

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM, PRZY ŚWIADCZENIU USŁUG KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ, AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH





Dokument przygotowany przez:

TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE

Szamborski i Szelukowski S.J. ©

ul. Jaracza 71/9, 50-305 Wrocław,

e-mail: poczta@trako.com.pl

www.trako.com.pl

Spis treści

1	Cel analizy.....	5
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	6
2	Uwarunkowania techniczne i prawne.....	8
2.1	Uwarunkowania prawne.....	8
2.2	Uwarunkowania techniczne	9
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej.....	12
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	12
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych	12
3.1.2	Obecny układ sieci	13
3.1.3	Koszty eksploatacyjne	16
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy	17
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	18
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane	18
3.2.2	Normy emisji spalin.....	19
3.2.3	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru	19
3.2.4	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych	21
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	22
3.3.1	Wskaźnik wykorzystania taboru	24
3.3.2	Prędkości eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych	24
3.3.3	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzm przez brygady.....	26
3.3.4	Analiza rozkładów jazdy.....	26
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych	29
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	29
4.1.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	30
4.1.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	32
4.1.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów.....	32
4.1.4	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Białej Podlaskiej	33
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	34
4.2.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	34
4.2.2	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	36

4.2.3	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in.....	36
4.2.4	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami typu „plug-in” i za pomocą pantografu	38
4.2.5	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi	38
4.3	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów	41
4.3.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów	41
4.3.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	42
4.3.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	43
4.3.4	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Białej Podlaskiej	44
4.4	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	47
4.5	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	47
5	Analiza finansowa.....	51
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej.....	51
5.2	Nakłady inwestycyjne	52
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych.....	53
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych wariantów	54
5.5	Wartość rezydualna	56
5.6	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru.....	56
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi	58
7	Analiza społeczno–ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji.....	60
7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym.....	60
7.2	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym.....	62
7.3	Inne korzyści zewnętrzne	64
7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej	64
8	Analiza ryzyka	67
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru	73
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania	74
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych.....	76

1 Cel analizy

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

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U. z 2020 r., poz. 1944 ze zm.),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 ze zm.).

Dodatkowo opracowanie przygotowano zgodnie z poniższymi dokumentami:

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

- „Wytyczne w zakresie zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym projektów generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020”,
- „Zasady opracowywania wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej. Praktyczny przewodnik dla samorządów”, Marcin Gromadzki, 2018 r.

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



Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie analizy strategicznej wyboru najkorzystniejszego typu autobusów zeroemisyjnych, biorąc pod uwagę koszty implementacji danego rozwiązania, a także parametry eksploatacyjne. Dla wytypowanego typu autobusu została sporządzona szczegółowa analiza finansowa i ekonomiczna, uwzględniająca hipotetyczne korzyści społeczne i środowiskowe, która została porównana z alternatywnym wariantem opierającym się na odtwarzaniu obecnej floty w oparciu o eksploatowane autobusy spalinalowe. W ostatniej części opracowania przedstawiono analizę ryzyka, rekomendacje w kwestii strategii wymiany taboru komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej, jak również określono potencjalne źródła finansowania inwestycji w tabor zeroemisyjny.



Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern

Źródło: Zbiory własne

1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- AKK – analiza kosztów i korzyści
- BCR, B/C – (ang. benefit cost ratio) wskaźnik korzyści do kosztów
- Brygada – zadanie w rozkładzie jazdy zaplanowane do realizacji przez 1 autobus w ciągu dnia (zamiennie stosowanym określeniem jest kursówka)
- CF – (ang. conversion factor) wskaźnik konwersji
- CNG (ang. compressed natural gas) – sprężony gaz ziemny
- ENPV – (ang. economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto
- ERR – (ang. economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu
- FNPV – (ang. financial net present value) finansowa wartość bieżąca netto
- FNPV/c – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji
- FRPA – Fundusz rozwoju przewozów autobusowych o charakterze użyteczności publicznej
- FRR/c – finansowa stopa zwrotu z inwestycji
- HVAC (ang. Heating, Ventilation, Air Conditioning) – ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja
- IMC (ang. In Motion Charging) – ładowanie w trakcie jazdy pojazdu
- LNG (ang. liquefied natural gas) – ciekły gaz ziemny
- LPG (ang. liquefied petroleum gas) – ciekła mieszanina propanu i butanu
- LTO – akumulatory litowo-jonowe o elektrodzie z tytanianu litu
- MCA (ang. Multivariate Comparative Analysis) – wielokryterialna analiza porównawcza
- MINI – autobus jednoczęłowy o długości ok. 6 – 8 metrów
- MIDI – autobus jednoczęłowy o długości ok. 9 – 10 metrów
- MAXI – autobus jednoczęłowy o długości ok. 12 metrów
- MEGA15 – autobus jednoczęłowy o długości ok. 15 metrów
- MEGA18 – autobus dwuczłowy o długości ok. 18 metrów
- MZK – Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o.o. z siedzibą w Białej Podlaskiej

- NMC – akumulatory litowo-jonowe o elektrodzie z niklu-manganu-kobaltu
- ON – olej napędowy
- Opp-charge – otwarty interfejs pomiędzy stacjami ładowania i pojazdami elektrycznymi
- Postój wyrównawczy – przerwa międzykursowa zaplanowana w rozkładzie jazdy na 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. elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r., poz. 110)
- W0 – wariant bazowy
- W1 – wariant inwestycyjny
- Wariant podstawowy trasy – wariant trasy danej linii komunikacyjnej, na którym realizowanych jest najwięcej kursów
- Wartość rezydualna – wartość środków trwałych netto uzyskanych na etapie realizacji projektu lub w okresie jego eksploatacji, wynikająca z nakładów inwestycyjnych na realizację projektu oraz nakładów odtworzeniowych, ustalona na koniec ostatniego roku okresu odniesienia przyjętego do analiz
- Wozogodzina – jednostka miary czasu zaangażowania środka transportu w wykonanie zaplanowanego rozkładu jazdy lub harmonogramu
- Wozokilometr liniowy – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach przewozów regularnych, na kursach ogólnodostępnych dla pasażerów, które są prezentowane w rozkładach jazdy
- Wozokilometr techniczny – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach kursów dojazdowych z zajezdni do przystanków krańcowych, kursów zjazdowych z przystanków krańcowych do zajezdni
- Wzkm – wozokilometr
- V_e – prędkość eksploatacyjna (uwzględniająca postoje na pętach końcowych)
- V_k – prędkość komunikacyjna (wynikająca wyłącznie z realizacji przewozów)

2 Uwarunkowania techniczne i prawne

2.1 Uwarunkowania prawne

Rzeczony rozwój elektromobilności w Polsce wspierany jest przez Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r., poz. 110), której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w ustawie definicja autobusu zeroemisyjnego precyzuje ten typ pojazdu jako autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 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,

biometanem), autobusy hybrydowe, autobusy hybrydowo – elektryczne oraz autobusy gazowo - elektryczne.



Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego

Źródło: Zbiory własne

Zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych wdrażanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych będzie najszybciej następowało w miastach średnich i dużych, gdyż każda jednostka samorządu terytorialnego licząca co najmniej 50 000 mieszkańców i organizująca komunikację miejską, począwszy od 1 stycznia 2028 r. będzie świadczyć usługi lub zawierać umowy o świadczenie usług przewozu o charakterze użyteczności publicznej wyłącznie z podmiotami posiadającymi co najmniej 30% autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanej na rzecz tej jednostki samorządu terytorialnego². Osiągnięcie udziału na poziomie 30% ma być osiągnięte etapowo³:

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

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

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

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

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

Każda z wymienionych w art. 36 jednostek samorządu terytorialnego sporządza co 36 miesięcy analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, przy czym pierwszą analizę należało opracować w terminie do 31 grudnia 2018 r⁴.

Gmina Miejska Biała Podlaska z liczbą mieszkańców 57 194⁵, pełniąca funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest jednostką samorządu terytorialnego ustawowo zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

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

2.2 Uwarunkowania techniczne

W ramach niniejszego rozdziału zostały przeanalizowane uwarunkowania techniczne autobusów elektrycznych akumulatorowych

o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. z 2021 r., poz. 247).

Dokument ten został poddany do konsultacji społecznych w terminie od 06.07.2021 r. do 27.07.2021 r. Do treści dokumentu nie zgłoszono żadnych uwag i wniosków.

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

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu powinien on zostać przekazany:

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

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

⁴ Ibidem, art. 72.

⁵ Dane według stanu na dzień 30.06.2020 r., źródło: <https://bdl.stat.gov.pl>, dostęp 17.03.2021 r.

oraz trolejbusów wyposażonych w akumulatory ładowane z sieci trolejbusowej.

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



Rys. 2.2 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

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

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

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



Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Świdnicy

Źródło: Zbiory własne

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

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

Główni europejscy producenci taboru dla transportu publicznego oferują autobusy elektryczne akumulatorowe o klasach

wielkościowych MINI, MIDI, MAXI, MEGA15 i MEGA18.

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



Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi

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

Eksploatacja autobusów napędzanych wodorem wiąże się z koniecznością budowy odpowiednich

stacji do ich tankowania, ponieważ obecnie na terenie Polski nie ma stacji tankowania wodorem, niezbędnego do zasilania ogniw paliwowych, jak i nie jest prowadzona dystrybucja czystego wodoru na potrzeby transportowe.

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

3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

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

Obecnie obowiązująca Umowa pomiędzy organizatorem, a operatorem (Miejski Zakład Komunikacyjny w Białej Podlaskiej Sp. z o.o. zwany dalej MZK Biała Podlaska) została zawarta na okres 10 lat (okres realizacji 01.01.2018-31.12.2027) w dniu 18.12.2017 r. jako umowa na realizację usług świadczenia przewozów w publicznym transporcie zbiorowym na terenie Gminy Miejskiej Biała Podlaska oraz na terenie Gminy Biała Podlaska w ramach porozumienia samorządowego wraz z utrzymaniem infrastruktury przystanków komunikacji miejskiej zlokalizowanych na terenie miasta Biała Podlaska. W umowie mają zastosowanie przepisy Rozporządzenia (WE) 1370/2007 oraz ustawy o publicznym transporcie zbiorowym. Umowa uprawnia organizatora do:

- działań wspólnie z operatorem w celu określania układu tras komunikacyjnych i taryf biletowych,
- monitoringu i kontrolowania jakości wykonywanych przewozów,
- proponowania zmian w zakresie świadczonych usług,
- w przypadku zmian organizacji ruchu kołowego mających wpływ na usługi umowy, związanych m.in. z remontami, organizator ma prawo zmienić charakterystykę przewozową,
- weryfikacji liczby wykonywanych wozokilometrów oraz należnej rekompensaty operatorowi.

W przypadku zdarzeń losowych (np. awarii autobusu) dopuszcza się czasowo inny autobus

zastępczy do wykonania usług z jednoczesnym powiadomieniem Organizatora. Według umowy pojazdy powinny być wyposażone w:

- oświetlenie wnętrza pojazdu,
- uchwyty i poręcze,
- liczbę miejsc siedzących zgodną z dowodem rejestracyjnym,
- urządzenia do wentylacji i ogrzewania pojazdu sterowane przez kierującego,
- urządzenia do kasowania biletów,
- zestaw tablic kierunkowych,
- dla nowo zakupionych pojazdów klimatyzacja i monitoring przestrzeni pasażerskiej,
- umieszczone wewnątrz pojazdu informacje porządkowe i komunikaty dla pasażerów,
- odpowiednie oznakowanie – znak firmowy i skrót nazwy Operatora oraz nr ewidencyjny.

Realizując umowę, Operator jest zobowiązany do:

- utrzymania w należytym stanie technicznym składników majątku i zaplecza technicznego wymaganych do realizacji umowy,
- świadczenia usług zgodnie z wymaganiami umowy,
- tworzenia rozkładu jazdy wraz z wymaganymi dokumentami,
- współpracy z Organizatorem przy określeniu charakterystyki przewozów, polityki transportowej oraz promocji,

- rozliczenia Rekompensaty zgodnie z umową i przepisami prawa,
- realizowania projektów inwestycyjnych na cele przewozów realizowanych w ramach umowy,
- zapewnienie bezpiecznych warunków przewozu pasażerów,
- przygotowania dokumentów związanych z rozliczeniem wykonywanych zadań,
- zapewnienia właściwej obsługi pasażerów,
- informowania organizatora o utrudnieniach w ruchu,
- pełnej obsługi systemu biletowego – od druku przez dystrybucję, kontrolę do windykacji,
- obsługi infrastruktury przystankowej na terenie miasta Biała Podlaska,
- przekazania sprawozdania finansowego w podziale na część wynikającą z umowy i pozostałą.

Kontrakt nie reguluje stosowanego napędu w pojazdach, a także nie narzuca wprowadzenia autobusów zeroemisyjnych (pojazdy mają jedynie spełniać wymogi norm emisji spalin oraz emisji hałasu związane z obowiązującymi dokumentami prawnymi).

3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej składa się z 11 linii komunikacyjnych, wśród których można wyróżnić:

- według kryterium przestrzennego:
 - 5 linii miejskich: E, F, I, K, T,
 - 6 linii miejsko-podmiejskich: A, B, C, D, G, H,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - 11 linii całorocznych,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
 - 9 linii kursujących codziennie: A, B, C, D, E, F, G, H, I,
 - 1 linię kursującą od poniedziałku do piątku: K,
 - 1 linię kursującą w soboty, niedziele i święta: T,
- według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:

- 9 linii kursujących przez cały dzień lub większą część dnia: A, B, C, D, E, F, G, H, I,
- 2 linii okresowych: K, T,

- według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - 4 linie podstawowych: C, D, F, G,
 - 4 linie uzupełniające: A, B, E, H,
 - 3 linie dodatkowych: I, K, T.

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Gminy Miejskiej Biała Podlaska, pełniąc jej organizatora oraz Gminy Biała Podlaska na mocy stosownych porozumień międzygminnych.

W Tab. 3.1 Poziom wykonywanej pracy przewozowej kształtował się na stałym poziomie, za wyjątkiem 2020 r., kiedy wolumen wozokilometru uległ istotnemu obniżeniu wynikającemu z ograniczeń związanych ze skutkami epidemii COVID-19.

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej przez MZK Biała Podlaska w wozokilometrach w latach 2017-2020

Rok	Zrealizowane wozokilometry	Dynamika r/r
2017	1 564 521	
2018	1 542 369	-1,4%
2019	1 562 653	1,3%
2020	1 438 839	-7,9%

Źródło: opracowanie własne na podstawie otrzymanych danych.

Na Rys. 3.1 przedstawiono liczbę przewiezionych pasażerów, która wykazuje się stabilnym poziomem dla lat 2017-2019 wielkości popytu na usługi komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej. W przypadku 2020 r. spadek wynikał z wprowadzonych ograniczeń związanych z epidemią COVID-19.

W Tab. 3.2 zestawiono przebiegi tras oraz podstawowe parametry linii obsługiwanych przez MZK Biała Podlaska. Najkrótszą linią jest linia G, mająca długość ok. 7 km i kursująca pomiędzy przystankami: TEREBELSKA i SIDORSKA PĘTLA. Najdłuższą linią jest kursująca w soboty, niedziele i święta linia T o długości ok. 17 km, która, łącząc Cmentarz Komunalny z pętlą na ul. Terebelskiej, biegnie przez liczne osiedla mieszkaniowe, gwarantując tym samym wiele bezpośrednich połączeń z cmentarzem. Kolejnym najdłuższym połączeniem jest linia I mająca ok. 13 km długości, kursująca codziennie na trasie Terebelska – Twarda.

Wyróżniającą cechą bialskiej sieci komunikacji miejskiej jest sztywne przypisanie brygad do linii, tj. przez cały czas pracy brygady realizowane są kursy wyłącznie na 1 linii (poza wyjątkowym łąčeniem w niedziele i święta, kiedy jedna z brygad rozpoczyna pracę na linii B, a kończy zadanie jako linia T). Takie podejście ma niewątpliwe zalety związane z brakiem opóźnień wtórnych przenoszonych na inne linie oraz pomyłek w realizacji tras przez kierowców. Niemniej jednak stosowanie zadań jednoliniowych, przy utrzymaniu odpowiedniej efektywności przewozów, powoduje, iż nie są stosowane równomierne interwały pomiędzy kolejnymi odjazdami z powtarzalnymi końcówkami minutowymi w ramach danej pory dnia. Konieczność zastosowania przerwy na odpoczynek lub posiłek dla kierowcy na zdaniach jednoliniowych skutkuje okresowym obniżeniem częstotliwości kursowania całej linii, powodując ponadprzeciętnie długie przerwy między kolejnymi odjazdami na danej linii.



Rys. 3.1 Zestawienie rocznej liczby pasażerów MZK Biała Podlaska w latach 2017-2020

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.2 Przebieg tras linii komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej stan na dzień 31.03.2021 r.

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii	Długość linii [km]
A	SIDORSKA PĘTLA – Sidorska – Włoska – Orzechowa – al. Jana Pawła II – Sidorska – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – G. Narutowicza – Zamkowa – Warszawska – WARSZAWSKA 5 Wybrane kursy wydłużone do Sławacinka wsi, Styrzyńca, Porosiuk przez Sławacinek Wieś lub Styrzyńca przez Porosiuki lub Brzegowej	miejsko-podmiejska	uzupełniająca	9,72
B	GRZYBOWA 1 PĘTLA – Grzybowa – Podleśna – Łomaska – Kolejowa – Sidorska – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – Sidorska – Kolejowa – Łomaska – Zamkowa – G. Narutowicza – al. Tysiąclecia – Brzeska – al. Jana Pawła II – Francuska – FRANCUSKA PĘTLA Wybrane kursy wydłużone do Grabanowa (przystanek Kozula), Wilczyna (przystanek Grabanów ODR) przez Grabanów lub Grabanów i Julków W okresie 1.04-31.10 wybrane kursy wydłużone do działek przy Grzybowej	miejsko-podmiejska	uzupełniająca	10,03
C	TEREBELSKA PĘTLA – A. Jagiellonki – J. III Sobieskiego – Janowska – Artyleryjska – Zamkowa – G. Narutowicza – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – Sidorska – Kolejowa – Łomaska – ŁOMASKA – Łomaska – F. Żwirki i S. Wigury – Robotnicza – ROBOTNICZA 1 PĘTLA Wybrane kursy wydłużone do Wólki Plebańskiej lub Ciciboru Dużego	miejsko-podmiejska	podstawowa	10,14
D	AL. SOLIDARNOŚCI 3 – al. Solidarności – Sidorska – al. Jana Pawła II – T. Kościuszki – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – G. Narutowicza – Zamkowa – marsz. J. Piłsudskiego – Grunwaldzka – Terebelska – Anny Jagiellonki – TEREBELSKA PĘTLA Wybrane kursy wydłużone do Rakowisk	miejsko-podmiejska	podstawowa	10,24
E	TWARDA – Twarda – Droga Wojskowa – Chłodna – Żwirowa – Twarda (powrót bezpośrednio Twarda – TWARDA) – Daleka – Koncertowa – Witoroska – Łomaska – Zamkowa – G. Narutowicza – al. Tysiąclecia – Brzeska – Białka – Powstańców – BIAŁKA ZAJAZD ⁶ Wybrane kursy wydłużone do Cmentarza Komunalnego, Al. Solidarności lub Al. Solidarności przez Ekologiczną	miejska	uzupełniająca	7,89
F	SIDORSKA PĘTLA – Sidorska – Włoska – Orzechowa – Kąpielowa – Sidorska – al. Jana Pawła II – T. Kościuszki – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – G. Narutowicza – Zamkowa – Artyleryjska – Akademicka – AKADEMICKA 4 (powrót AKADEMICKA 4 – Akademicka – J. Kasprowicza – K. Przerwy-Tetmajera – Akademicka) Wybrane kursy wydłużone do Brzegowej	miejska	podstawowa	9,22

⁶ Obecnie pętla wyłączona z użytku ze względu na budowę prowadzoną w sąsiedztwie

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Aspekt przestrzenny	Charakter linii	Długość linii [km]
G	TEREBELSKA – A. Jagiellonki – Terebelska – al. Jana Pawła II – Brzeska – al. Tysiąclecia – G. Narutowicza – al. Jana Pawła II – Orzechowa – Włoska – Sidorska – SIDORSKA PĘTLA Wybrane kursy wydłużone do Brzegowej lub Czosnówki przez al. Solidarności	miejsko-podmiejska	podstawowa	7,01
H	TEREBELSKA – A. Jagiellonki – Terebelska – Królowej Jadwigi – Glinki – Akademicka – M. Kopernika – Warszawska – Zamkowa – G. Narutowicza – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – Sidorska – al. Jana Pawła II – Orzechowa – Włoska – Sidorska – SIDORSKA PĘTLA Wybrane kursy wydłużone do Czosnówki lub Cmentarza Komunalnego	miejsko-podmiejska	uzupełniająca	9,89
I	TWARDA 1 – Twarda – Daleka (powrót Daleka – Kołychawa – Twarda) – Koncertowa – Witoroska – Lubelska – J. Czerwińskiego – J. Długosza – Krucza – Wyzwolenia – S. Drzewieckiego – Podleśna – Łomaska – Kolejowa – Sidorska – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – G. Narutowicza – Zamkowa – marsz. J. Piłsudskiego – Sitnicka – Osiedle Sitnickie – Radziwiłłowska – Królowej Jadwigi – Terebelska – A. Jagiellonki – TEREBELSKA	miejska	dodatkowa	13,16
K	AKADEMICKA 4 – Akademicka – J. Kasprowicza – K. Przerwy-Tetmajera – Akademicka (powrót bezpośrednio Akademicka – AKADEMICKA 4) – Artyleryjska – marsz. J. Piłsudskiego – Grunwaldzka – Terebelska – J. III Sobieskiego – Janowska – al. Jana Pawła II – Francuska – DK2 – Brzeska – Białka – CMENTARZ KOMUNALNY Wybrane kursy wydłużone do al. Solidarności z pominięciem Cmentarza	miejska	dodatkowa	11,92
T	TEREBELSKA – A. Jagiellonki – Terebelska – Grunwaldzka – Sitnicka – Glinki – Akademicka – M. Kopernika – Warszawska – Zamkowa – Artyleryjska – Janowska – al. Jana Pawła II – Brzeska – al. Tysiąclecia – DWORZEC PKP – al. Tysiąclecia – T. Kościuszki – al. Jana Pawła II – Orzechowa – Włoska – Sidorska – al. Solidarności – CMENTARZ KOMUNALNY	miejska	dodatkowa	17,10

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK Sp. z o.o. w Białej Podlaskiej, UM Biała Podlaska

3.1.3 Koszty eksploatacyjne

Operatorowi przysługuje rekompensata wyłącznie za prowadzoną na podstawie umowy działalność podstawową. Działalność dodatkowa niezwiązana z przedmiotem umowy rozliczana jest osobno, nie wpływając na poniżej wymienione rozliczenia. Za świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych objętych umową operator otrzymuje rekompensatę za wozokilometr zgodną

z Rozporządzeniem (WE) 1370/2007. Do rekompensaty powinny zostać wpisane wszystkie koszty związane realizacją umowy, w tym koszty własne sprzedaży, zarządu oraz finansowe, podatek dochodowy (jeżeli sytuacja tego wymaga). Jako przychody traktowane są przychody związane z biletami (zarówno bezpośrednie, wynikające z dystrybucji jak i wynikające z opłat dodatkowych), przychody

związane z działalnością dodatkową wykonywaną na taborze lub w obiektach operatora (np. reklamy, przewozy okazjonalne) oraz przychody finansowe (np. odsetki, pomoc publiczna inna niż rekompensata).

Do celów obliczenia rocznej wartości rekompensaty stosuje się następujący wzór:

$R = (K - P) \pm A + RZ$, gdzie:

- R – rekompensata roczna wyliczona na podstawie danych uwzględniających rok rozliczeniowy, tj. 01.01 – 31.12 danego roku,
- K – koszty poniesione w związku z realizacją umowy,
- P – dodatnie wpływy finansowe i przychody związane z realizacją przedmiotu umowy,

- A – wartość R za poprzedni rok rozliczeniowy, która podlega zwrotowi (-) lub uzupełnieniu (+) na podstawie rozliczenia,
- RZ – rozsądny zysk (do 6%).

Bieżąca rekompensata wypłacana jest co miesiąc w wysokości 1/12 szacowanej rekompensaty w ramach Rocznego Planu Realizacji Umowy na dany rok rozliczeniowy. Dodatkowo, także w niniejszym planie, obliczana jest stawka wynagrodzenia za jeden kilometr (nieuwzględniająca rozsądnego zysku), wspólna dla wszystkich pojazdów niezależnie od ich klasy, wielkości i normy emisji spalin. Liczba wykonywanych wozokilometrów oraz wysokość należnej rekompensaty będą weryfikowane przez organizatora w ramach sprawozdań rocznych. W przypadku zmiany założonej liczby wzmk strony dokonają stosownych rozliczeń wysokości wypłaconej rekompensaty.

Tab. 3.3 Wysokość rekompensaty przekazanej operatorowi w ostatnich latach

Rok	Suma
2019	6 799 156,75 zł
2020	7 320 435,39 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez MZK

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

Jednym z zadań własnych Gminy Miejskiej Biała Podlaska, określonym w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym, jest zapewnianie lokalnego transportu zbiorowego, poprzez organizację przewozów w komunikacji miejskiej. Biała Podlaska posiada własny plan transportowy, formalizujący organizację i sposób funkcjonowania komunikacji miejskiej. Komunikacja miejska w Białej Podlaskiej została uwzględniona w Planie gospodarki

niskoemisyjnej dla miasta Biała Podlaska, który zawiera ocenę aktualnego stanu środowiska oraz opis przedsięwzięć pozwalających na ograniczenie nadmiernego zużycia ciepła, energii elektrycznej i paliw gazowych. Dodatkowo Gmina Miejska Biała Podlaska posiada porozumienie międzygminne z gminą Biała Podlaską w sprawie powierzenia Gminie Miejskiej Biała Podlaska organizacji komunikacji miejskiej.

3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

Analizy w niniejszym rozdziale zostały wykonane według stanu na dzień 19 marca 2021 r.

3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

W ostatnich latach zakupiono 8 autobusów (w tym 7 fabrycznie nowych) przeznaczonych do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej. Pojazdy fabrycznie nowe spełniają najnowszą normę spalania – EURO 6, zaś pojazd używany normę EURO 3. Wszystkie z nich posiadają silniki zasilane standardowym ON. Największy zakup, tj. 5 pojazdów, był częścią projektu „Budowa zintegrowanego systemu zrównoważonej mobilności na terenie Miejskiego Obszaru Funkcjonalnego Biała Podlaska” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach RPO Województwa Lubelskiego na lata 2014-2020. W najbliższych latach planowany jest zakup kolejnych pojazdów niskoemisyjnych i zeroemisyjnych. Obecnie najpopularniejszymi z technologii nisko- i zeroemisyjnych są poniższe technologie:

- niskoemisyjny CNG, z powodzeniem wykorzystywany w niektórych systemach komunikacji zbiorowej, np. w Tarnowie, Przemyślu i Powiecie Lubińskim,

- zeroemisyjne pojazdy wodorowe – technologia w trakcie rozwoju, szczególnie w krajach rozwiniętych, w Polsce w fazie testów,
- zeroemisyjne pojazdy akumulatorowe – użytkowane już w wielu systemach na terenie Polski, m.in. Zielonej Górze (43 pojazdy, 48% floty) czy mniejszej Ostrołęce (2 pojazdy). Dodatkowo warto podkreślić, że w 2020 prawie co 2 autobus tego typu zakupiony na terenie Unii Europejskiej został wyprodukowany w Polsce⁷.

Jednym z przykładów pokazujących, że nie tylko duże metropolie stawiają na transport zeroemisyjny, jest wniosek złożony przez Chełm posiadający zbliżoną liczbę ludności i znajdujący się także w województwie lubelskim. W ramach Fazy I programu Zielony Transport Publiczny ogłoszonego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej miasto złożyło wniosek o dotację na wymianę całej swojej floty autobusowej (liczącej 30 pojazdów) na pojazdy wodorowe oraz elektryczne.

Tab. 3.4 Przedsięwzięcia zrealizowane w ostatnich latach (stan na 19.03.2021 r.)

Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Rok zakupu	Norma spalania
Scania Citywide LF10,9	MAXI	2	2017	2017	EURO 6
MAN Lions City	MAXI	1	2008	2018	EURO 3
Scania M323 Citywide	MAXI	5	2019	2018	EURO 6

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych operatora

⁷ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/polska-najwiekszym-eksporterem-autobusow-elektrycznych-w-ue-67498.html> dostęp: 05.03.2021

3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby obsługi białskiej komunikacji miejskiej eksploatowanych jest 35 pojazdów. Wszystkie posiadają silniki spalinowe zasilane olejem napędowym, z tego 5 posiada możliwość wykorzystywania biodiesla. Większość pojazdów jest niskopodłogowa (oprócz 1 z najstarszych pojazdów marki Solbus). Największym udziałem cechują się pojazdy o normie spalania EURO 5 – 12 pojazdów (34%).

Kolejną liczną grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 3, które stanowią 26% całego taboru. We flocie użytkowanej przez MZK Biała Podlaska znajduje się także 7 pojazdów o najnowszej normie spalania EURO 6, 5 o normie EURO 4 oraz 2 pojazdy z normą EURO 2. Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 19.04.2021 r.)

Paliwo i Norma spalania / typ pojazdu	MIDI	MAXI	Suma	Udział
ON EURO 2		2	2	5,7%
ON EURO 3	8	1	9	25,7%
ON EURO 4	5		5	14,3%
ON EURO 5		12	12	34,3%
ON EURO 6		2	2	5,7%
ON/biodiesel EURO 6		5	5	14,3%
Suma	13	22	35	100,0%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych operatora

3.2.3 Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru

Obecnie średni wiek pojazdów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej wynosi ok. 11 lat (mediana 9 lat). Najstarsze pojazdy wyprodukowano w 1999 r. – Jelcz 120MM klasy MAXI, a najmłodsze autobusy w 2019 r. – 5 szt. Scania M323 Citywide z normą spalania EURO 6.

Pojazdy w wieku 9-10 lat stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – aż 34,3 %. Kolejnymi grupami są pojazdy w wieku 15 lat i więcej lat – stanowią one 28,6% wszystkich autobusów. W Tab. 3.6 zaprezentowano obecną strukturę pojazdów według wieku i typu.

Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 01.04.2021 r.)

Wiek pojazdu / typ pojazdu	MIDI	MAXI	Suma	Udział
PONIŻEJ 3 LAT		5	5	14,3%
3-4 LATA		2	2	5,7%
5-6 LAT				
7-8 LAT				
9-10 LAT		12	12	34,3%
11-12 LAT				
13-14 LAT	5	1	6	17,1%
15 LAT I WIĘCEJ	8	2	10	28,6%
Suma	13	22	35	100,0%

Źródło: Opracowanie własne

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

- wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego,

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

Przedstawione zestawienia stanowią podstawę do wariantu bazowego odnowy taboru komunikacji miejskiej, poddanego analizom finansowym i ekonomicznym w dalszej części opracowania. Warto odnotować jeden autobus więcej w 2028 r. ze względu na przyrost dodatkowej brygady na elektryfikowanej linii H.

Tab. 3.7 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MIDI	MAXI	Suma	Udział
PONIŻEJ 2 LAT		6	6	17,1%
3-4 LATA		5	5	14,3%
5-6 LAT		2	2	5,7%
7-8 LAT				
9-10 LAT				
11-12 LAT		12	12	34,3%
13-14 LAT				
15 LAT I WIĘCEJ	9	1	10	28,6%
Suma	9	26	35	100,0%

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.8 Symulacja struktury według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MIDI	MAXI	Suma	Udział
PONIŻEJ 2 LAT		3	3	8,6%
3-4 LATA		6	6	17,1%
5-6 LAT		5	5	14,3%
7-8 LAT		2	2	5,7%
9-10 LAT				
11-12 LAT		12	12	34,3%
13-14 LAT				
15 LAT I WIĘCEJ	6	1	7	20,0%
Suma	6	29	35	100,0%

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.9 Symulacja struktury według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MIDI	MAXI	Suma	Udział
PONIŻEJ 2 LAT	3	9	12	33,3%
3-4 LATA		3	3	8,3%
5-6 LAT		4	4	11,1%
7-8 LAT		2	2	5,6%
9-10 LAT		5	5	13,9%
11-12 LAT		2	2	5,6%
13-14 LAT				
15 LAT I WIĘCEJ		8	8	22,2%
Suma	3	33	36	100,0%

Źródło: Opracowanie własne

3.2.4 Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych

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

cieplarnianych (tj. dwutlenku węgla CO₂) i substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO_x i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w Tab. 3.10

Tab. 3.10 Średnie zużycie paliwa (ON), roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych (stan na dzień 01.04.2021 r.)

Norma spalania / pojazd	Liczba autobusów danego typu	Średnioroczne zużycie paliwa w danej grupie pojazdów	Średnioroczna liczba km przejechana przez dany typ pojazdu	Średnie zużycie paliwa na pojazd	NMHC/NMVO g/km na pojazd	NO _x g/km na pojazd	PM g/km na pojazd	CO ₂ kg/km na pojazd
EURO 2								
Jelcz 120MM	2	3 281	8 440	39,72	4,37	27,80	0,60	1,03
EURO 3								
Solbus B 9,5	1	8 286	35 340	25,32	1,67	12,66	0,25	0,66
Jelcz 101M/3	7	9 817	32 549	32,54	2,15	16,27	0,33	0,85
Man Lions City	1	10 372	24 039	43,14	2,85	21,57	0,43	1,12
EURO 4								
Jelcz 101M/4	5	8 497	26 998	35,04	1,61	12,26	0,07	0,91
EURO 5								
Solbus SM12	12	17 959	49 500	37,87	1,74	7,57	0,08	0,98
EURO 6								
Scania Citywide LF10,9	2	25 426	65 904	39,71	0,52	1,59	0,04	1,03
Scania M323 Citywide	5	20 776	54 788	40,70	0,53	1,63	0,04	1,06

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.11 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez Operatora (stan na dzień 01.04.2021 r.)

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g/rok	NOx w g/rok	PM w g/rok	CO ₂ w kg/rok
EURO 2				
Jelcz 120MM	73 746,72	469 297,31	10 056,37	17 421,52
EURO 3				
Solbus B 9,5	59 047,54	447 329,88	8 946,60	23 248,45
Jelcz 101M/3	489 305,50	3 706 859,86	74 137,20	192 651,44
Man Lions City	68 452,10	518 576,50	10 371,53	26 951,25
EURO 4				
Jelcz 101M/4	217 588,08	1 655 561,47	9 460,35	122 917,40
EURO 5				
Solbus SM12	1 034 871,14	4 499 439,73	44 994,40	584 607,70
EURO 6				
Scania Citywide LF10,9	68 049,92	209 384,36	5 234,61	136 025,50
Scania M323 Citywide	144 956,71	446 020,66	11 150,52	289 755,09
roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich pojazdów w komunikacji miejskiej:	2 156 017,71	11 952 469,76	174 351,57	1 393 578,36

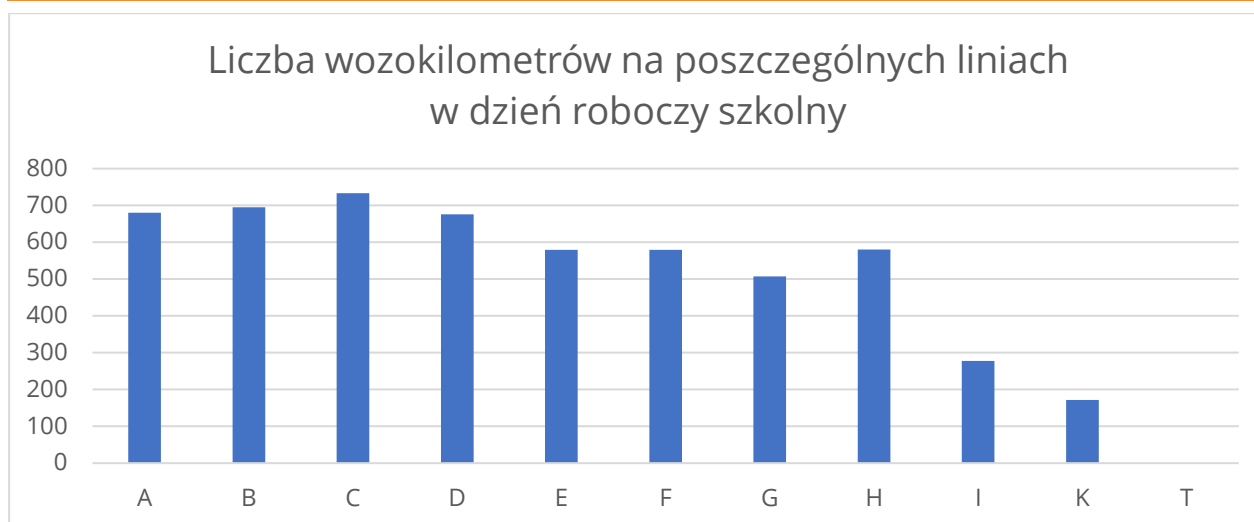
Źródło: Opracowanie własne

3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne sieci linii komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej. System został przeanalizowany pod względem liczby wozokilometrów liniowych według typu dnia i wskaźników wykorzystania taboru. Następnie przedstawiono dane dotyczące prędkości eksploatacyjnych w przekroju poszczególnych linii i całej sieci bielskiej komunikacji miejskiej oraz zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady. W końcowej części rozdziału wykonana została analiza rozkładów jazdy na podstawie bazy ze stałymi nieepidemicznymi rozkładami jazdy. Wszystkie linie komunikacyjne wykonują pracę eksploatacyjną łącznie z przejazdami technicznymi (kursy te są zamknięte dla przewoźników pasażerskich) w poszczególne dni na poziomie:

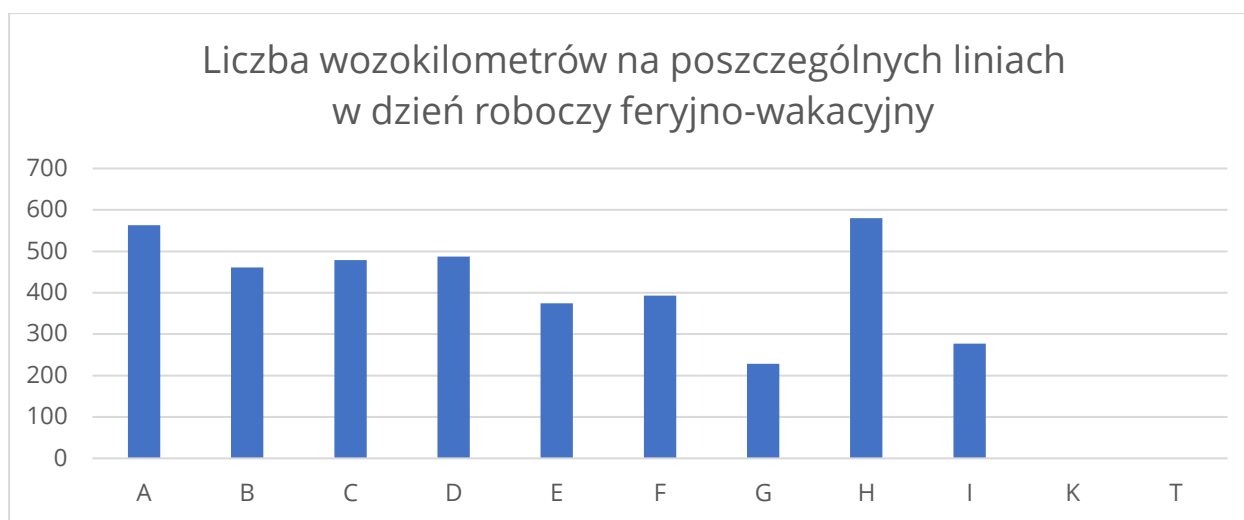
- dzień roboczy szkolny – 5 629,34 wzk,km,
- dzień roboczy feryjny – 3 936,01 wzk,km,
- sobota – 2 880,71 wzk,km,
- niedziela – 2 511,32 wzk,km.

Najwięcej kilometrów realizowanych jest zwykle na linii C, która jako jedna z kilku pełni funkcję linii podstawowej, przy czym dodatkowo jako jedyna obsługiwana jest w godzinach szczytowych przez łącznie 4 pojazdy. Najmniejszą pracą eksploatacyjną, charakteryzują się linie dodatkowe I, K oraz T, obsługiwane wyłącznie przez 1 pojazd. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano liczbę wozokilometrów liniowych na poszczególnych liniach, w wybrane typy dni tygodnia.



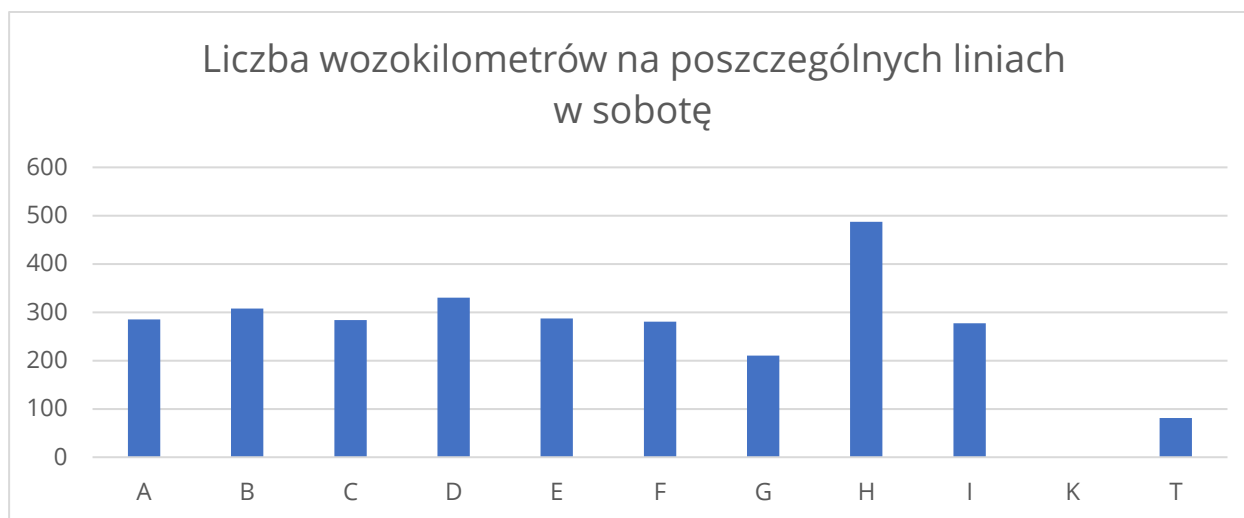
Rys. 3.2 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.3 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy feryjno-wakacyjny

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.4 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w sobotę

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedzielę i święto

Źródło: Opracowanie własne

3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

Aktualnie MKZ Biała Podlaska do realizacji przewozów dysponuje 35 autobusami, z czego do obsługi linii ekspedowanych jest:

- w dni robocze w okresie szkolnym 25 autobusów – 71% taboru,
- w dni robocze w okresie ferii i wakacji 16 autobusów – 46% taboru,

- w soboty 11 autobusów – 31% taboru,
- w niedziele 10 autobusów – 29% taboru.

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

Tab. 3.12 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu (stan na dzień 17.03.2021)

Typ dnia /typ pojazdu	MIDI		MAXI	
	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa
Roboczy szkolny	4	9	21	1
Roboczy feryjno-wakacyjny	6	7	10	12
Sobota	7	6	4	18
Niedziela	7	6	3	19

Źródło: Opracowanie własne.

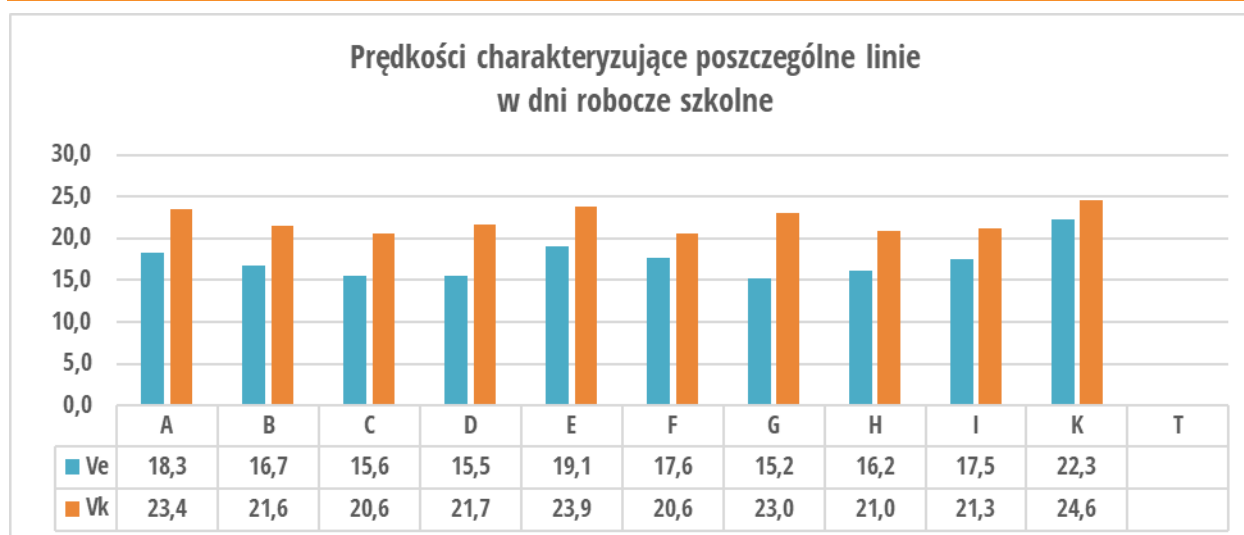
3.3.2 Prędkości eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych

Poniżej zestawiono średnie prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne dla poszczególnych typów dni:

- dzień roboczy szkolny: prędkość – 21,9 km/h (eksploatacyjna – 16,8 km/h),
- dzień roboczy feryjno-wakacyjny: prędkość – 22,2 km/h (17,3 km/h),

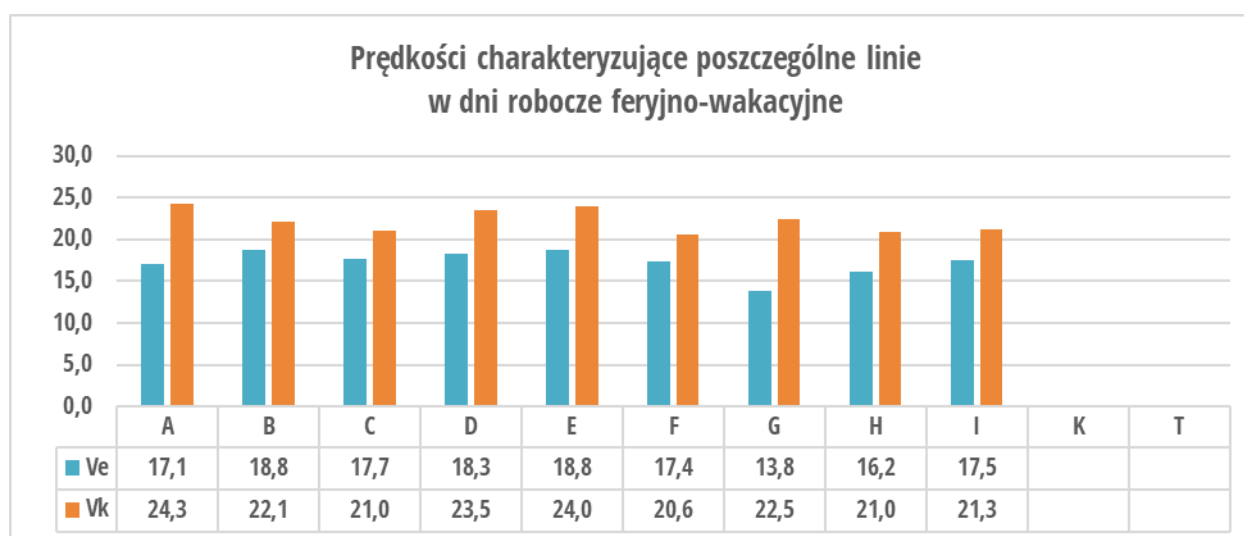
- sobota: prędkość – 21,6 km/h (17,0 km/h),
- niedziela i święto: prędkość – 21,6 km/h (17,0 km/h).

Zwykle najwyższe prędkości komunikacyjne osiągają linie A oraz E, najniższe zaś charakteryzują linie C, F oraz H.



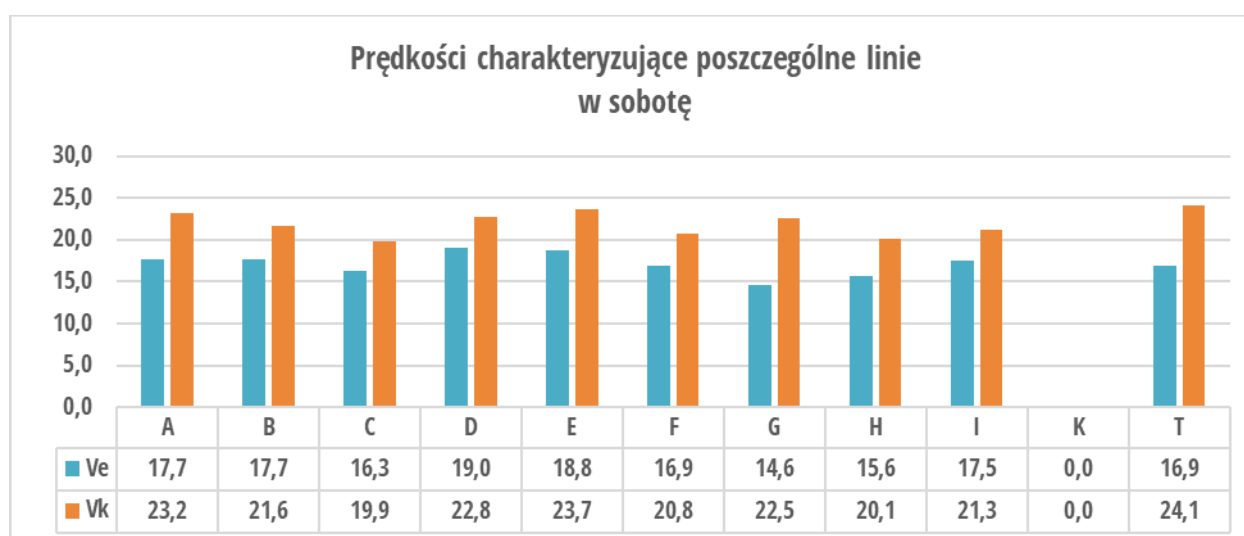
Rys. 3.6 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w dni robocze szkolne

Źródło: Opracowanie własne



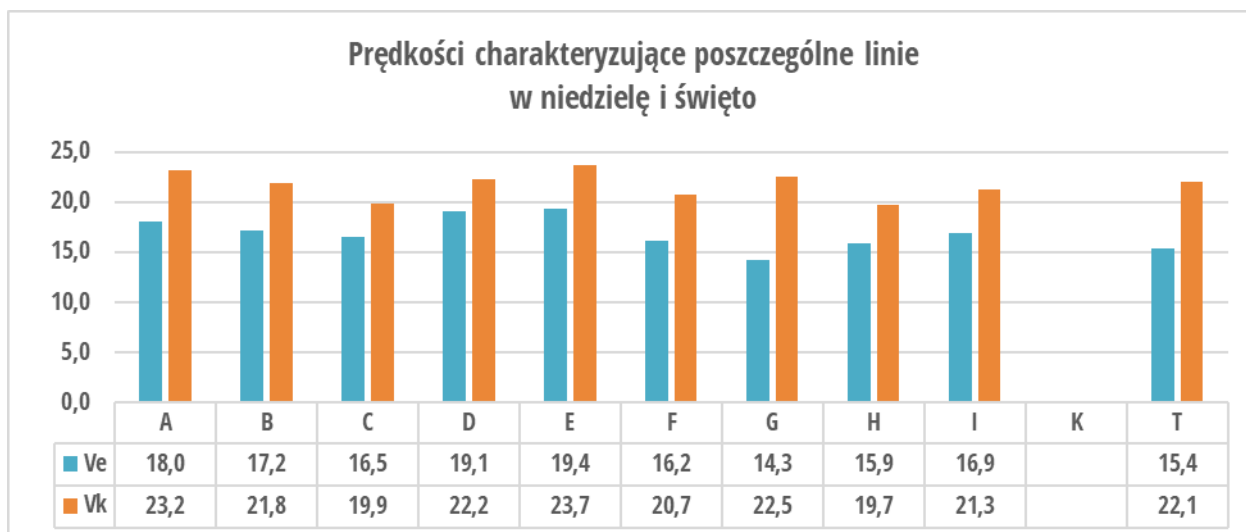
Rys. 3.7 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w dni robocze feryjno-wakacyjne

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.8 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w sobotę

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.9 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w niedzielę i święto

Źródło: Opracowanie własne

3.3.3 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzkm przez brygady

Wszystkie brygady w dzień roboczy szkolny wykonują łącznie 5 629,34 wzkm. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie na dystansie o długości 104,83 km, zaś najdłuższe zadanie ma przebieg o długości 342,89 km. Przeciętna długość pracy eksploatacyjnej brygady w całej sieci wynosi 225,17 km. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

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

Równanie 1 Współczynnik zmienności

gdzie:

s – odchylenie standardowe

$\bar{x}$ – przeciętna długość brygady.

Cała sieć charakteryzuje się przeciętnym zróżnicowaniem przebiegów brygad na poziomie 27%.

Tab. 3.13 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny (stan na dzień 19.03.2021)

Parametr	Cała sieć
liczba brygad	25
minimalna długość w km	104,83
maksymalna długość w km	342,89
średnia długość w km	225,17
odchylenie standardowe	60,73
współczynnik zmienności	27%
Suma km	5 629,34

Źródło: Opracowanie własne

3.3.4 Analiza rozkładów jazdy

Ze względu na ograniczenia techniczne wynikające ze zmniejszonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych (względem napędzanych w sposób

konwencjonalny) wykonano pogłębioną analizę rozkładów jazdy. Analiza posłużyła do wskazania linii lub brygad, które mogłyby zostać obsługiwane przez autobusy zeroemisyjne. Sprawdzono

również najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych, warunkujących liczbę autobusów niezbędnych do obsługi linii po elektryfikacji. Szczegółową analizę rozkładów jazdy dla

każdego wariantu dokonano w następnym rozdziale. W Tab. 3.14 zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

Tab. 3.14 Liczba brygad, stan taboru oraz wykorzystanie pojazdów w dni robocze szkolne (stan na dzień 19.03.2021)

Stan obecny	MIDI	MAXI	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	4	21	25
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych	0		
Liczba brygad w ruchu	4	21	25
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	13	22	35
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0		
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	31%	95%	71%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych	-		
Udział pojazdów zeroemisyjnych	0%		

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnej tabeli przedstawiono najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. Trasa podstawowa oznacza główny wariant z systemów informacji pasażerskiej. Długości postojów na wszystkich innych przystankach krańcowych są przedstawione w kolumnie „krańce wariantowe”. W białskiej komunikacji miejskiej wiele linii posiada rozbudowaną wariantowość, jednakże głównie obejmują one przejazdy na terenie miejscowości gminy Biała Podlaska, podczas gdy większość kursów realizowana jest na terenie miasta. 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.



Rys. 3.10 Wewnętrzna tablica informacyjna w autobusie MZK Biała Podlaska.

Źródło: www.mzkbp.pl

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

Najczęściej występujące długości przerw między kursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Inter-wały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Inter-wały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
A	Sidorska	Warszawska	30/60	4-29	1-14	1-2	20/30	9-14	24	3-19
B	Grzybowska	Francuska	30/60	2-8	0-13	0-31	30	6-22	23	5-17
C	Terebelska	Robotnicza	30/60	4-21	5-18	-	20/30	2-15	1-48	2-3

Najczęściej występujące długości przerw między kursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
D	Al. Solidarności	Terebelska	30/60	1-12	7-25	-	20/30	2-8	5-21	-
E	Twarda	Cmentarz Komunalny ⁸	30	0-2	10-19	-	30	0-1	8	10-13
F	Sidorska	Akademicka	60	5	2	-	20	5	0-2	1
G	Terebelska	Sidorska	30/60	2-16	7-21	-	20	6-18	5-17	6-7
H	Terebelska	Sidorska	30/60	2	28	6-10	30/60	2	28	6
I	Twarda	Terebelska	p2	2	24-34	-	p1,5	2	6-8	-
K	Akademicka	Cmentarz Komunalny	-	-	-	-	60	1-2	4	-
T	Terebelska	Cmentarz Komunalny	Linia nie kursuje w dni robocze							

Źródło: Opracowanie własne

⁸ Ze względu na czasowe wyłączenie z użytku pętli Białka Zajazd

4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W rozdziale 4 przedstawiono 4 warianty inwestycyjne:

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

Każdy typ pojazdu został scharakteryzowany pod względem podstawowych parametrów technicznych, analizy ostatnich postępowań na kupno takich pojazdów. Następnie oceniono możliwość wprowadzenia danego wariantu w analizowanej sieci komunikacyjnej w Białej Podlaskiej oraz potencjalne koszty wprowadzenia. Pod koniec rozdziału

przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania dwóch wariantów do dalszych analiz kosztów i korzyści wynikających z ich wdrożenia.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych, w sieci komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej 35 pojazdach, teoretycznie wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi⁹:

- w terminie od 01.01.2021 r. – 2 pojazdy (tj. 5% spośród planowanej posiadanej liczby autobusów),
- w terminie od 01.01.2023 r. – 4 pojazdy (tj. udział na poziomie 10%),
- w terminie od 01.01.2025 r. – 7 pojazdów (tj. udział na poziomie 20%),
- w terminie od 01.01.2028 r. – 11 pojazdów (tj. udział na poziomie 30%).

4.1 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

Wśród pojazdów zeroemisyjnych coraz większą popularność zyskują autobusy o napędzie elektrycznym opartym o ogniwa paliwowe. Do końca pierwszego kwartału 2018 r. w Europie pojawiło się ponad 70 takich pojazdów, którymi przejechano ponad 10 mln km. Rozwiązanie to jest atrakcyjne nie tylko ze względu na korzyści związane z ochroną środowiska (w wyniku utleniania wodoru powstaje tylko para wodna), ale także na brak konieczności inwestowania w dodatkową infrastrukturę do doładowywania

pojazdu w trakcie wykonywania zadania. Najważniejszą inwestycją infrastrukturalną jest scentralizowana stacja tankowania wodoru (HRS), która umiejscowiona może być, np. na terenie zajezdni autobusowej.

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

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

Obecnie autobusy napędzane wodorem są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak: Londyn, Pau, Hamburg, Oslo, Mediolan, Kolonia czy Wuppertal. Są to niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk,

poza rekordowym przewoźnikiem z Kolonii posiadającym aż 35 autobusów wodorowych we flocie. Mimo wszystko ich liczba wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie dzięki programowi współfinansowanemu przez Unię Europejską o nazwie JIVE & JIVE 2, do końca 2021 roku zakontraktowano ponad 200 nowych pojazdów napędzanych wodorem¹⁰. W ramach zakończonego 1 etapu programu „Zielony Transport Publiczny” NFOŚiGW złożono 4 wnioski o dotację na zakup ponad 120 pojazdów zasilanych czystym wodorem. Beneficjentami mogą zostać MPK Poznań, MPK Włocławek, Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia i Miasto Chełm.¹¹

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

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

Źródło: Opracowanie własne

4.1.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy napędzane energią pochodzącą z czystego wodoru różnią się od klasycznych autobusów elektrycznych tym, że głównym źródłem prądu elektrycznego są ogniwa wodorowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję wspomagającą (są doładowywane w trakcie jazdy). Rozwiązanie to jest

korzystniejsze ze względu na krótki czas tankowania i wysoką operacyjność autobusu wyposażonego w ogniwa paliwowe. Zbiorniki na wodór umieszczane na dachu autobusu mają pojemność 35-40 kg, co wystarcza na przejechanie ok. 350-450 km, bez konieczności doładowania akumulatora na trasie (jak to ma

¹⁰ https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses_web.pdf, dostęp 18.04.21

¹¹ <https://www.transport-publiczny.pl/mobile/zielony-transport-publiczny-samorzady-mierza-wysoko-67564.html>, dostęp 18.04.21

miejsce w przypadku obecnie eksploatowanych pojazdów elektrycznych (akumulatorowych). Tankowanie zajmuje około 10 minut, a wodór przechowywany jest w pojemnikach pod ciśnieniem ok. 35 MPa. Dodatkowo cały czas prowadzone są badania nad możliwościami zwiększenia gęstości zmagazynowanej energii, ostatnio w ramach wykorzystania wodoru magnezu – dzięki, któremu możliwe jest zmniejszenie wymiarów zbiornika i wymagań infrastruktury ładowania ze względu na zmniejszenie ciśnienia do ok. 0,6 MPa, umożliwiając tankowanie zmodyfikowanym pistoletem ON/Pb)¹².

Eksploatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością budowy odpowiedniej infrastruktury do tankowania (należy zaznaczyć, że obecnie w Polsce nie występują stacje tankowania wodorem – czysty wodór na potrzeby transportowe nie jest dystrybuowany). Pojawiły się natomiast pierwsze porozumienia mające na celu stworzenie infrastruktury do ładowania takich pojazdów¹³. Obecnie planowane jest uruchomienie kilku pilotażowych stacji: w Poznaniu, Gdańsku oraz Warszawie.

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne

¹²

<https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformation/en/2021/februar-2021/wasserstoffantriebe-fuer-e-scooter-und-co.html>, dostęp 05.04.2021

¹³ Miasto Gdynia i Grupa Lotos podpisały list intencyjny dotyczący ewentualnych dostaw wodoru (data podpisania

3 kwietnia 2018 r.), w późniejszym czasie także Wejherowo, Tczew oraz niedawno (22.10.2020) Rzeszów. Krakowskie MPK podpisało podobne porozumienie z PKN Orlen w maju 2020.

4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

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

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów napędzanych wodorem o długości 13 m, cena może być niższa. Kontrakt wart był 13 mln euro, co oznacza, że jeden autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. Rynek autobusów napędzanych wodorem jest młody i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹⁵. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie 3,22 mln zł netto (0,75 mln euro netto).

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

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam ¹⁶	2	Van Hool 13m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia	30	Van Hool 13m	13,0mln €	430 tys. €
Aberdeen ¹⁷	10	Van Hool 13m	brak danych	~500 tys. £≈560 tys. €
Wuppertal	10	Van Hool	12,0 mln €	650 tys. €

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)¹⁸ i wymagań, jakie stawiają założenia odnośnie do taboru i jej użytkowników. Według danych opublikowanych

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

¹⁵ https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null_Emissio/2018_Datenblatt_Van_Hool.pdf, dostęp 22.03.2021

¹⁶ <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp 22.03.2021

¹⁷ <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses>, dostęp 22.03.2021

¹⁸ <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing>, dostęp 22.03.2021

przez stowarzyszenie UKH2Mobility, na budowę sieci stacji tankowania wodoru w największych miastach do 2030 roku potrzeba 418 mln funtów. Kwota ta ma pokryć koszty budowy blisko 1200 stacji, co oznacza, że średnio jedna

stacja będzie kosztować 350 tys. funtów, czyli około 400 tys. euro. W artykułach traktujących o stacjach tankowania wodoru do aut osobowych, padają kwoty między 0,6 mln 2,0 mln \$ oraz między 1,0 a 2,24 mln €¹⁹²⁰.

4.1.4 Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Białej Podlaskiej

Do obsługi komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej przeznaczonych jest 35 pojazdów. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej, niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych dla 11 autobusów z wodorowymi

ogniwami paliwowymi. Wymianę autobusów spalinowych na autobusy napędzane wodorem założono w stosunku 1 do 1. Jednostkowa cena pojazdów została ustalona na podstawie obecnych cen rynkowych.

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

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	38,20 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	2,00 mln zł
Stacja tankowania wodoru	9,26 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	49,46 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

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

²⁰ <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp 22.04.2021

4.2 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

4.2.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

Obecnie liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych dynamicznie wzrasta. W marcu 2021 r. w Polsce zarejestrowane były 472 autobusy elektryczne akumulatorowe²¹. Większość z nich wprowadzono do eksploatacji w 2020 r., kiedy zarejestrowano aż 201 sztuk (wzrost o 253% względem 2019 r.)²². Autobusy elektryczne w Polsce produkuje wielu producentów, w tym ARP E-Vehicles Sp. z o.o., Autosan sp. z o.o., MAN Truck & Bus, Solaris Bus & Coach S.A oraz Volvo Polska sp. z o.o. Autobusy elektryczne mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów 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 przeważnie akumulatorów litowo-jonowych m.in.:

- litowo-niklowo-manganowo-kobaltowych – NMC, które charakteryzują się niskimi kosztami, niską masą, ale również niską żywotnością i małym zakresem temperatur pracy (>-10°C),
- litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe

i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C,

- litowo-tytanowych LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²⁴.

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

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

²¹ <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-znaczny-wzrost-rejestracji-bev-i-phev-w-i-kwartale-2021-r/>

²² <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-rok-2020-rekordowy-na-polskim-ryнку-samochodow-elektrycznych/>

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

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

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

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 ładowarki tego typu są stosowane na obszarach zabytkowych centrów miast. Do ich wad należy zaliczyć dużą wrażliwość na niskie temperatury, przez co nie jest wskazane ich stosowanie w polskiej strefie klimatycznej. Jest to też zdecydowanie najdroższe rozwiązanie spośród zaprezentowanych metod.



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

Źródło: Zbiory własne

Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast

Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowarki zawarte w cenie
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
Łomianki	Solaris	12m	2	2,300	2x plug-in
Nowy Sącz	Ursus	12m	2	3,080	1x plug-in i 1x pantografowe
Szczecin	Ursus	12m	11	2,830	Brak
Włocławek	Solaris	12m	3	2,285	5x plug-in
Warszawa	Solaris	18m	130	2,166	brak
Radom	Solaris	12m	10	2,599	10x plug-in i 2x pantografowe

Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowarki zawarte w cenie
Kutno	Solaris	12m	6	1,877	brak
Sochaczew	Solaris	10m	3	1,743	brak
Katowice	Solaris	12m	5	2,490	5x plug-in
Tychy	Solaris	12m	2	2,300	1x plug-in i 1x pantografowa
Ostrów Wielkopolski	Solaris	12m	10	2,408	5x plug in
Bełchatów	Solaris	12m	3	2,028	2x plug in
Chodzież	Solaris	9m	1	1,894	1x plug in
Świdnica	Volvo	12m	2	2,803	1x plug-in i 1x pantografowa

Źródło: Opracowanie własne

W Tab. 4.5 przedstawione zostały ceny jednostkowe pojazdów w wybranych przetargach na zakup autobusów elektrycznych akumulatorowych w przeciągu ostatnich lat. Na ich podstawie do dalszych analiz przyjęto następujące kwoty netto, niezbędne do zakupu

autobusów (z możliwością ładowania za pomocą pantografu):

- MIDI – 2,0 mln zł,
- MAXI – 2,3 mln zł,

4.2.2 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 (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 funkcjonujących brygad będzie większa niż analogiczna liczba pojazdów spalinowych (autobusy elektryczne akumulatorowe musiałyby zjeżdżać do zajezdni po wykonaniu około 150 km na kilkugodzinne ładowanie).

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

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

możliwy zasięg na naładowanym akumulatorze. Przy analizie przyjęto założenie, że jeden autobus elektryczny może przejechać 150 km na naładowanym akumulatorze. Wariant zakłada ładowanie pojazdów jedynie na zajezdni do pełnego naładowania akumulatorów.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MIDI	MAXI	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	3	16	19
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe	-	11	11
Przyrost liczby brygad w ruchu	-1	6	5
Liczba brygad w ruchu	3	27	30

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy dla dnia roboczego szkolnego pozwalają na obsługę bez zwiększania liczby pojazdów w ruchu wyłącznie 4 brygad, które wykonują poniżej 150km (kursują jako dodatki na liniach C, G, F), jednakże ze względu na chęć zachowania elektryfikacji pełnych służb brygady z linii C zostaną pominięte, a w ich miejsce proponowana jest pełna elektryfikacja linii G, H oraz I. Tym samym brygady elektryczne obsłużą linie: G (1 brygada MAXI zamiast MIDI, 4 brygady MAXI zamiast 2 MAXI ON), H (4 brygady MAXI zamiast 2 MAXI ON) oraz I (2 brygady MAXI zamiast 1 MAXI ON). Dodatkowo w związku z obecnie relatywnie dużą rezerwą pojazdów MIDI w stosunku do zapotrzebowania (w dni wolne od pracy obecnie wykorzystywanych jest 7 pojazdów tego typu) i małą rezerwą pojazdów MAXI w dni robocze szkolne (wykorzystywane są prawie wszystkie dostępne pojazdy, tj. 21 z 22) zaproponowano zmianę w rozkładzie taboru polegającą na zmniejszeniu o 6 liczby pojazdów MIDI (do 7 szt.), zwiększeniu o 3 liczby pojazdów MAXI (do 25 szt.). Dzięki temu zabiegowi możliwe będzie skompensowanie wzrostu wymaganej

liczby pojazdów w związku z elektryfikacją łącznie do 2 pojazdów (wzrost z 35 na 37). Dodatkowo pojazdy MAXI elektryczne charakteryzują się liczbą miejsc na poziomie pomiędzy pojazdem spalinowym MAXI i MIDI, przez co postanowiono wykorzystać je do obsługi innych linii, w dni o zmniejszonym zapotrzebowaniu taborowym na liniach elektryfikowanych w całości.

Do obsługi przewozów łącznie będzie potrzebnych 37 pojazdów – o 2 więcej niż obecnie, ze względu na wycofanie najstarszych pojazdów oraz zmniejszenie udziału pojazdów MIDI. Jednocześnie 11 spośród pojazdów MAXI wykorzysta napęd elektryczny (30% floty). Rozwiązanie to pozwoli osiągnąć ustawowy wymóg 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie o 5 sztuk – z poziomu 25 brygad do 30 brygad w dzień roboczy szkolny. Przyrost liczby autobusów w ruchu wynika z ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych, który nie pozwala na wymianę autobusów spalinowych w stosunku 1:1.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MIDI	MAXI	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	7	19	26
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	-	11	11
Stan taboru	7	30	37
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	43%	84%	73%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	100%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	37%	30%

Źródło: Opracowanie własne

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

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

Koszt zakupu jednej ładowarki pantografowej szybkiego ładowania to około 600 000 zł netto, a w autobusie konieczny będzie montaż dodatkowej instalacji i urządzeń do ładowania. Liczba ładowarek pantografowych i plug-in zależy przede wszystkim od dystansu przejeżdżanego podczas zaplanowanej pracy

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



Rys. 4.2 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze

Źródło: Zbiory własne

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

Analogicznie jak w modelu wyłącznie z ładowarkami plug-in wykonana została pogłębiona analiza rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od operatora komunikacji miejskiej oraz analiza wielokryterialna linii. Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, oprócz budowy stacji szybkiego ładowania na terenie miasta, zakłada budowę 3 ładowarek dwustanowiskowych lub 6 ładowarek jedno stanowiskowych wolnego ładowania na zajezdni. W analizie przyjęto następujące założenia:

W celu wyboru optymalnych linii do wykorzystania autobusów elektrycznych,

przeprowadzona została analiza wielokryterialna, uwzględniająca aspekty techniczno – eksploatacyjne oraz społeczne, w ramach których preferowane są linie posiadające następujące cechy:

- niskie prędkości komunikacyjne,
- obsługa krańców podstawowych na terenie gminy - organizatora przez co najmniej 2 linie w wariantcie podstawowym,
- posiadanie krańców wspólnych z innymi liniami,
- stosunek liczby brygad w ruchu w szczycie do godzin pozaszczytowych,

- niskie zróżnicowanie typów taboru obsługujących linię,
- przebieg linii przez:
 - zabytkowe centrum miasta,
 - węzeł przesiadkowy o znaczeniu lokalnym,
- węzeł przesiadkowy o znaczeniu międzyregionalnym,
- większość trasy w granicach miasta (min. 50% wariantu podstawowego),
- osiedla mieszkaniowe.

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

Aspekt	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	T
Techniczno - eksploatacyjny	2,43	1,80	2,03	2,13	1,90	2,37	2,77	2,50	2,77	2,23	1,17
Społeczny	1,67	1,40	1,40	1,67	1,23	1,67	1,33	1,67	1,40	0,22	0,92
Suma ocen	4,10	3,20	3,43	3,80	3,13	4,03	4,10	4,17	4,17	2,45	2,08

Źródło: Opracowanie własne

Dla zmaksymalizowania korzyści wynikających z niższych kosztów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych akumulatorowych założono, że będą one silniej eksploatowane od autobusów spalinowych, pomimo konieczności wydłużenia przerw międzykursowych na doładowanie akumulatorów; przyjęto, że nawet jeśli zwiększy się liczba pojazdów w ruchu przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny typu MAXI w ruchu będzie wyższa o 50% (do poziomu ok. 55 tys. rocznie) w porównaniu do obecnego, średniego przebiegu autobusu tego typu.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej elektryfikacji wybrano linie: A, G, H oraz I, natomiast częściowej elektryfikacji podlegać będzie linia F. Założono, że uzupełniając autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały linie C, D, E oraz T w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy

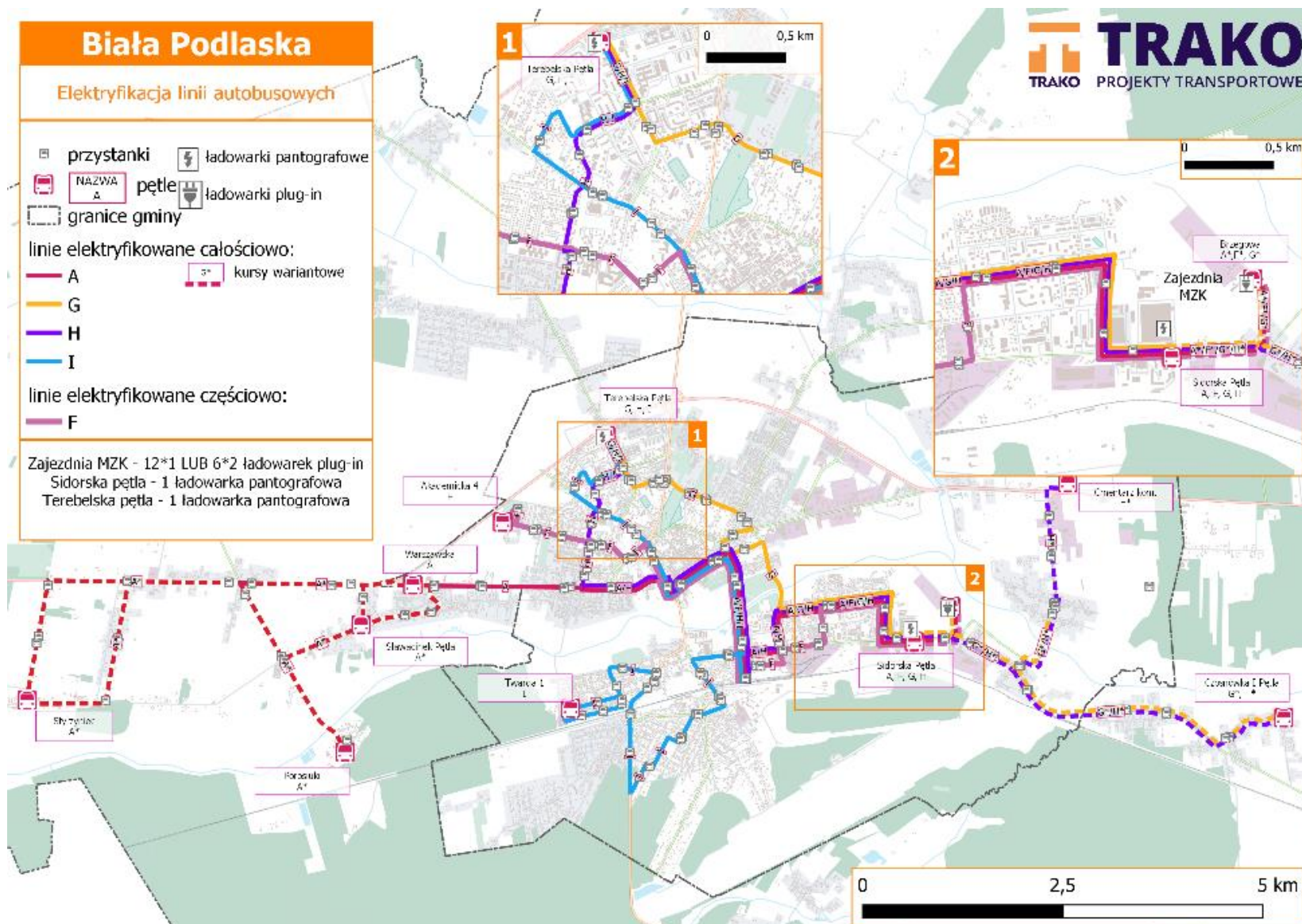
na liniach całkowicie lub częściowo zelektryfikowanych.

Przewidziano również lokalizację ładowarek szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu na pętli przy ul. Sidorskiej oraz przy ul. Terebelskiej.



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

Źródło: Zbiory własne



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

Źródło: Opracowanie własne

Linie A, G, H oraz I obecnie obsługuje maksymalnie 10 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, do obsługi przewozów łącznie będzie potrzebny 1 dodatkowy pojazd. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie zatem o 1, osiągając poziom 26 brygad w dzień roboczy szkolny.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MIDI	MAXI	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	3	12	15
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:	-	11	11
Przyrost liczby brygad w ruchu	-1	2	1
Liczba brygad w ruchu	3	23	26

Źródło: Opracowanie własne

Obecnie występuje względnie duży udział pojazdów klasy MIDI, które należą także do najstarszych wśród wykorzystywanych pojazdów. Z tego względu założono, że w ramach projektu elektryfikacji wystąpi także zmiana struktury udziałowej klas taboru, powodując spadek udziału pojazdów typu MIDI przy równoczesnym wzroście udziału autobusów typu MAXI. W modelu opartym o ładowanie

pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 36 pojazdów, w tym 11 autobusów o napędzie elektrycznym (30%). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych dla obecnego ilostanu operatora (11 sztuk stanowiących 30% spośród 36 użytkowanych pojazdów).

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

Wariant W1	MIDI	MAXI	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	7	18	25
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	-	11	11
Stan taboru	7	29	36
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	43%	67%	60%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	100%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	38%	31%

Źródło: Opracowanie własne

4.3 Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów

4.3.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów

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

funkcjonowania komunikacji trolejbusowej potrzebne są także punktowe elementy infrastruktury: podstacje trakcyjne oraz zaplecze techniczne (zajezdnia trolejbusowa).

Na przykładzie Gdyni, sieć trakcyjna jest zasilana z podstacji o mocy 1-2 MW, rozmieszczonych od siebie w odległościach 2-4 km. Obecnie najbardziej popularnymi pojazdami w polskich systemach trolejbusowych są pojazdy produkcji krajowej w wersji 12 i 18 metrowej. W ostatnim czasie we wszystkich miastach posiadających sieć trolejbusową w Polsce (Gdyni, Lublinie i Tychach) dokonano zakupu nowych trolejbusów z bateriami litowo-tytanowymi o mocy co najmniej 55 kWh, w celu obsługi odcinka bez sieci trakcyjnej. Baterie mają pozwolić na przejechanie odcinka o długości 10-30 kilometrów. Dodatkowo w ramach polskiego prawa, do trolejbusów można także zaliczyć zamawiane w 2020 r. przez Tyskie Linie Trolejbusowe pojazdy akumulatorowe, których podstawową metodą ładowania mają być odbieraki podłączone do trolejbusowej sieci trakcyjnej (automatycznie ładowanie w trakcie postoju, ale także możliwość wymuszenia ładowania w trakcie jazdy).



Rys. 4.5 Trolejbus typu MAXI w Tychach

Źródło: Zbiory własne

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.

4.3.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

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



Rys. 4.6 Trolejbus typu MEGA18 w Uście nad Labem

Źródło: Zbiory własne

Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²⁵. W 2018 r., także w Lublinie, przeprowadzono postępowanie na zakup taboru – 10 szt. trolejbusów klasy MAXI.

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: 22.03.2021)

Wymogi dotyczące wyposażenia pojazdów były podobne, jak w postępowaniu przeprowadzonym w 2017 r. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 70 kWh, a koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 2,17 mln zł brutto²⁶. W Gdyni w 2018 r. zakupiono 14 sztuk trolejbusów MAXI z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 typu MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy trolejbus przegubowy klasy MEGA kosztował 3,15 mln zł brutto²⁷. W marcu 2019 rozstrzygnięto zaś przetarg na dostawę 6 pojazdów MAXI o większych bateriach (min. 84 kWh), przy cenie

pojedynczego pojazdu na poziomie 2,77 mln zł brutto²⁸. Zakupu nowego taboru dokonano także w trzecim systemie trolejbusowym – w Tychach, gdzie rozpisano przetarg na dostawę trzech pojazdów klasy MAXI z bateriami nie mniejszymi niż 55 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,29 mln zł brutto²⁹. Pod koniec 2020 r. także w tym mieście rozpisano przetarg na zakup 6 pojazdów klasy MAXI akumulatorowych o minimalnej pojemności 80 kWh, których podstawową metodą ładowania mają być odbieraki i trolejbusowa sieć trakcyjna. 5 marca 2021 rozstrzygnięto przetarg, przeznaczając na realizację tego zadania prawie 18,23 mln zł brutto (3,04 mln zł brutto za pojazd)³⁰.

4.3.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową

W latach 2013-2015 w Lublinie wybudowano za 42 mln zł zajezdnię trolejbusową na 100 trolejbusów i 25 pojazdów zaplecza technicznego³¹. W ostatnim czasie dokonano także rozbudowy sieci trakcyjnej. Budowa 2,5 km nowej trakcji (w jedną stronę), podstacji trolejbusowej, przyłączy zasilających na przystankach kosztowała 5,47 mln zł brutto (1,1 mln zł brutto za km)³².

W Tychach 1 km (w jedną stronę) trakcji, budowa jednej stacji transformatorowo – prostownikowej, przebudowa sieci trakcyjnej na jednym skrzyżowaniu z połączeniem

projektowanej sieci z istniejącą siecią kosztowała 8,73 mln zł brutto³³.



Rys. 4.7 Trolejbus typu MAXI w Pireusie

Źródło: Zbiory własne

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: 22.03.2021)

²⁷ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html> (dostęp: 22.03.2021)

²⁸ <https://bip.um.gdynia.pl/zamowienia-publiczne/738/postepowanie-na-dostawe-autobusow-elektrycznych-ladowanych-w-ruchu-i-na-postoju,529604> (dostęp: 04.03.2021)

²⁹ <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727> (dostęp: 22.03.2021)

³⁰ <https://platformazakupowa.pl/transakcja/384851> (dostęp: 04.03.2021)

³¹ http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184 (dostęp: 22.03.2021)

³² <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczzone/2016/2016-12-14-robota-budowlana-przetarg-nieograniczony-na-budowe-trakcji-trolejbusowej-w-ul-jana-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-jana-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-jana-pawla-ii-i-ul-/2017-01-25-informacja-z-otwarcia-ofert,4,14202,1.html> (dostęp: 22.03.2021)

³³ https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa_more_106289/ (dostęp: 22.03.2021)

4.3.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Białej Podlaskiej

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej powinien wynosić 30%. MZK Biała Podlaska użytkuje 35 pojazdów (w tym maksymalnie 25 pojazdów w ruchu). Zatem MZK powinno posiadać 11 pojazdów zeroemisyjnych w celu spełnienia wymogów płynących z uepa. W niniejszym rozdziale sporządzono analizę możliwości rozpoczęcia eksploatacji trolejbusów w Białej Podlaskiej, w której wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy założono w stosunku 1 do 1. Optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby całkowitą elektryfikację linii A, D, H oraz I, a częściowo linii F (oprócz brygady szczytowej). Co istotne, linie tworzące niniejszą grupę posiadają relatywnie długie, wspólne odcinki tras, a ich brygady realizują względnie dużą liczbę wozokilometrów oraz przebiegają przez obszar starego miasta i osiedli mieszkaniowych.

Jedną z ważnych kwestii technicznych związanych z trakcją trolejbusową jest umieszczenie sieci trolejbusowej. Na terenie miasta Biała Podlaska w kilku miejscach wykorzystywana jest napowietrzna sieć średniego napięcia. Normy prawne (PN-E-05100-1:1998) w tej sytuacji gwarantują minimalny prześwit na poziomie ok. 5,1m od powierzchni jezdni, podczas gdy sieć trolejbusowa najczęściej zawieszona jest na wysokości 5,5m od poziomu jezdni, występuje więc kolizja infrastruktury. Wszystkie planowane do elektryfikacji linie przejeżdżają pod siecią elektroenergetyczną we wspólnym miejscu – w ramach al. Tysiąclecia w okolicy mostu na Krznie, jednakże na terenie miasta istnieje jeszcze kilka punktów, w których mogłaby wystąpić kolizja infrastruktury. Należy przy tym zaznaczyć, że poza ul. Sidorską są to odcinki końcowe pojedynczych linii, na których, ze względu na wykorzystanie trolejbusów z akumulatorami, nie zaistnieje konieczność budowy napowietrznej sieci trakcyjnej. Dodatkowo obecnie prowadzone są przez

operatorów sieci energetycznej projekty mające na celu zmniejszenie udziału sieci napowietrznej w ramach sieci elektroenergetycznej średniego napięcia (m.in. Polityka energetyczna Polski do 2040 r. zakłada ograniczenie udziału sieci napowietrznej do poziomu unijnego, tj. o ok. 50%). Z tego też powodu założono budowę sieci trakcyjnej także w miejscach tych kolizji, a koszty związane z ewentualnym przeniesieniem sieci elektroenergetycznej ujęto łącznie jako ok. 1 mln zł, choć byłyby to koszty inwestycyjne ponoszone głównie przez operatora sieci elektroenergetycznej, kompensowane przez obniżenie kosztów eksploatacji sieci elektroenergetycznej.

W celu minimalizacji kosztów, sieć trakcyjna nie zostanie zbudowana na całości tras poszczególnych linii, gdyż przewidziano wykorzystanie pojazdów z akumulatorami ładowanymi zarówno w trakcie postoju na pętli, jak i w trakcie jazdy na odcinkach z siecią trakcyjną, wykorzystywanymi już w regularnej eksploatacji w pozostałych polskich systemach. Do zasilania sieci trakcyjnej potrzebnych będzie 5 podstacji trakcyjnych. Obecnie linie te w szczycie komunikacyjnym dnia roboczego obsługiwane są przez łącznie 12 autobusów MAXI. Ze względu na brak konieczności wydłużania postojów do celów doładowania pojazdów, w niniejszej analizie założono, że liczba pojazdów nie zmieni się, więc do spełnienia wymogów uepa założono wprowadzenie 11 trolejbusów.

Na linii A trolejbusy mogłyby poruszać się z napędem bateryjnym na odcinku na zachód od skrzyżowania Warszawska/Artyleryjska (Warszawska oraz miejscowości Porosuki, Sławacinek i Styrzyniec). Linia D korzystałaby z trakcji na całości trasy kursów miejskich (tj. Terebelska – al. Solidarności). Linia F korzystałaby z akumulatorów na ul. Kąpielowej oraz na zachodzie miasta na odcinku Zamkowa -

Akademicka. Linia H korzystałaby z napędu bateryjnego na odcinkach Królowej Jadwigi / Radziwiłłowska – Warszawska / Artyleryjska oraz fragmentach kursów wariantowych do Czosnówki i Cmentarza Komunalnego. Linia I wykorzystywałaby sieć trakcyjną na odcinku od Terebelska – Królowej Jadwigi / Radziwiłłowska oraz Sidorska / Kolejowa – Twarda.

Wprowadzenie trolejbusów wymagać będzie nieznacznych zmian przydziałów pojazdów do brygad poza godzinami szczytu, aby w ramach planowanej floty 11 trolejbusów ich wykorzystanie było jak najwyższe, wzmacniając pozytywny efekt wprowadzenia pojazdów zeroemisyjnych. W analizowanym wariantcie łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Białej Podlaskiej docelowo może wynieść 29,6 km.

Tab. 4.10 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1,80 mln zł	11	19 800 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

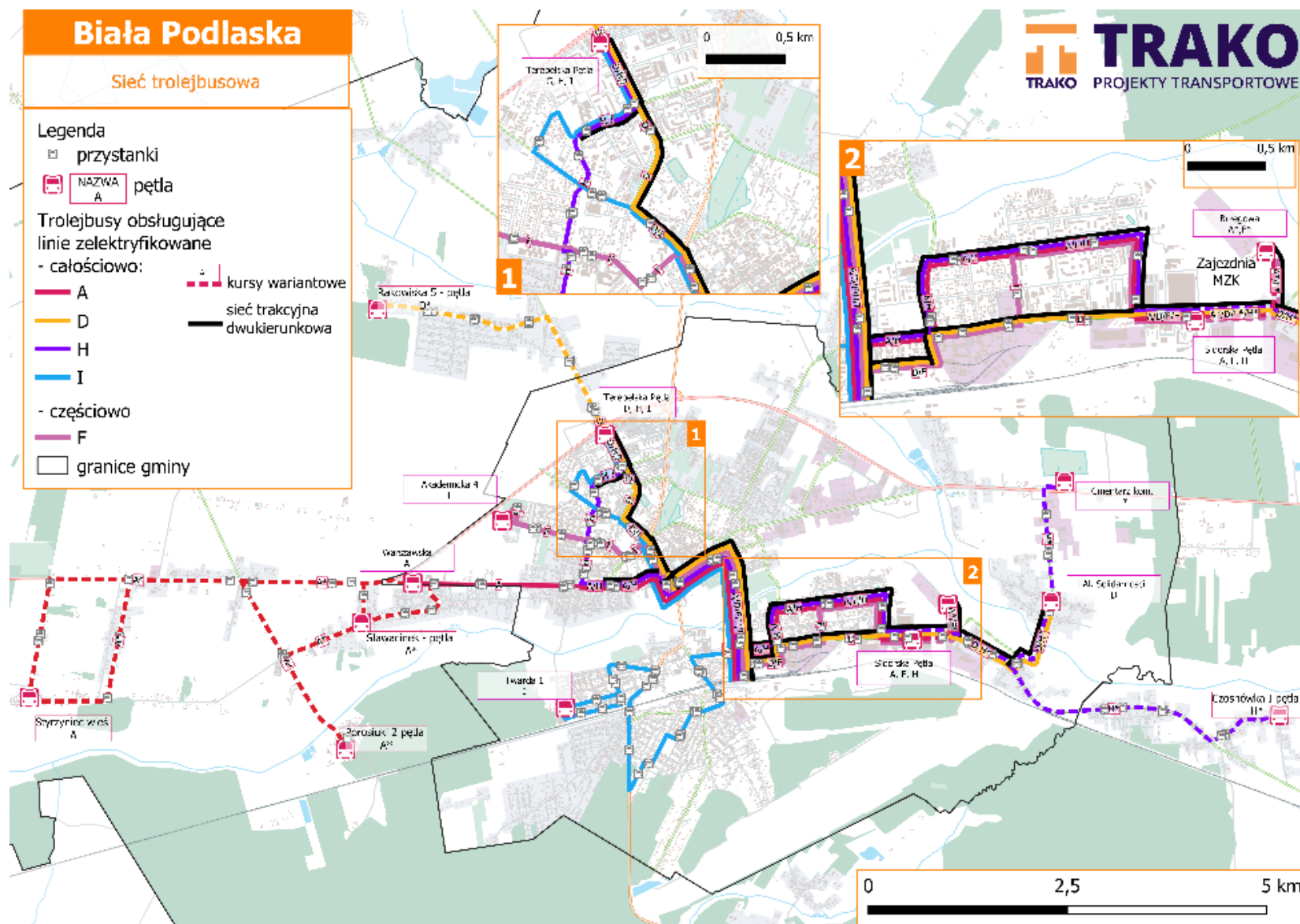
Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebnych będzie 11 trolejbusów MAXI - pojazdami rezerwowymi pozostaną pojazdy spalinowe, ze względów technicznych i praktycznych (wspólna rezerwa dla pojazdów elektrycznych oraz spalinowych pozwoli na maksymalne wykorzystanie pojazdów elektrycznych). Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem komunikacji

trolejbusowej są podstacje trakcyjne, które powinny obsługiwać około 4 km odcinki sieci – koszt budowy jednej podstacji szacuje się na poziomie około 2,1 mln zł netto. Poniżej zestawiono łączne koszty uruchomienia traktacji trolejbusowej w komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej. Łączne nakłady inwestycyjne na uruchomienie komunikacji trolejbusowej w Białej Podlaskiej wyniosą ponad 100 milionów zł.

Tab. 4.11 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	19,80 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	59,2 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	8,40 mln zł
Koszt likwidacji kolizji sieci trakcyjnej i elektroenergetycznej	1,00 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	100,6 mln zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.8 Koncepcja sieci trolejbusowej

Źródło: Opracowanie własne

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

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

trakcyjnej. Dodatkowym atutem jest brak konieczności dostosowania istniejącej infrastruktury (np. zajezdni) do obsługi pojazdów zeroemisyjnych. Na potrzeby analizy przyjęto, że nowe pojazdy o napędzie spalinowym będą mieć najnowszą obecnie normę emisji spalin EURO 6. Na podstawie ostatnich przetargów można założyć koszt pojedynczego autobusu klasy MAXI zasilanego ON na poziomie około 1,05 mln zł netto za autobus.

Tab. 4.12 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MAXI ON	11	1,05 mln zł	11 550 000
Koszt całkowity inwestycji:			11 550 000

Źródło: Opracowanie własne

4.5 Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru

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

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

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

Tab. 4.13 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom

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

Źródło: Opracowanie własne

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

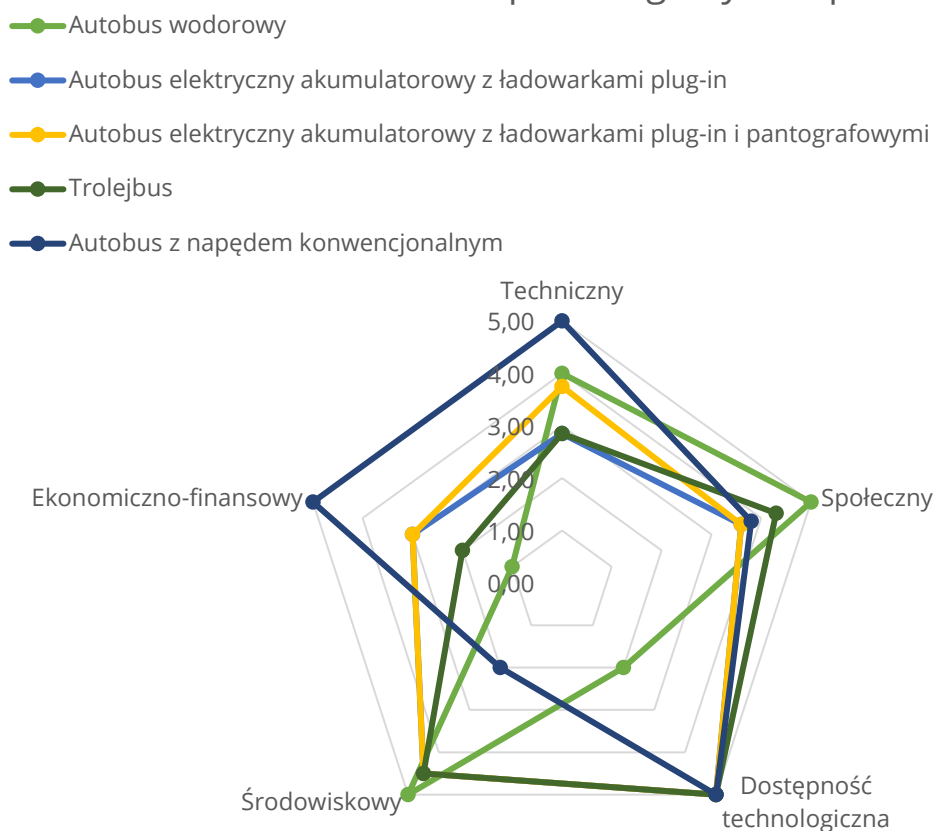
Tab. 4.14 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

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

Źródło: Opracowanie własne

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

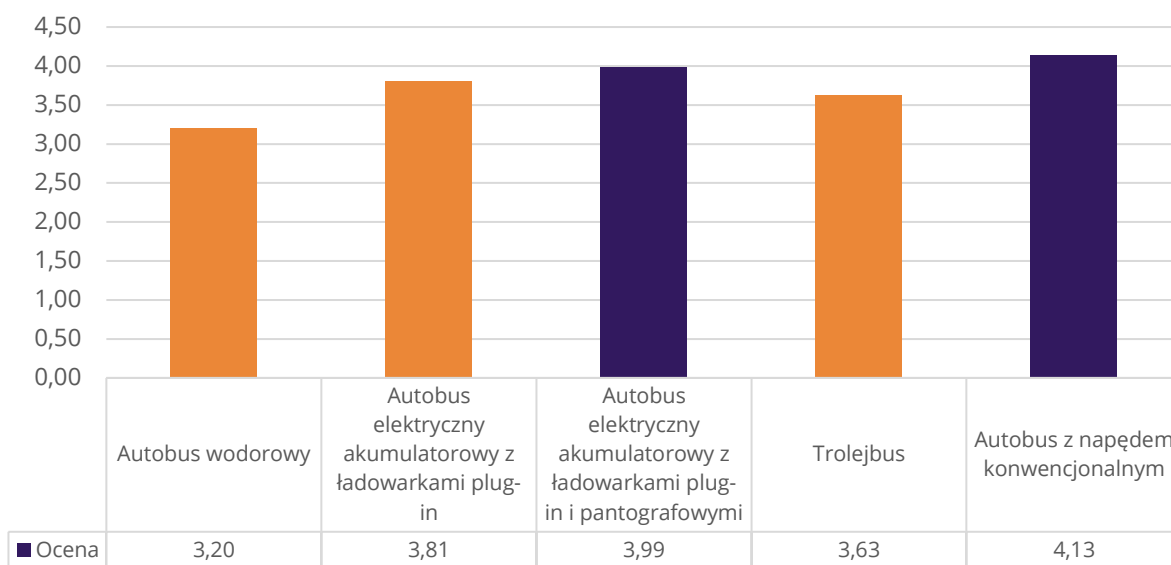
Ocena wariantów w poszczególnych aspektach



Rys. 4.9 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie ocen wyboru wariantów poprzez obliczenie iloczynu ocen wariantów w aspektach szczegółowych z wagami ocen aspektów. **Najlepszym wariantem z minimalną przewagą okazały się autobusy z napędem konwencjonalnym z oceną na poziomie 4,13. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 3,99. Powyższe dwa warianty będą poddane szczegółowej analizie w następnych rozdziałach. Od tej pory w dokumencie**

analizowane warianty będą zdefiniowane odpowiednio jako:

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

Tab. 4.15 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej.

W0	W1
Odnowa floty w oparciu o autobusy konwencjonalne z napędem spalinowym	Wprowadzenie do eksploatacji 11 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych Całościowo elektryfikowane linie: A, G, H, I, Częściowo elektryfikowana linia: F, Uzupełniająco elektryfikowane linie: C, D, E, T Budowa 6 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 2 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania na pętach Sidorska oraz Terebelska działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe

Źródło: Opracowanie własne

5 Analiza finansowa

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

5.1 Założenia i metodyka analizy finansowej

- Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji.
- Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego, danymi z dokumentacji technicznej, kosztorysów oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.
- Analiza została przeprowadzona na lata 2021-2043.
- W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 4%.
- Analiza została przeprowadzona w cenach stałych i nie uwzględnia wpływu inflacji.
- Analizę sporządzono w cenach netto (bez podatku VAT).
- Analiza została przeprowadzona w oparciu o model różnicowy.
- Prognoza finansowa została przeprowadzona w okresach rocznych.
- Pierwsze nakłady inwestycyjne w projekcie zostaną podjęte w 2022 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2023 roku.
- Wartość rezydualna inwestycji została skalkulowana jako wartość środków trwałych po odpisach amortyzacyjnych w ostatnim roku analizy.
- Wartości kosztów operacyjnych oparto o dane historyczne lub na podstawie metody eksperckiej.
- Założono, że projekt wymiany taboru nie generuje dochodów oprócz wartości rezydualnej.
- Wymiana taboru nie spowoduje wzrostu wielkości popytu (tj. liczby pasażerów) oraz wozokilometrów – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej. W 2019 r. z usług komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej skorzystało łącznie 5,227 mln pasażerów³⁴.
- Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 50% do poziomu ok. 69 tys. wzmk rocznie, kosztem autobusów z normą spalania EURO 6 tej klasy pojazdów.

³⁴ Źródło: Dane otrzymane od MZK Biała Podlaska Sp. z o.o.

5.2 Nakłady inwestycyjne

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

kolejnego progu). Dodatkowo przyjęto założenie, że 1 ładowarka dwustanowiskowa wolnego ładowania przypada na 2 autobusy (w przypadku nieparzystej liczby autobusów wartość zaokrąglono w górę). Większa liczba zakupionych autobusów wynika z ograniczonego zasięgu autobusów.

Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariancie W1

Wariant W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 4 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	9 200 000 zł
Budowa 2 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2022	450 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z wejściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Terebelska	2022	950 000 zł
Przygotowanie infrastruktury energetycznej i trafostacji przy zajezdni	2022	1 000 000 zł
Zakup 3 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	6 900 000 zł
Budowa 2 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2024	450 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z wejściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Sidorska	2024	950 000 zł
Zakup 4 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	9 200 000 zł
Budowa 2 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	450 000 zł
Suma:		29 550 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

Stopień elektryfikacji linii			
LINIE	2023 r.	2025 r.	2028 r.
A	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
F	BRAK	BRAK	CZĘŚCIOWA
G	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
H	BRAK	BRAK	PEŁNA
I	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

5.3 Wartość nakładów odtworzeniowych

W obu wariantach inwestycyjnych założono ponoszenie nakładów o charakterze odtworzeniowym, które mają na celu utrzymanie poziomu świadczonych usług. Założono, że nakłady będą poniesione zgodnie z planem operatora lub po 15 latach użytkowania pojazdu o napędzie elektrycznym bądź spalinowego wyprodukowanego przed 2010 r. W przypadku pojazdów młodszych o napędzie konwencjonalnym okres eksploatacji zmniejszano stopniowo do 10 lat, który przyjęto dla autobusów wyprodukowanych po 2021 roku.

Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.3. Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatorów stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2030 roku ich cena spadnie o 10% względem dzisiejszej. W Tab. 5.4 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w W0 i W1.

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych

Rodzaj środka trwałego	Okres eksploatacji (żywności) w latach	Stopień odtworzenia po zakończeniu eksploatacji (żywności) w %
Zakup autobusów	Autobusy spalinowe: od 10 do 15 w zależności od roku produkcji, przy czym 10 lat dla wszystkich autobusów wyprodukowanych po 2021 r. (okres zgodny z wytycznymi w Niebieskiej Księdze). Autobusy elektryczne akumulatorowe: 15 lat (połowa długości okresu między cyklem życia autobusu spalinowego na poziomie 10 lat i trolejbusu na poziomie 20 lat, wskazanych w Niebieskiej Księdze)	100%
Infrastruktura energetyczna do ładowania pojazdów	40	100%
Stacje ładowania	15	100%
Akumulatory w autobusach elektrycznych	8	100%

Źródło: Opracowanie własne

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

Rok	2021	2022	2023	2024	2025
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	2 100 000,00	3 600 000,00	-	2 700 000,00	-
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	2 100 000,00	-	-	-	-
Różnica w zł	-	- 3 600 000,00	-	- 2 700 000,00	-
Rok	2026	2027	2028	2029	2030
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	-	10 650 000,00	-	8 400 000,00	-
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	-	7 950 000,00	-	8 400 000,00	2 860 000,00
Różnica w zł	-	- 2 700 000,00	-	-	2 860 000,00

Rok	2031	2032	2033	2034	2035
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	2 100 000,00	5 700 000,00	-	7 950 000,00	-
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	2 100 000,00	13 445 000,00	-	12 150 000,00	2 860 000,00
Różnica w zł	-	7 745 000,00	-	4 200 000,00	2 860 000,00
Rok	2036	2037	2038	2039	2040
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	-	10 650 000,00	-	8 400 000,00	-
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	-	17 150 000,00	-	8 400 000,00	2 860 000,00
Różnica w zł	-	6 500 000,00	-	-	2 860 000,00
Rok	2041	2042	2043		
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	2 100 000,00	5 700 000,00	-		
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	2 100 000,00	13 445 000,00	-		
Różnica w zł	-	7 745 000,00	-		

Źródło: Opracowanie własne

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

Wyszczególnienie	Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2021-2043
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	70 050 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	95 820 000,00
Zmiana (W1 – W0)	25 770 000,00

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 wariantach W1. Analizę przeprowadzono z podziałem na warianty oraz rozróżnieniem na poszczególne

składowe. W obu wariantach analizy wielkość pracy eksploatacyjnej jest jednakowa – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej w zakresie tras i rozkładów jazdy. Poniżej przedstawiono opis założeń do kalkulacji kosztów operacyjnych w arkuszu kalkulacyjnym.

Tab. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszty	Wariant W0	Wariant W1
Koszty zużycia materiałów i części zamiennych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych
Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. wyrażonych w zł na wzkm	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu na to, że posiada mniej płynów eksploatacyjnych niż autobus o napędzie konwencjonalnym
Średnie spalanie ON	Na podstawie danych od operatora z 2019 r. i 2020 r. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od operatora z 2019 r. i 2020 r. 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 24.05.2021 r.	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 24.05.2021 r.
Średnie zużycie energii	-	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe.
Zużycie energii	-	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika PGE Obrót oraz Dystrybucja
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019r. i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.
Koszty napraw	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszt napraw wyliczono na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%, dla infrastruktury energetycznej – 5%, dla stacji ładowania – 7%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale Nr XXIII/81/16 Rady Miasta Biała Podlaska z dnia 25 listopada 2016 w sprawie określenia wysokości rocznych stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale Nr XXIII/81/16 Rady Miasta Biała Podlaska z dnia 25 listopada 2016 w sprawie określenia wysokości rocznych stawek podatku od środków transportowych
Ubezpieczenia	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019r. i 2020r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Biała Podlaska z 2019 r. i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.
Koszty wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Założono, że koszty 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

5.5 Wartość rezydualna

W ostatnim roku analizy wyznaczono wartość rezydualną inwestycji jako wartość aktywów

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

Tab. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1

Wariant W1	
Wartość rezydualna w zł	1 760 000,00 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	60 840 000,00 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	62 600 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

5.6 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru

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

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,
- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

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

Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego

Kategoria	Wariant W1
FNPV/C	- 34 124 000,67
FRR/C	-76%

Źródło: Opracowanie własne

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

Niewątpliwie największy wpływ na ujemną wartość wskaźnika FNPV/C mają znacznie wyższe wartości nakładów inwestycyjnych w W1, generowane przez wyższe koszty jednostkowe autobusów elektrycznych akumulatorowych w porównaniu do autobusów konwencjonalnych. Ponadto w wariantcie W1 wartość nakładów odtworzeniowych znacznie

wzrasta z uwagi na konieczność wymiany akumulatorów po 7. roku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych. Wielkość kosztów operacyjnych w wariantcie W1 będzie niższa, dzięki oszczędnościom wynikającym z niższych kosztów części zamiennych oraz przede wszystkim z tytułu niższych kosztów zużycia energii elektrycznej w porównaniu do kosztów zużycia oleju napędowego w autobusach spalinowych. Obliczono także lukę finansową jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik dla całego okresu analizy, przy docelowym udziale

autobusów zeroemisyjnych w rozumieniu uepa, wyniósł 87% i oznacza wysoki poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji obejmującej zakup autobusów zeroemisyjnych wraz z niezbędną infrastrukturą ładowania.

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż elektryfikacja komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej zaplanowana w wariantcie W1 nie wpłynie na zaburzenie stabilności finansowej Miasta Białej Podlaskiej 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 z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych, po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń w oparciu o wykonanie roku poprzedzającego pierwszy rok prognozy (wskaźnik ustalony w oparciu o średnią arytmetyczną z 3 poprzednich lat).

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

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

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

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

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

Pojazdy elektryczne, podobnie jak konstrukcje spalinowe, podlegają wymogom homologacyjnym i przechodzą testy zderzeniowe. Zgodnie z zapewnieniami producentów, akumulatory podczas wypadku nie powinny ulec zapłonowi czy rozlaniu dzięki konstrukcji przewidującej takie zdarzenia.

Emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, wywołując silne i przewlekłe choroby nawet ze skutkiem śmiertelnym. Emisja cząstek stałych PM 2,5, PM 10 prowadzi do³⁵:

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

Emitowanie tlenków azotu wywołuje choroby ze skutkiem śmiertelnym oraz w szczególności choroby układu oddechowego i sercowo – naczyniowego. Wpływa negatywnie na zdrowie dzieci, powodując astmę, białaczkę, ograniczony wzrost płuc.

Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

³⁵ Update of the Handbook on External Costs of Transport, RICARDO-AEA, 2014.

- śmiertelnych chorób dotyczących dzieci (nagłej śmierci łóżeczkowej) oraz osoby starsze (zastoinowej niewydolności serca),
- chorób układu krążenia diagnozowanych wśród osób starszych oraz do niskich mas urodzeniowych noworodków.

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

W poniższej tabeli zestawiono zmianę wielkości emisji spalin i gazów cieplarnianych w wyniku realizacji wariantu inwestycyjnego na przestrzeni lat 2021-2043. Ukazuje ona zsumowane emisje szkodliwych substancji dla dolnych warstw atmosfery, które bezpośrednio wpływają na stan zdrowia oraz samopoczucie ludzi. Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego, odpowiednio skorygowanymi o założenia opisane w rozdziale 7.1.

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

Związek chemiczny	W0	W1	Zmiana
	Wielkość emisji	Wielkość emisji	
SO ₂	-	9,48	9,48
NO _x	125,65	112,38	- 13,27
PM 2,5	2,13	2,11	- 0,02
NHMC/NMVOC	29,28	21,83	- 7,45
CO ₂	37 282,38	36 554,78	- 727,60

Źródło: Opracowanie własne

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż w wyniku zastosowania wariantu inwestycyjnego W1 nastąpi redukcja emisji tlenków azotu NO_x (o 13,27 Mg) oraz metanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC (o 7,54 Mg). Widoczny jest spadek emisji dwutlenku węgla, ze względu na wysokie spalanie autobusów z normą EURO 6 użytkowanych przez MZK Biała Podlaska. Dwutlenek węgla emitowany jest podczas produkcji energii elektrycznej. Wysokie wartości są spowodowane faktem, iż polski sektor energetyki oparty jest na spalaniu węgla, co przekłada się na bardzo niekorzystne wskaźniki dla pojazdów napędzanych energią

elektryczną jak i autobusów z napędem konwencjonalnym.

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

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

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

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

Jednym z najważniejszych aspektów realizacji inwestycji jest zniwelowanie emisji zanieczyszczeń w niższych warstwach atmosfery poprzez wykorzystanie jak największej liczby pojazdów niskoemisyjnych bądź zeroemisyjnych. W Tab. 7.1 przedstawiono zsumowaną emisję szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych dla całego okresu objętego analizą, zarówno w wariantcie z wprowadzeniem do eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, jak i konwencjonalnych.

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego³⁶. Zakładają one uwzględnienie:

- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla gazów cieplarnianych CO₂, wynikających ze struktury produkcji

energii elektrycznej w Polsce, wytwarzanej głównie przez elektrownie ciepłone, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,

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

Wskaźniki emisyjności CO₂ wskazane w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach pochodzących z opracowania EIB Carbon Footprint z 2012 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźnik emisyjności CO₂ w Polsce obniżył się w latach 2016 - 2019 o 7,9%, w związku z czym na

³⁶ Źródło:

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

potrzeby niniejszego opracowania uwzględniono wartość 719 kg/MWh emisji przy produkcji energii elektrycznej (wskazaną jako wartość rzeczywistą w 2019 r.).

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA z 2014 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźniki emisyjności NO_x, PM_{2,5} w Polsce

obniżyły się w latach 2016 – 2019 odpowiednio o 30,1% i 45,3%. Dlatego też na potrzeby niniejszego dokumentu uwzględniono następujące wartości rzeczywiste z 2019 r. emisji szkodliwych substancji przy produkcji energii elektrycznej w Polsce:

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

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

Związek chemiczny	W0	W1	W0	W1	Zmiana kosztów zewnętrznych w wyniku realizacji W1
	Łączna emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w Mg]		Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w zł]		
SO ₂	-	9,48	0,00 zł	1 084 683,44 zł	1 084 683,44 zł
NO _x	125,65	112,38	11 717 774,19 zł	10 067 216,48 zł	- 1 650 557,71 zł
PM 2,5	2,13	2,11	3 403 049,86 zł	2 543 624,28 zł	- 859 425,58 zł
NHMC/NMVOC	29,28	21,83	354 138,43 zł	254 522,63 zł	- 99 615,80 zł
CO ₂	37 282,38	36 554,78	8 825 376,61 zł	8 644 749,75 zł	- 180 626,86 zł
SUMA	37 439,44	36 700,58	24 300 339,09 zł	22 594 796,59 zł	- 1 705 542,50 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, pyłów zawieszonych PM 2,5. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x oraz PM 2,5 wynosić będą odpowiednio ok. 1,6 oraz 0,9 mln zł.

Koszty emisji metanowych lotnych związków organicznych spadną o ok. 0,1 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji

spadną o ok. 0,2 mln zł, z uwagi na emisję tego związku do górnych warstw atmosfery w wyniku produkcji energii elektrycznej opartej na spalaniu węgla. Największy przyrost kosztów w wyniku realizacji wariantu W1 cechuje emisję tlenków siarki, mającą miejsce wyłącznie przy użytkowaniu autobusów elektrycznych akumulatorowych i wynosi on ok. 1,1 mln zł.

Podsumowując, realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 1,7 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 szkodliwy dla zdrowia lub niebezpieczny z innych względów, zwykle o dużym natężeniu, niskiej częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak i psychiczny człowieka. Hałas powyżej 85 dB jest w stanie uszkodzić słuch trwale, natomiast niższy poziom hałasu może oddziaływać w bardzo niekorzystny sposób na psychikę, zwiększać ciśnienie krwi, być źródłem powstawania stresu. Dla obliczenia kosztów emitowanego hałasu przez autobusy elektryczne oraz spalinowe założono zindeksowaną jednostkową cenę za hałas typowy dla autobusów, wskazaną w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT.



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

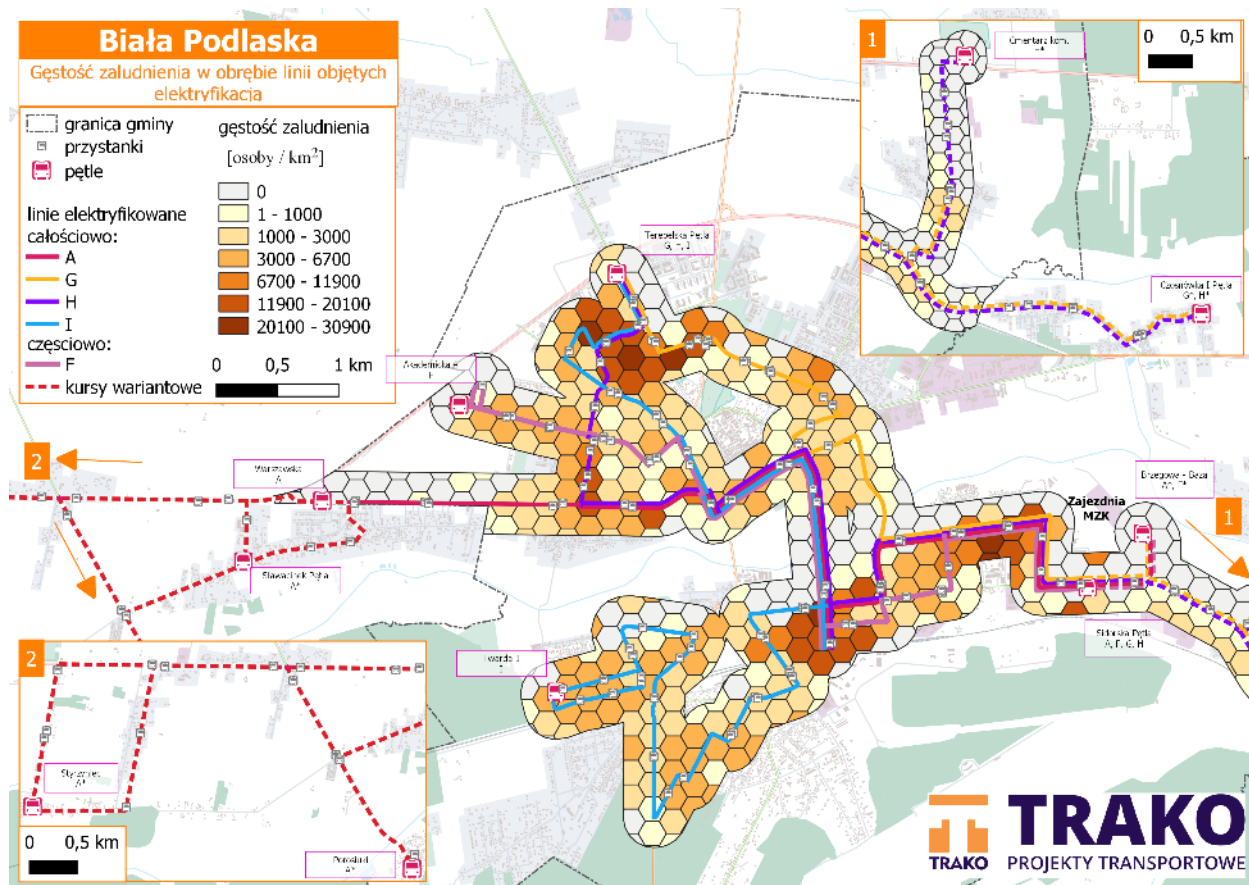
Źródło: Zbiory własne

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA 2014),
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,
- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych³⁷,
- średnią gęstość zaludnienia typowego obszaru miejskiego, zgodnie z założeniami wskazanymi w Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA, 2014),

Rys. 7.2 przedstawia gęstość zaludnienia na obszarze w obrębie 250 metrów od linii obsługiwanych przez autobusy elektryczne akumulatorowe, który jest zamieszkały przez 38 891 mieszkańców.

³⁷ "Quieter buses socioeconomic effects", Koucky & Partners A.B, 2014.



Rys. 7.2 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.

Źródło: Opracowanie własne

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

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

Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu dla wariantu W0 oraz wariantu W1 na przestrzeni lat 2021-2043

Zmonetyzowany hałas w zł		Zmiana kosztów emitowanego hałasu w zł
W0	W1	
17 295 210,18 zł	15 423 025,13 zł	-1 842 002,29 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że są znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów elektrycznych w W1 w postaci kwoty ok. 1,8 mln zł w okresie objętym analizą.

Redukcja pozwoli wyciszyć ogólny hałas generowany w ruchu miejskim przez transport

publiczny. Ponadto obniżona emisja hałasu wpłynie na zwiększenie komfortu podróżowania komunikacją miejską oraz na bezpieczeństwo podróży pasażerów. Warto dodać, że zredukowany hałas wpłynie również na lepsze samopoczucie mieszkańców oraz zwierząt.

7.3 Inne korzyści zewnętrzne

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

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

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

Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w zł		Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji w zł
W0	W1	
24 300 339,09 zł	17 191 858,65 zł	7 108 480,44 zł

Źródło: opracowanie własne

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

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

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

Przyrost poziomu kosztów wynagrodzeń w zł		Zmonetyzowane korzyści społeczne ze zwiększenia zatrudnienia w zł
W0	W1	
-	7 818 300,00 zł	7 818 300,00 zł

Źródło: opracowanie własne

7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Analiza została przeprowadzona w oparciu o „Niebieską Księgę – Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach,

regionach”. Przeprowadzając analizę ekonomiczną, a zarazem porównawczą dwóch wariantów, przyjęto następujące założenia:

- wskaźniki efektywności ekonomicznej wyliczono metodą różnicową,
 - społeczna stopa dyskontowa wynosi 4,5%,
 - analiza została przeprowadzona w latach 2021-2043,
 - wyceny kosztów i korzyści dokonano w cenach netto.
 - 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.

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

Wskaźniki zostały obliczone na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowane. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną, ERR przyjął wartość mniejszą od stopy dyskontowej,

a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1. **Zmonetyzowane koszty z tytułu eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w wymiarze wynikającym z docelowych poziomów udziału tychże pojazdów w uepa przewyższą poziom korzyści ekonomiczno - społecznych. Zatem osiągnięcie poziomów minimalnego udziału autobusów zeroemisyjnych zgodnie z zapisami ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych we flocie operatora komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej nie jest wymagane. Niemniej jednak, uwzględniając potencjalne korzyści finansowe, ekonomiczne i społeczne dla mieszkańców Białej Podlaskiej i ościennych gmin, planowane jest przeprowadzenie modernizacji floty MZK Biała Podlaska w oparciu o autobusy elektryczne akumulatorowe. Uzyskanie dofinansowania ze źródeł zewnętrznych zrekomensuje wyższe nakłady inwestycyjne w porównaniu do zakupu autobusów o napędach konwencjonalnych (np. autobusów**

spalinowych). Dla poszczególnych przedsięwzięć inwestycyjnych dotyczących nabycia autobusów elektrycznych akumulatorowych będą przeprowadzane odrębne analizy kosztów i korzyści, które będą wskazywały na zasadność i słuszność inwestycji w zakresach rzeczowych mniejszych aniżeli analizowany w niniejszym dokumencie cały system komunikacji miejskiej zakładający wprowadzenie do

eksploatacji 11 autobusów zeroemisyjnych dla spełnienia docelowego udziału wskazanego w uepa.

Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z zakładanego w analizie poziomu 2 300 000 PLN netto do ok. 970 000 PLN netto.

Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	Wartość
ENPV	- 18 437 964,93 zł
ERR (%)	-47%
B/C	0,37

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, określenie poziomu ryzyka, możliwości zarządzania czynnikiem ryzyka oraz określenie sposobów, jakimi beneficjent może zapobiegać danemu ryzyku.

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt

Siła oddziaływania na projekt	
Opis	Wartość punktowa
Brak wpływu na dobrobyt społeczny, nawet bez podejmowania działań zaradczych	1
Mały wpływ na dobrobyt społeczny, mały wpływ na efekty finansowe projektu, Działania zaradcze i korygujące są jednak potrzebne.	2
Umiarkowany wpływ na dobrobyt społeczny, głównie negatywne efekty finansowe nawet w średnim lub długim terminie.	3
Poziom krytyczny: wysoka strata dla dobrobytu społecznego, wystąpienie zdarzenia powoduje niemożliwość realizacji podstawowego celu projektu, działania zaradcze bardzo intensywne mogą nie doprowadzić do uniknięcia wysokich strat.	4
Poziom katastroficzny: Fiasko projektu, zdarzenie może wywołać całkowity brak realizacji celu projektu, główne efekty projektu nie będą uzyskane w średnim i długim terminie	5

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka

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

Legenda:

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
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
R3	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.)	Wybór wykonawcy, który może się wykazać realizacją podobnych inwestycji i posiada stabilną sytuację finansową i kadrową. Zabezpieczenie materiałów przez wykonawcę u kontrahentów na wypadek problemów z dostępnością komponentów.	średni
Ryzyko eksploatacyjne			
R4	Awarie stacji wolnego ładowania (ładowarek zajęzdnioowych)	Przeszkolenie pracowników, wpisanie wymogu minimalnego wskaźnika niezawodności urządzenia.	średni
R5	Przerwa w dostawie prądu	Zakup agregatów prądotwórczych.	niski
R6	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen.	średni
R7	Ryzyko nieznanomości rzeczywistych parametrów operacyjnych taboru	Wykupienie gwarancji na akumulatory od producenta pojazdów. Posiadanie rezerwowych zestawów bateryjnych.	wysoki
R8	Ryzyko niezawodności technicznej	Wykupienie gwarancji na pojazdy od producenta. Właściwe serwisowanie pojazdów.	wysoki
R9	Wzrost taryfy za prąd	Podpisywanie długookresowych kontraktów na dostawę energii.	wysoki
R10	Uszkodzenia sieci zasilającej stacje ładowania	Realizacja przewozów taboru o napędzie konwencjonalnym.	niski
R11	Wyższa awaryjność taboru związana z zastosowaniem nowej technologii	Zabezpieczenie dostaw części zamiennych. Objęcie pojazdów gwarancją producenta.	wysoki

R12	Opóźnienia w dostawie autobusów	Wydłużenie czasu realizacji zamówienia.	średni
R13	Nadmierne skrócenie żywotności baterii i konieczność częstszej wymiany	Objęcie pojazdów gwarancją producenta.	średni
Ryzyko administracyjne			
R14	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Przyspieszenie negocjacji z dystrybutorem energii, odpowiednie zaplanowanie inwestycji.	średni
R15	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	brak	niski
R16	Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę)	Staranne przygotowanie wniosku o wydanie pozwolenia na realizację inwestycji.	średni
R17	Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych	Wcześniejsze złożenie wniosku o wydanie decyzji.	średni
R18	Opóźnienia w usuwaniu kolizji z sieciami dystrybucyjnymi	Aktualizowanie map z sieciami dystrybucyjnymi. Zaplanowanie rezerwy czasowej na ewentualne usuwanie kolizji.	średni
R19	Opóźnienia w realizacji procedur	Dostosowanie procedur przetargowych tak, aby uniknąć konieczności wydłużania postępowania przetargowego.	wysoki
R20	Zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska	Dostosowanie projektu to aktualnych przepisów prawnych dotyczących ochrony środowiska.	średni
Ryzyko finansowe			
R21	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Finansowanie inwestycji ze środków własnych.	niski
R22	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Założenie wyższych nakładów inwestycyjnych przy prowadzeniu postępowania.	średni
R23	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen.	niski
R24	Wzrost kosztów finansowania	Pozyskiwanie finansowania o stałym oprocentowaniu.	średni
Ryzyko klimatyczne			
R25	Zmiana zasięgu autobusu podczas nadzwyczajnych upałów lub mrozów	Założenie niższego zasięgu pomimo podanych danych eksploatacyjnych, analiza danych eksploatacyjnych dotyczących autobusów elektrycznych akumulatorowych.	wysoki
R26	Możliwość wystąpienia szkody w środowisku	Zapobieganie znaczącej modyfikacji środowiska przyrodniczego w okolicach infrastruktury.	średni
Ryzyko popytowe			
R27	Poziom ruchu niższy, niż prognozowany	Realizacja kursów zgodnie z zaplanowanym rozkładem jazdy. Dbanie o stan techniczny pojazdów, wykonywanie bieżących przeglądów i napraw, tak aby możliwe było wykonanie zaplanowanej pracy eksploatacyjnej.	średni

Źródło: Opracowanie własne

9 Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru

Funkcjonowanie komunikacji miejskiej wiąże się z naturalną koniecznością systematycznej wymiany taboru, wynikającej przede wszystkim z amortyzacji pojazdów. Wskazania dotyczące wprowadzania do eksploatacji nowych autobusów w białskiej komunikacji miejskiej zostały także określone w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego, w którym:

- Przewidziano kontynuację wymiany autobusów w celu dostosowania taboru do potrzeb osób niepełnosprawnych,
- Zdefiniowano zakres systemu informacji pasażerskiej w pojazdach (m.in. informacja dźwiękowa i wizualna wewnątrz pojazdów ułatwiająca podróż osobom niedosłyszącym, ociemniałym i niedowidzącym),
- Założono możliwość obsługi wybranych linii, bądź całej sieci komunikacyjnej autobusami o napędzie spełniającym normy emisji spalin EURO 6 lub wyposażonym w silniki zasilane paliwem innym niż paliwa konwencjonalne.

Nowe autobusy powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane pojazdy we flocie, wciąż gwarantując dopasowanie wielkości pojazdów do popytu efektywnego na przewozy w komunikacji miejskiej. Rekomendowane jest zwiększenie udziału autobusów klasy MAXI cechujących się większą podażą miejsc w porównaniu do autobusów typu MIDI, dzięki czemu podniesiony zostanie komfort podróży autobusami komunikacji miejskiej.

Sukcesywna wymiana taboru wykorzystywanego do świadczenia usług komunikacji miejskiej

przemawiać będzie za wprowadzaniem priorytetów w ruchu dla pojazdów transportu publicznego, tak aby nowe pojazdy sprawnie przewoziły jak największą liczbę pasażerów bez strat czasu w zatorach drogowych.



Rys. 9.1 Niskopodłogowy autobus MKK w Białej Podlaskiej

Źródło: www.mzkbp.pl

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

Gmina Miejska Biała Podlaska deklaruje gotowość do wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych, przy uzyskaniu środków zewnętrznych na ten cel. Realizacja zakupu powinna zostać poprzedzona odpowiednią analizą wykonalności inwestycji, w tym np. analizą kosztów i korzyści sporządzoną wyłącznie w zakresie np. zakresu rzeczowego projektu, w przeciwieństwie do niniejszego dokumentu, w którym analizowany jest kompleksowo cały system komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej. W zależności od potrzeb i uwarunkowań zewnętrznych, dopuszcza się nakłady inwestycyjne na zakup pojazdów zeroemisyjnych w latach wcześniejszych, aniżeli w terminach wskazanych w AKK.

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

Na podstawie art. 9 ustawy o publicznym transporcie zbiorowym gminy, którym powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia międzygminnego, których obszar liczy łącznie co najmniej 80 000 mieszkańców mają obowiązek sporządzenia planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 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 zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego Gminy Miejskiej Biała Podlaska wraz z obszarem Gminy Biała Podlaska w ramach porozumienia międzygminnego na lata 2016-2020”.

Wyniki niniejszej analizy kosztów i korzyści wskazują, że wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej nie jest zasadne, niemniej jednak przewidziano aktualizację planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie zostały przedstawiony w Tab. 10.1.

Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym

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

Zakres	Konieczność aktualizacji
obowiązujących uprawnień do ulgowych przejazdów środkami publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
węzłów przesiadkowych	Nie wymaga aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	Dotyczy rozdziału 9.2. „Kierunki rozwoju transportu publicznego w Białej Podlaskiej” <i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne:</i> <i>Całościowo elektryfikowane linie: A, G, H, I,</i> <i>Częściowo elektryfikowane linie: F,</i> <i>Uzupełniająco elektryfikowane linie: C, D, E, T.</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 uwzględnienia
geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zwanej dalej „infrastrukturą ładowania”	<i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i> ■ <i>na terenie zajezdni MZK (6 szt. dwustanowiskowych plug-in),</i> ■ <i>na pętli autobusowej Terebelska (1 szt. ładowarki pantografowej),</i> ■ <i>na pętli autobusowej Sidorska (1 szt. ładowarki pantografowej).</i>
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	<i>Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalane z dostawcą energii.</i>
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

11 Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

Wskaźnik luki finansowej wyniósł 87%, co oznacza, że niezbędne jest uzyskanie dofinansowania zewnętrznego przy inwestycjach polegających na zakupie autobusów zeroemisyjnych.

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

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

Do 2029 r. środki na zakup autobusów zeroemisyjnych mogą pochodzić także ze środków krajowych w ramach wieloletniego zobowiązania Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, które zastąpiło zlikwidowany 30.09.2020 r.³⁸ Fundusz Niskoemisyjnego Transportu. Maksymalny limit wydatków z budżetu państwa w latach 2022 – 2029 na finansowanie tegoż zobowiązania w postaci docelowej dla NFOŚiGW wynosi 4 175 300 000 zł, przy czym wsparcie na zakup autobusów zeroemisyjnych oraz infrastruktury ich ładowania jest jednym z wielu obszarów potencjalnej alokacji (z zobowiązania finansowane mogą być także inwestycje w budowę stacji dystrybucji lub sprzedaży CNG, LNG, wodoru oraz dofinansowanie zakupu zeroemisyjnych pojazdów M1, czy współfinansowanie FRPA³⁹).

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

³⁸ Ustawa z dnia 14 sierpnia 2020 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2020 r., poz. 1565)

³⁹ Art. 401 ust. 9c pkt 1-12 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz. U. z 2020 r., poz. 1219 ze zm.).

Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej przez MZK Biała Podlaska w wozokilometrach w latach 2017-2020.....	14
Tab. 3.2 Przebieg tras linii komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej stan na dzień 31.03.2021 r.	15
Tab. 3.3 Wysokość rekompensaty przekazanej operatorowi w ostatnich latach	17
Tab. 3.4 Przedsięwzięcia zrealizowane w ostatnich latach (stan na 19.03.2021 r.)	18
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 19.04.2021 r.)	19
Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 01.04.2021 r.)	19
Tab. 3.7 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r.	20
Tab. 3.8 Symulacja struktury według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.	20
Tab. 3.9 Symulacja struktury według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.	20
Tab. 3.10 Średnie zużycie paliwa (ON), roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych (stan na dzień 01.04.2021 r.)	21
Tab. 3.11 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez Operatora (stan na dzień 01.04.2021 r.)	22
Tab. 3.12 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu (stan na dzień 17.03.2021)	24
Tab. 3.13 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny (stan na dzień 19.03.2021)	26
Tab. 3.14 Liczba brygad, stan taboru oraz wykorzystanie pojazdów w dni robocze szkolne (stan na dzień 19.03.2021)	27
Tab. 3.15 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny	27
Tab. 4.1 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym.	30
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	31
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	32
Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym	33
Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	35
Tab. 4.6 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.)	37
Tab. 4.7 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	37
Tab. 4.8 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową	41
Tab. 4.9 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu	41
Tab. 4.10 Koszty netto zakupu trolejbusów	45
Tab. 4.11 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów	45
Tab. 4.12 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym	47
Tab. 4.13 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom	48
Tab. 4.14 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych	48
Tab. 4.15 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Białej Podlaskiej.	50
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1	52

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych.....	52
Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych	53
Tab. 5.4 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	53
Tab. 5.5 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	54
Tab. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	55
Tab. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1	56
Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego	56
Tab. 6.1 Różnice emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery dla wariantu W1 w stosunku do wariantu W0 [w Mg]	59
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2021-2043.....	61
Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu dla wariantu W0 oraz wariantu W1 na przestrzeni lat 2021-2043.....	63
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2021-2043.	64
Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń na przestrzeni lat 2021-2043.....	64
Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej	65
Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	66
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki	67
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa	70
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt	70
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka	71
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	71
Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym.....	74

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	5
Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern	6
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego	8
Rys. 2.2 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	10
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Świdnicy	10
Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi	11
Rys. 3.1 Zestawienie rocznej liczby pasażerów MZK Biała Podlaska w latach 2017-2020	14
Rys. 3.2 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny	23
Rys. 3.3 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dzień roboczy feryjno-wakacyjny	23
Rys. 3.4 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w sobotę	23
Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedzielę i święto	24
Rys. 3.6 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w dni robocze szkolne	25
Rys. 3.7 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w dni robocze feryjno-wakacyjne	25
Rys. 3.8 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w sobotę	25
Rys. 3.9 Prędkości charakteryzujące poszczególne linie w niedzielę i święto	26
Rys. 3.10 Wewnętrzna tablica informacyjna w autobusie MZK Biała Podlaska.	27
Rys. 4.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Jaworznie podczas szybkiego ładowania	35
Rys. 4.2 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze	38
Rys. 4.3 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie	39
Rys. 4.4 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek	40
Rys. 4.5 Trolejbus typu MAXI w Tychach	42
Rys. 4.6 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem	42
Rys. 4.7 Trolejbus typu MAXI w Pireusie	43
Rys. 4.8 Koncepcja sieci trolejbusowej	46
Rys. 4.9 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych	49
Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK	49
Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Rzeszowie	62
Rys. 7.2 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.	63
Rys. 9.1 Niskopodłogowy autobus MZK w Białej Podlaskiej	73