są wytwarzane podczas produkcji energii elektrycznej,
- w wariantcie W0 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla szkodliwych substancji emitowanych do niższych warstw atmosfery (NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5),
- w wariantcie W1 – wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (NO_x, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej.

Wskaźniki emisyjności CO₂ wskazane w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach pochodzących z opracowania EIB Carbon Footprint z 2012 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2016 rok, wskaźnik emisyjności CO₂ w Polsce obniżył się w latach 2014 – 2016 o 2,1%, w związku z czym na potrzeby niniejszego opracowania uwzględniono wartość 806 kg/MWh emisji przy produkcji energii elektrycznej (wskazaną jako wartość rzeczywistą w 2016 r.).

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA z 2014 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2016 rok, wskaźniki emisyjności SO₂, NO_x, PM_{2,5} w Polsce obniżyły się w latach 2014 – 2016 odpowiednio o 46,3%, 19,0% i 15,6%. Dlatego też na potrzeby

niniejszego dokumentu uwzględniono następujące wartości rzeczywiste z 2016 r. emisji szkodliwych substancji przy produkcji energii elektrycznej w Polsce:

- dla SO₂: 0,844 g/kWh,
- dla NO_x: 0,850 g/kWh,
- dla PM: 0,054 g/kWh.

Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2018-2042

Związek chemiczny	W0	W1	W0	W1	Zmiana kosztów zewnętrznych w wyniku realizacji W1 [w zł]
	Łączna emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w Mg]		Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w zł]		
SO ₂	-	69,62	- zł	7 956 903,20 zł	7 956 903,20 zł
NO _x	577,53	538,48	51 950 738,98 zł	46 338 965,50 zł	- 5 611 773,48 zł
PM 2,5/ PM	8,48	10,94	12 595 176,14 zł	10 193 621,55 zł	- 2 401 554,59 zł
NHMC/NMVOC	146,20	113,69	1 708 052,71 zł	1 275 768,85 zł	- 432 283,87 zł
CO ₂	212 129,41	217 561,00	44 305 204,87 zł	45 452 973,16 zł	1 147 768,29 zł
SUMA	212 861,62	218 293,73	110 559 172,70 zł	111 218 232,25 zł	659 059,55 zł

Źródło: Opracowanie własne

Największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na korzyść wariantu W1 przewidującego rozpoczęcie eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, można dostrzec w kosztach emisji tlenków azotu NO_x. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x wynoszą ok. 5,6 mln zł.

Koszty emisji cząstek stałych niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC, także o ok. 0,4 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji wzrosną o ponad 1,1 mln zł., z uwagi na emisję tego związku do górnych warstw atmosfery w wyniku produkcji energii elektrycznej opartej na spalaniu węgla.

Największy wzrost kosztów zewnętrznych emisji cechuje dwutlenek siarki SO₂, który powstaje w trakcie produkcji energii elektrycznej – w wariantcie W1 koszty jego emisji do atmosfery wyniosą ok. 8,0 mln zł.

Podsumowując, realizacja wariantu W1 spowoduje wzrost kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 0,7 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 szkodliwym dla zdrowia lub niebezpieczny z innych względów, zwykle o dużym natężeniu, częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak i psychiczny człowieka. Hałas powyżej 85 dB jest w stanie uszkodzić słuch trwale, natomiast niższy poziom hałasu może oddziaływać w bardzo niekorzystny sposób na psychikę, zwiększać ciśnienie krwi, być źródłem powstawania stresu.

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

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów 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

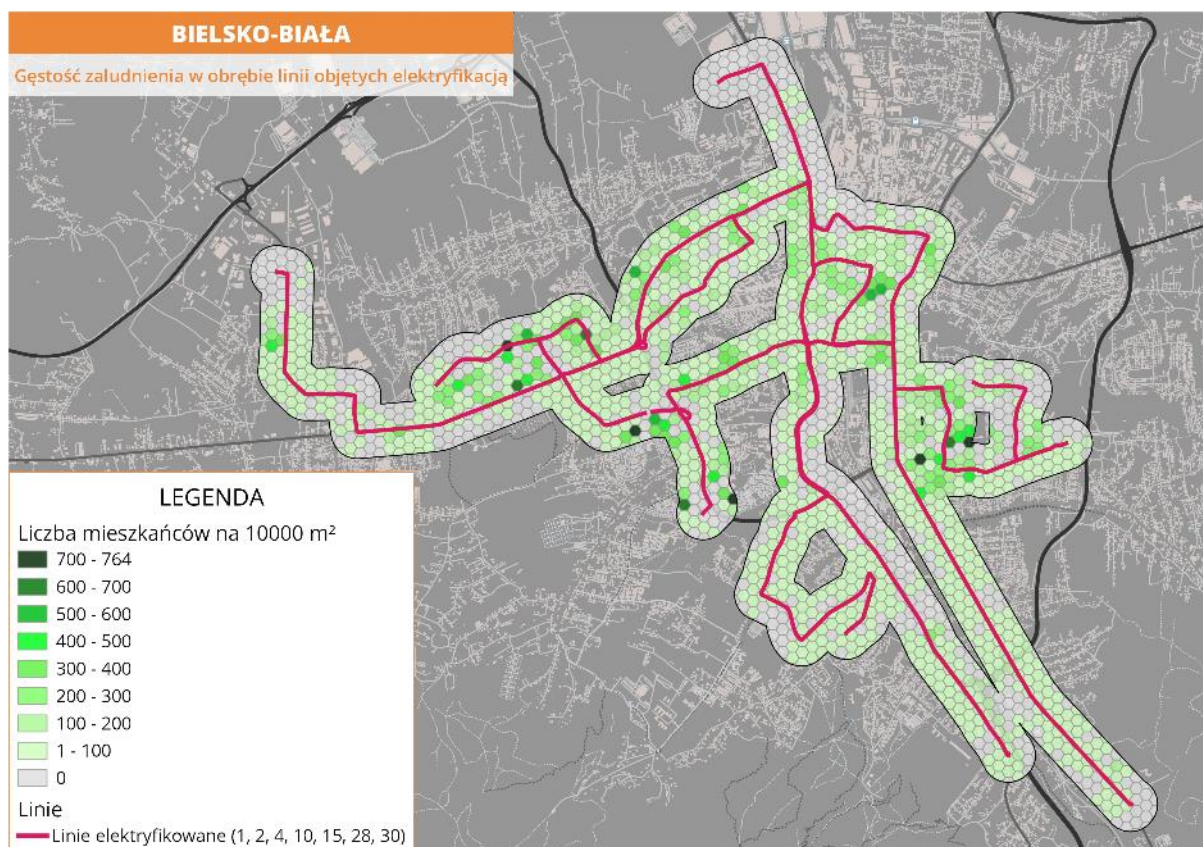
kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,

- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych³⁴,
- gęstość zaludnienia obszaru przyległego na długości 250m od osi jezdnii, którymi przebiegają podstawowe warianty linii objętych całkowitą elektryfikacją, tj. 4082,0 os/km²,
- średnią gęstość zaludnienia typowego obszaru miejskiego, dla którego przyjęte zostały krańcowe koszty zewnętrzne hałasu, tj. 3000 os./km², wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA, 2014).

Rys. 7.1 przedstawia gęstość zaludnienia w obrębie 250 metrów od linii obsługiwanych przez autobusy elektryczne akumulatorowe.

Korzyści zewnętrzne wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu po wprowadzeniu do eksploatacji autobusów elektrycznych zostały zmnożone o wskaźnik relacji gęstości zaludnienia obszarów wzdłuż całościowo elektryfikowanych linii do gęstości zaludnienia typowego obszaru miejskiego, wynoszący 1,08.

³⁴ "Quieter buses socioeconomic effects", Koucky & Partners A.B, 2014.



Rys. 7.1 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją

Źródło: Opracowanie własne

Poniższa tabela przedstawia zindeksowane ceny za hałas emitowany w obu wariantach analizy w

latach 2018-2042 oraz zmonetyzowane korzyści zewnętrzne w wyniku jego redukcji.

Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu dla wariantu W0 oraz wariantu W1 na przestrzeni lat 2018-2042

Zmonetyzowany hałas w zł		Zmiana kosztów emitowanego hałasu w zł
W0	W1	
95 228 846,32 zł	86 098 888,00 zł	-9 129 958,32 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że wystąpią znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów elektrycznych w W1 w postaci ok. 9,1 mln zł w okresie objętym analizą.

Redukcja pozwoli wyciszyć ogólny hałas generowany w ruchu miejskim przez publiczny

transport. Ponadto obniżona emisja hałasu wpłynie na zwiększenie komfortu podróżowania transportem miejskim oraz na bezpieczeństwo w podróży dla pasażerów. Warto dodać, że zredukowany hałas wpłynie również na lepsze samopoczucie mieszkańców oraz zwierząt

7.3 Inne korzyści zewnętrzne

Eksploatacja autobusów elektrycznych akumulatorowych w polskich miastach wiąże się z powstawaniem kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych, powstających w procesie produkcji energii elektrycznej. Emisję tę można uznać za proces o rozproszonym charakterze, o znacząco mniejszym nasileniu w miejscu eksploatacji autobusów elektrycznych. Wykorzystanie autobusów elektrycznych akumulatorowych de facto nie powoduje powstawania lokalnej emisji

do niższych warstw atmosfery, co stanowi istotną korzyść dla mieszkańców ośrodków miejskich, w których eksploatowane są pojazdy tego typu. Korzyść tą oszacowano na podstawie różnicy kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji przez autobusy spalinowe, liczoną między wariantem W1 (w którym część pracy eksploatacyjnej autobusów spalinowych będzie wykonywana przez zeroemisyjne autobusy elektryczne akumulatorowe) i wariantem W0.

Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery.

Koszty zewnętrzne lokalnej emisji [w zł]		Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji [w zł]
W0	W1	
110 559 172,70 zł	80 894 486,13 zł	29 664 686,57 zł

Źródło: Opracowanie własne

Zwiększona liczba wozogodzin w wariantcie W1 wygenerowana przez dłuższe postoje wyrównawcze na krańcach, spowoduje konieczność zwiększenia zatrudnienia w grupie kierowców. Dodatkowe wozogodziny dadzą możliwość znalezienia pracy dla osób pozostających bez zatrudnienia, dając wymierne korzyści dla członków lokalnej społeczności w formie wynagrodzeń, ale także dla budżetu

centralnego i Zakładu Ubezpieczeń Społecznych w postaci dodatkowych składek ubezpieczeniowych oraz zwiększonych poziomów odprowadzanych podatków dochodowych. Wspomniany aspekt został uznany za kolejną korzyść ekonomiczną tworzoną w wyniku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych w wariantcie W1 – jej wartość prezentuje poniższa tabela.

Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń

Przyrost poziomu kosztów wynagrodzeń [w zł]		Zmonetyzowane korzyści społeczne ze zwiększenia zatrudnienia [w zł]
W0	W1	
-	56 764 800,00 zł	56 764 800,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

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

- wskaźniki efektywności ekonomicznej wyliczono metodą różnicową,
- społeczna stopa dyskontowa wynosi 4,5%,
- analiza została przeprowadzona w latach 2018-2042,
- wyceny kosztów i korzyści dokonano w cenach netto.

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

- skorygowane nakłady inwestycyjne oraz odtworzeniowe,
- skorygowane koszty eksploatacyjne,

- skorygowana wartość rezydualna,
- koszty ekonomiczne,
- korzyści ekonomiczne.

Wykorzystano także współczynniki korekty w analizie ekonomicznej, które zaprezentowano w Tab. 7.5.

Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

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

Źródło: Opracowanie własne

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

- ekonomiczną wartością bieżącą netto (ENPV), która dla projektów efektywnych jest większa od zera,
- ekonomiczną stopę zwrotu (ERR), która dla projektów efektywnych jest wyższa niż społeczna stopa dyskontowa na poziomie 4,5%,
- relację korzyści do kosztów (B/C), która powinna być wyższa od jedności.

Wskaźniki zostały obliczone na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowane. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną, ERR przyjął wartość mniejszą od stopy dyskontowej, a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1. Największy wpływ na wartość wskaźników mają: ceny prądu, ceny autobusów i

akumulatorów do autobusów, ceny oleju napędowego, średnie zużycie paliwa oraz energii.

Obliczenia jednoznacznie wskazują, że inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi w uwarunkowaniach miasta Bielska-Białej nie jest zasadna, gdyż jest nieefektywna zarówno pod względem społeczno-gospodarczym jak i ekonomicznym. Zatem osiągnięcie poziomów minimalnego udziału autobusów zeroemisyjnych zgodnie z zapisami uepa we flocie operatora komunikacji miejskiej w Bielsku – Białej nie jest wymagane.

Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z zakładanego w analizie poziomu 2 200 000 PLN netto do ok. 2 025 000 PLN netto, a typu MEGA18 z 2 800 000 PLN netto do ok. 2 425 000 PLN netto.

Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	Wartość
ENPV	- 8 734 286,66 zł
ERR (%)	2,0%
B/C	0,88

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 (ENPV/C). Do analizy przyjęto następujące czynniki wrażliwości:

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

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

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

Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
Wartość bazowa		- 8 734 286,66		2,0%		0,88	
Nakłady inwestycyjne	+25%	-22 063 682,84	152,61%	-0,63%	-132%	0,75	-15%
	+15%	-16 731 924,37	91,57%	0,28%	-86%	0,80	-10%
	-15%	-736 648,96	-91,57%	4,24%	116%	0,99	12%
	-25%	4 595 109,51	-152,61%	6,35%	224%	1,08	22%
Koszty operacyjne	+25%	-8 886 380,49	1,74%	1,92%	-2%	0,88	0%
	+15%	-8 825 542,96	1,04%	1,94%	-1%	0,88	0%
	-15%	-8 643 030,37	-1,04%	1,98%	1%	0,88	0%
	-25%	-8 582 192,84	-1,74%	2,00%	2%	0,88	0%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		-16 823 180,66	92,61%	0,26%	-86%	0,79	-10%

Źródło: Opracowanie własne

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

1%. W związku z powyższym wyznaczono wartości progowe dla ENPV. Wdrożenie autobusów zeroemisyjnych będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 16,4%.

Tab. 7.8 Wyniki analizy wrażliwości

Badana zmienna	Wartość ENPV po zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV przy zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV=0
Nakłady inwestycyjne (+1%)	- 9 267 462,51 zł	6,10%	-16,40%
Koszty operacyjne (+1%)	- 8 740 370,42 zł	0,07%	

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 się zmieniać, określenie poziomu ryzyka, możliwości zarządzania czynnikami ryzyka oraz określenie sposobów, jakimi beneficjent może zapobiegać danemu ryzyku.

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
Ryzyko techniczne			
R1	Zbyt duży 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).
Ryzyko eksploatacyjne			
R3	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.
R4	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.
Ryzyko administracyjne			
R5	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.
R6	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	Zmiana priorytetów we wspieranej technologii – z autobusów elektrycznych akumulatorowych na autobusy	Zaprzestanie prowadzenia projektu i zwiększona niepewność podmiotów

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
		elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi lub zmiana ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych.	dokonujących inwestycji w tabor elektryczny.
Ryzyko finansowe			
R7	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.
R8	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
R9	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
Ryzyko klimatyczne			
R10	Zmiana zasięgu autobusów 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.

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%	1
Niskie	<10% - 33%	2
Średnie	<33% - 66%	3
Wysokie	<66% - 90%	4
Bardzo wysokie	<90% - 100%	5

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

		Prawdopodobieństwo				
		1	2	3	4	5
Wpływ	1					
	2		R2, R5, R10	R1		
	3		R3	R9	R8	
	4		R4			
	5	R6, R7				

Legenda:

	Niski poziom ryzyka		Wysoki poziom ryzyka
	Średni poziom ryzyka		Bardzo wysoki poziom ryzyka

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
Ryzyko techniczne			
R1	Zbyt duży popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Założenie dłuższego czasu produkcji pojazdu lub wcześniejsze 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
Ryzyko eksploatacyjne			
R3	Awarie stacji wolnego ładowania	Przeszkolenie pracowników, wpisanie wymogu minimalnego wskaźnika	średni

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
	(ładowarek zajezdniowych)	niezawodności urządzenia, odpowiednia umowa serwisowa i konserwacja urządzeń	
R4	Przerwa w dostawie prądu	Zakup agregatów prądotwórczych	niski
Ryzyko administracyjne			
R5	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Przyspieszenie negocjacji z dystrybutorem energii, odpowiednie zaplanowanie inwestycji	średni
R6	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	brak	niski
Ryzyko finansowe			
R7	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Finansowanie inwestycji ze środków własnych	niski
R8	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Założenie wyższych nakładów inwestycyjnych przy prowadzeniu postępowania	średni
R9	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen	niski
Ryzyko klimatyczne			
R10	Zmiana zasięgu autobusy podczas nadzwyczajnych upałów lub mrozów	Założenie niższego zasięgu pomimo podanych danych eksploatacyjnych, analiza danych eksploatacyjnych dotyczących autobusów elektrycznych akumulatorowych	wysoki

Źródło: Opracowanie własne

9 Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru z uwzględnieniem różnych napędów autobusów w perspektywie do 2028 roku

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 umożliwiający 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 (Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego miasta Bielsko-Białej na lata 2014 – 2023),
- 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).

Pojazdy wprowadzane do eksploatacji jako autobusy używane, powinny spełniać co najmniej normę emisji spalin Euro 5. Przy

założeniu o wdrażaniu autobusów używanych w wieku do 10 lat, założenie to zostanie spełnione – począwszy od 2019 r. autobusy 10-letnie będą spełniały normę Euro 5. Autobusy używane będą nabywane wyłącznie do obsługi zadań, których stopień wykorzystania kształtuje się na niskim poziomie, znacząco poniżej średniej dla wszystkich eksploatowanych typów autobusów.

Począwszy od 2019 r., zgodnie z założeniami w wariantach W0 i W1, każdy wprowadzany do eksploatacji pojazd o napędzie konwencjonalnym powinien być wykorzystywany maksymalnie przez 10 lat licząc od daty produkcji, a elektryczny przez 15 lat. Pozwoli to na stopniowe uzyskanie wskaźnika przeciętnego wieku taboru autobusowego do 8 lat założonego w Planie zrównoważonego

rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Bielsko-Biała.

Warto nadmienić, iż struktura wielkościowa taboru nie powinna ulec znaczącym zmianom, gdyż nowe autobusy powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane modele we flocie, gwarantując wciąż dopasowanie wielkości pojazdów do popytu efektywnego na przewozy w komunikacji miejskiej.

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

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

Na podstawie art. 9 ustawy z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym gminy, którym powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia między gminami, o obszarze liczącym łącznie co najmniej 80 000 mieszkańców mają obowiązek sporządzenia planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 roku w sprawie szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego

transportu zbiorowego 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, w związku z czym nie przewiduje się konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego.

Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego

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

Zakres	Konieczność aktualizacji
węzłów przesiadkowych	Nie wymaga aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	Dotyczy rozdziału 11.: <i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Bielsku Białej, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne: całościowo elektryfikowane linie: 1, 2, 4, 10, 15, 28, 30</i> <i>Częściowo elektryfikowane linie: 3, 50.</i> <i>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i>
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”	<i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i> ■ <i>na terenie zajezdni Miejskiego Zakładu Komunikacyjnego – Bielsko-Biała,</i> ■ <i>przy pętli autobusowej – Os. Karpackie (2 szt.),</i> ■ <i>przy pętli autobusowej – Os. Beskidzkie (1 szt.),</i> ■ <i>przy pętli autobusowej – Os. Kopernika (1 szt.),</i> ■ <i>przy pętli autobusowej – Os. Polskich Skrzydeł (1 szt.),</i> ■ <i>przy pętli autobusowej – Wapienica Strażacka (1 szt.).</i>
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	Nie wymaga aktualizacji
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

W celu zapewnienia finansowania inwestycji możliwe jest pozyskanie środków ze źródeł zewnętrznych, takich jak programy krajowe czy unijne. Wskaźnik luki finansowej wyniósł 79%, co oznacza, że tyle może wynieść najwyższy poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji w autobusy zeroemisyjne.

Jednym z najważniejszych programów, umożliwiających uzyskanie dofinansowanie ze środków unijnych jest Regionalny Program Operacyjny Województwa Śląskiego. W 2018 r. nie są prowadzone nabory wniosków o dofinansowanie w ramach działań związanych z redukcją emisji zanieczyszczeń powietrza, szczególnie w obszarze mobilności miejskiej.

Kolejnym źródłem finansowania może być Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POLiŚ), wdrażany przez Centrum Unijnych

Projektów Transportowych. W ramach POLiŚ możliwe jest dofinansowanie projektów związanych z rozwojem transportu publicznego, w tym transportu miejskiego zeroemisyjnego. Na przełomie 2018/2019 prowadzony będzie nabór w trybie konkursowym wniosków o dofinansowanie w ramach *Osi Priorytetowej VI – Rozwój niskoemisyjnego transportu zbiorowego w miastach* oraz *Działania 6.1 – Rozwój publicznego transportu zbiorowego w miastach*, dotyczących wdrażania napędu elektrycznego na liniach komunikacji miejskiej. Projekt ten dostępny jest dla miast wojewódzkich i ich obszarów funkcjonalnych, miast średnich tracących funkcje społeczno-gospodarcze. Jednak Bielsko-Biała nie została ujęta w wykazie miast stanowiących potencjalnych beneficjentów konkursu.



Rys. 11.1 Zeroemisyjny autobus Solaris Urbino electric

Źródło: Zbiory własne

Nową możliwością pozyskania wsparcia jest Fundusz Niskoemisyjnego Transportu (zarządzanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej), którego zadaniem będzie finansowanie

projektów związanych z rozwojem elektromobilności oraz transportem opartym na paliwach alternatywnych. Szacowane jest, że w ciągu najbliższych 10 lat na ten cel przeznaczone zostaną środki w wysokości około 1 mld zł.

Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017	12
Tab. 3.2 Linie obsługiwane przez MZK Bielsko-Biała – stan na dzień 03.08.2018r.	13
Tab. 3.3 Finansowanie przewozów w latach 2015-2017.....	19
Tab. 3.4 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach	20
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów w czerwcu 2018 roku	20
Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w lipcu 2018 roku	21
Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2021 roku	21
Tab. 3.8 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 roku	22
Tab. 3.9 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 roku	22
Tab. 3.10 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 roku	22
Tab. 3.11 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych	23
Tab. 3.12 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu	28
Tab. 3.13 Dane dotyczące różnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny (obowiązujący we wrześniu)	30
Tab. 3.14 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów	31
Tab. 3.15 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny.....	31
Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie	36
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym.....	37
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie.....	39
Tab. 4.4 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	42
Tab. 4.5 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	43
Tab. 4.6 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	43
Tab. 4.7 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową.....	48
Tab. 4.8 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu	48
Tab. 4.9 Koszty netto zakupu trolejbusów	51
Tab. 4.10 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów	52
Tab. 4.11 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym.....	53
Tab. 4.12 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom.....	54
Tab. 4.13 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych.....	54
Tab. 4.14 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w Bielsku-Białej komunikacji miejskiej.	56
Tab. 4.15 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom.....	58
Tab. 4.16 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane aspektom	60
Tab. 4.17 Analiza wielokryterialna – oceny końcowe dla każdej linii – część pierwsza	60
Tab. 4.18 Analiza wielokryterialna – oceny końcowe dla każdej linii – część druga.....	60
Tab. 4.19 Analiza wielokryterialna – oceny końcowe dla każdej linii – część trzecia	60
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1	62
Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych	62

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych	63
Tab. 5.4 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	63
Tab. 5.5 Dynamika kosztów eksploatacyjnych	65
Tab. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnej	65
Tab. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1	66
Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego	67
Tab. 5.9 Wyniki analizy scenariuszy	68
Tab. 5.10 Wyniki analizy wrażliwości	68
Tab. 6.1 Różnice emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery dla wariantu W1 w stosunku do W0 [w Mg]	70
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2018-2042.....	72
Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu dla wariantu W0 oraz wariantu W1 na przestrzeni lat 2018-2042.....	74
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery.	75
Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń.....	75
Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej	76
Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	76
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy	77
Tab. 7.8 Wyniki analizy wrażliwości	77
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki	78
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa	79
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt	80
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka	80
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	80
Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego	84

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	5
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego	7
Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie	9
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	9
Rys. 2.4 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Krakowie	10
Rys. 2.5 Autobus na ogniwa wodorowe polskiej konstrukcji	10
Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2017	13
Rys. 3.2 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny	24
Rys. 3.3 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny (część druga) ..	25
Rys. 3.4 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny	25
Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny (część druga)	25
Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty	26
Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty (część druga)	26
Rys. 3.8 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele	26
Rys. 3.9 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele (część druga)	27
Rys. 3.10 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta	27
Rys. 3.11 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta (część druga)	27
Rys. 3.12 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne	28
Rys. 3.13 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny	29
Rys. 3.14 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w soboty	29
Rys. 3.15 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedziele	29
Rys. 3.16 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta	30
Rys. 4.1 Koszt budowy podzespołów elektrycznych ogniw paliwowych	38
Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 18 electric	41
Rys. 4.3 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w barwach PKM Jaworzno ..	44
Rys. 4.4 Ładowarka pantografowa i autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w malowaniu ZTM Warszawa	46
Rys. 4.5. Elektryfikacja linii autobusowych	47
Rys. 4.6 Schemat proponowanych przebiegów kursowania trolejbusów	52
Rys. 4.7 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych	55
Rys. 4.8 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK	56
Rys. 7.1 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją	74
Rys. 11.1 Zeroemisyjny autobus Solaris Urbino electric	86