

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



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





Dokument przygotowany przez:

TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE

Szamborski i Szelukowski S.J. ©

ul. Jaracza 71/9, 50-305 Wrocław,

e-mail: poczta@trako.com.pl

www.trako.com.pl

Spis treści

1	Cel analizy.....	5
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	6
2	Uwarunkowania techniczne i prawne	7
2.1	Uwarunkowania prawne	7
2.2	Uwarunkowania techniczne	8
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej.....	11
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	11
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązujących umów o świadczenie usług przewozowych ...	11
3.1.2	Obecny układ sieci	12
3.1.3	Koszty eksploatacyjne	16
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy	16
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	17
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane	17
3.2.2	Normy emisji spalin	18
3.2.3	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów	19
3.2.4	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym.....	21
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	22
3.3.1	Wskaźnik wykorzystania taboru.....	26
3.3.2	Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych	26
3.3.3	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzmk przez poszczególne brygady	30
3.3.4	Analiza rozkładów jazdy	30
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych	34
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	34
4.1.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	35
4.1.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	36
4.1.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów	37
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	39
4.2.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	39
4.2.2	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in	40
4.2.3	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	41
4.2.4	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi	42
4.2.5	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi.....	43

4.3	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów.....	47
4.4	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów.....	47
4.4.1	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	47
4.4.2	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	48
4.4.3	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Legnicy	48
4.5	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	51
4.6	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	51
5	Analiza finansowa.....	56
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej	56
5.2	Nakłady inwestycyjne.....	56
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych	58
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych	60
5.5	Wartość rezydualna	62
5.6	Efektywność finansowa	62
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi.....	63
7	Analiza społeczno – ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji	65
7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym.....	65
7.2	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym.....	67
7.3	Inne korzyści zewnętrzne	68
7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej.....	69
8	Analiza ryzyka.....	71
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru z uwzględnieniem różnych napędów autobusów w perspektywie do 2028 roku.....	75
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania	77
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych	79
12	Spis załączników	83
13	Załączniki	84

1 Cel analizy

Celem niniejszego dokumentu jest przeprowadzenie pogłębionej analizy kosztów i korzyści wprowadzenia do eksploatacji w legnickiej komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych. Opracowanie zostało wykonane przede wszystkim w oparciu o ustalenia płynące z treści zapisów Ustawy z dnia 11 stycznia 2018r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2018 poz. 317) oraz niżej wymienionych aktów prawnych:

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

Ponadto opracowanie sporządzono zgodnie z niżej wymienionymi dokumentami:

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

generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020”.

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



Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

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

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

1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- AKK – analiza kosztów i korzyści
- BCR, B/C – (benefit cost ratio) wskaźnik korzyści do kosztów
- Brygada – zadanie w rozkładzie jazdy zaplanowane do realizacji przez 1 autobus w ciągu dnia (zamiennie stosowanym określeniem jest kursówka)
- CF – (conversion factor) wskaźnik konwersji
- ENPV – (economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto
- ERR – (economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu
- FNPV – (financial net present value) finansowa wartość bieżąca netto
- FNPV/c – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji
- FRR/c – finansowa stopa zwrotu z inwestycji
- MCA (ang. Multidimensional Comparative Analysis) – wielowymiarowa analiza porównawcza
- MINI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 6 – 8 metrów
- MIDI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 – 10 metrów
- MAXI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 12 metrów
- MEGA15 – autobus jednoczłonowy o długości ok. 15 metrów
- MEGA18 – autobus przegubowy o długości ok. 18 metrów
- Postój wyrównawczy – przerwa 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. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 07.02.2018 r., poz. 317)
- W0 – wariant bazowy
- W1 – wariant inwestycyjny
- Wariant podstawowy trasy – wariant trasy danej linii komunikacyjnej, na którym realizowanych jest najwięcej kursów
- Wartość rezydualna - wartość środków trwałych netto uzyskanych na etapie realizacji projektu lub w okresie jego eksploatacji, wynikająca z nakładów inwestycyjnych na realizację projektu oraz nakładów odtworzeniowych, ustalona na koniec ostatniego roku okresu odniesienia przyjętego do analiz
- Wozogodzina – jednostka miary czasu zaangażowania środka transportu w wykonanie zaplanowanego rozkładu jazdy lub harmonogramu
- Wozokilometr liniowy – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach przewozów regularnych, na kursach ogólnodostępnych dla pasażerów, które są prezentowane w rozkładach jazdy
- Wozokilometr techniczny - długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach kursów dojazdowych z zajezdni do przystanków krańcowych, kursów zjazdowych z przystanków krańcowych do zajezdni
- Wzkm - wozokilometr

2 Uwarunkowania techniczne i prawne

2.1 Uwarunkowania prawne

Rozwój elektromobilności w Polsce wspierany jest przez Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 07.02.2018 r., poz. 317), której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w ustawie definicja autobusu zeroemisyjnego precyzuje ten typ pojazdu jako autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2017 r. poz. 286 ze zm.) oraz trolejbus¹. Analizując ustalenia Ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, w której wskazano, że do grona tych substancji należą m.in. tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), benzo(a)piren, to za autobusy zeroemisyjne można uznać wyłącznie:

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

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

autobusy gazowe (napędzane CNG, LNG, LPG, biometan), autobusy hybrydowe, autobusy hybrydowo – elektryczne oraz autobusy gazowo - elektryczne.



Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego

Źródło: Zbiory własne

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

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

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

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

- 5% od 1 stycznia 2021 r.,
- 10% od 1 stycznia 2023 r.,
- 20% od 1 stycznia 2025 r.
- 30% od 1 stycznia 2028 r.

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

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

Gmina Legnica z liczbą mieszkańców 100 324⁵, pełniąca funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest ustawowo jednostką samorządu terytorialnego zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

2.2 Uwarunkowania techniczne

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

Analizy kosztów i korzyści związanych z eksploatacją autobusów zeroemisyjnych poddawane są konsultacjom społecznym, zgodnie z zapisami Rozdziałów 1 i 3 w Dziale III Ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. z 2017 r. poz. 1405 ze zm.). Organ po przystąpieniu do sporządzania analizy powinien niezwłocznie poinformować o tym fakcie społeczeństwo, a opracowany projekt dokumentu należy opublikować z możliwością składania do niego uwag w terminie 21 dni od daty publikacji. Do analizy ewentualnie analizy należy dołączyć raport z przeprowadzonych konsultacji społecznych.

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

- ministrowi właściwemu do spraw energii – obecnie Ministrowi Energii,
- ministrowi właściwemu do spraw gospodarki – obecnie Ministrowi Przedsiębiorczości i Technologii,
- ministrowi właściwemu do spraw środowiska – aktualnie Ministrowi Środowiska.

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

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

⁴ Ibidem, art. 72.

⁵ Dane według stanu na dzień 31.12.2017 r., źródło: <http://bdl.stat.gov.pl/>, dostęp 27.07.2018 r.

Trolejbusy stanowią jeden z najdłużej eksploatowanych środków transportu publicznego, pozostając wciąż popularnymi pojazdami przede wszystkim w niektórych państwach azjatyckich i europejskich.

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



Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie

Źródło: Zbiory własne

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



Rys. 2.3 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 konfiguracji akumulatorów w autobusie i ładowarki), ładowanie typu plug – in odbywa się najczęściej w porze nocnej na terenie zajezdni operatora transportu publicznego. Obecnie najczęściej stosowane akumulatory pozwalają na wykonanie maksymalnie do 150 – 200 km na jednym ładowaniu autobusu, przez co rozwijają się uzupełniające metody ładowania autobusów elektrycznych. Pierwszą z nich jest szybkie ładowanie autobusów poprzez ładowarki pantografowe, dla których energia dostarczana jest ze stacji ładowania w dowolnej lokalizacji, głównie podczas postojów wyrównawczych na przystankach krańcowych. Obecnie na rynku popularność zyskały dwa modele ładowania za pomocą pantografu:

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

Na chwilę obecną, na rynku elektrobusów w Polsce i Europie widać tendencję wykorzystywania ładowania poprzez pantograf odwrócony, a czołowi producenci taboru podjęli

kroki do ustandaryzowania systemu ładowania, właśnie w ten sposób.



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

Źródło: Zbiory własne

Drugą metodą jest ładowanie z wykorzystaniem pętli indukcyjnej zbudowanej pod przystankiem lub przystankiem krańcowym. Obie z tych metod pozwalają znacząco zwiększyć łączny zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych, dając możliwość przydzielania ich do obsługi zadań całodziennych, z przebiegami nawet do 300 – 400 km dziennie, jest to jednak metoda najdroższa we wdrożeniu i nie wykorzystywana obecnie w Polsce. Główni europejscy producenci taboru dla transportu publicznego oferują autobusy elektryczne akumulatorowe o klasach wielkościowych MINI, MIDI, MAXI, MEGA18.

Autobusy napędzane wodorem – poruszają się dzięki silnikom elektrycznym zasilanym prądem

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



Rys. 2.5 Autobus na ogniwa wodorowe polskiej konstrukcji

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

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

3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

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

Na liniach komunikacji miejskiej w Legnicy oraz na podstawie porozumień międzygminnych w Gminach Miłkowie, Prochowice i Kunice funkcjonuje jeden operator – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o. o. w Legnicy (dalej MPK Legnica), który ma zawarte 2 umowy z Gminą Legnica (organizatorem przewozów).



Rys. 3.1 Autobus spełniający normę emisji spalin EURO 6 w Legnicy

Źródło: Zbiory własne

Przewozy na liniach komunikacyjnych 4 i 8 realizowane są na mocy umowy zawartej w wyniku przetargu nieograniczonego, przewidującego obsługę przewozów do 31.12.2018 r. z wykorzystaniem pojazdów zakupionych przez Gminę Legnica w projekcie „Zakup nowych, przyjaznych dla środowiska autobusów na potrzeby komunikacji miejskiej w Legnicy współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego dla Województwa Dolnośląskiego na lata 2007 – 2013”. Wielkość pracy eksploatacyjnej na tych liniach w skali 12 miesięcy wynosi ok. 366 357 wozokilometrów. Umowa nie precyzuje wymagań dotyczących parametrów technicznych i jakościowych taboru, gdyż połączenia są obsługiwane wyłącznie przez autobusy udostępnione przez Gminę Legnica.

Umowa powierzenia na pozostałe linie komunikacyjne, zawarta w trybie bezpośrednim dotyczącym podmiotu wewnętrznego gminy, obowiązuje do 31 grudnia 2027 roku. Jej realizacja opiera się na podstawie wykonanego i zatwierdzonego przez operatora określonego układu komunikacyjnego, rozkładów jazdy oraz okresów ich obowiązywania. Umowa określa warunki wykorzystania poszczególnego rodzaju taboru na danych liniach komunikacyjnych, wymagane wyposażenie autobusów oraz wykaz pojazdów na dzień 1 maja 2018 roku, przeznaczonych do jej realizacji. Dodatkowo nie reguluje wymagań dotyczących wieku pojazdów. Kontrakt pomiędzy organizatorem, a operatorem pozwala na świadczenie przewozów z podwykonawstwem nie przekraczającym w ujęciu rocznym 10% kosztów rocznych przewozów. Umowa zobowiązuje również operatora do dostosowania wykorzystywanego taboru, do natężenia ruchu pasażerów poprzez wykorzystywanie taboru o najmniejszej pojemności na liniach z

najmniejszym natężeniem ruchu pasażerów i odwrotnie taboru o największej pojemności na liniach o największym natężeniu ruchu pasażerów. Roczny wymiar usług przewozowych na terenie miasta Legnicy i gmin z którymi

zostało podpisane porozumienie, według umowy wynosi 3 279 972 wozokilometrów rocznie i według zapisów umowy może być zmieniana o 10% w stosunku do planowanej pracy eksploatacyjnej.

3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Legnicy składa się z 20 linii komunikacyjnych, spośród których wyróżnić można

- według kryterium przestrzennego:
 - 16 linii miejskich: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 15, 16, 18, 24, 26, 28, 29, N1, N2,
 - 1 linia miejsko – podmiejska: 23,
 - 3 linie podmiejskie: 10, 27, C,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - 20 linii całorocznych: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 16, 18, 23, 24, 26, 27, 28, 29, C, N1, N2,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
 - 18 linii kursujących przez cały tydzień: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 18, 23, 24, 26, 27, 28, 29, N1, N2,
 - 1 linia kursująca od poniedziałku do soboty: 16,
 - 1 linia kursująca w soboty, niedziele i święta: C,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju doby:

- 10 linii całodziennych lub kursujących przez większą część dnia: 1, 2, 3, 5, 6, 8, 15, 18, 23, 24,
- 2 linie nocne: N1, N2
- 8 linii okresowych: 4, 10, 16, 26, 27, 28, 29, C,
- według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - 1 linia główna: para linii 15 i 16, ,
 - 4 linie podstawowe: 3, 5, 8, 24
 - 4 linie uzupełniające: 2, 6, 18, 23,
 - 10 linii dodatkowych: 1, 4, 10, 26, 27, 28, 29, C, N1, N2.

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Gminy Legnica, pełniące jej organizatora oraz 3 gmin, które powierzyły Gminie Legnica organizację komunikacji miejskiej na mocy stosownych porozumień międzygminnych. Grono tych gmin tworzą Gmina Kunice, Gmina Miłkowice oraz Gmina Prochowice, do których docierają łącznie 3 linie podmiejskie z Legnicy, obsługujące 14 okolicznych miejscowości.

W Tab. 3.1 zaprezentowano wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017.

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

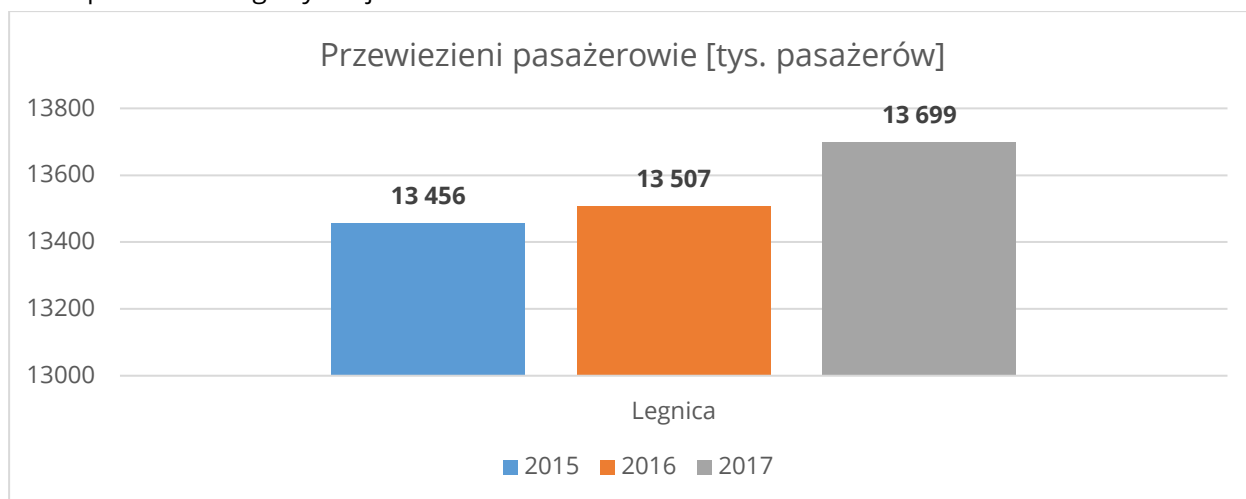
Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej [w tys. wzkkm]					
Rok	Miasto Legnica	Gmina Miłkowice	Gmina Kunice*	Gmina Prochowice*	ROCZNIE
2015	3111,06	15,71	79,67	31,87	3238,31
2016	3165,60	15,66	79,92	31,89	3293,06
2017	3187,50		111,39		3298,89

*Gmina Kunice i Prochowice do kwietnia 2017 roku były obsługiwane połączeniami komercyjnymi uruchamianymi przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy

źródło: MPK sp. z o.o.

Na Rys. 3.2 przedstawiono liczbę przewiezionych pasażerów, który wskazuje na 2% wzrost wielkości popytu na usługi legnickiej komunikacji miejskiej w latach 2015 - 2017. W Tab. 3.2 przedstawiono trasy oraz długość na liniach obsługiwanych przez MPK sp. z o.o. w Legnicy. Najkrótsza linia - linia

C ma długość 3,5 km i kursuje pomiędzy przystankiem Domejki-MPK a cmentarzem w Jaszkanie. Najdłuższą linią jest linia nocna N2 o długości 24,8 km, która kursuje jako linia jednokierunkowa obsługując znaczny obszar miasta.



Rys. 3.2 Liczba pasażerów korzystających z legnickiej komunikacji miejskiej w latach 2015-2017

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

Tab. 3.2 Linie obsługiwane przez MPK sp. z o.o. w Legnicy

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Obsługiwany obszar	Charakter linii
1	Złotoryjska-Huta Miedzi - Złotoryjska - Pl. Łużycki - Złotoryjska - Lotnicza - Marynarska - Chojnowska - Piastowska - Poczтовая - Kartuska - Czarnieckiego - Wrocławska - Spokojna - Pątnowska - Pątnowska-Pętla (wybrane kursy ze Złotoryjska - Grabskiego)	13,13	miejska	dodatkowa
2	Śląska - Sikorskiego - Wrocławska - Czarnieckiego - Kartuska - Poczтовая - (< Piastowska > Skłodowskiej-Curie > Głogowska > / < Brama Głogowska < Głogowska < Bagienna < Słubicka < Poznańska <) - Bydgoska - Piątnicka (wybrane kursy wydłużone do Szczytnickiej lub do Bydgoska - WPEC)	7,95 / 9,15 / 9,10	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Obsługiwany obszar	Charakter linii
3	Iwaskiewiczza-Szpital – Iwaskiewiczza – Sikorskiego – Sudecka – al. Piłsudskiego – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – Wrocławska – Witelona – Pl. Słowiański – Skarbka – Jaworzyńska – Jaworzyńska-LSSE (wybrane kursy przez Nowodworską-LPWik)	12,88 / 16,28	miejska	podstawowa
4	Poznańska-Pętla – Poznańska – (> Słubicka > Bagienna > Głogowska > Brama Głogowska > Poczтова > Dworcowa > Brama Głogowska > / < Głogowska < Prusa < Leszczyńska < Brama Głogowska < Dworcowa < Poczтова <) – Piastowska – Chojnowska – Szewczenki – Lotnicza – Hutników – Złotoryjska – Muzealna – Jaworzyńska – Jaworzyńska-LSSE Pętla	13,00	miejska	dodatkowa
5	Domejki-MPK – Domejki – Chojnowska – Działkowa – Senatorska – Piastowska – Poczтова – Libana – Wrocławska – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – al. Rzeczypospolitej – Myrka – Hangarowa – Schumana – Spółdzielcza – Nowodworska – Nowodworska-LPWik (wybrane kursy przez Myrka-Pętla lub skrócone do Schumana Auchan)	11,90 / 13,07 / 8,30	miejska	podstawowa
6	Schumana Auchan – al. Rzeczypospolitej – Bielańska – al. 100-lecia Odzyskania Niepodległości – Grabskiego/ZUS – Wojska Polskiego – (> Kościuszki > Muzealna >) – Skarbka – Pl. Słowiański – Witelona – Wrocławska – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – al. Piłsudskiego – Sikorskiego – Iwaskiewiczza – Iwaskiewiczza-Szpital	10,58	miejska	uzupełniająca
8	Iwaskiewiczza-Szpital – Iwaskiewiczza – Sudecka – al. Piłsudskiego – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – Wrocławska – Libana – Poczтова – (> Piastowska > Skłodowskiej-Curie > Głogowska > / < Brama Głogowska < Głogowska < Bagienna < Słubicka <) – Poznańska – Poznańska-Pętla	8,73	miejska	podstawowa
10	Dworcowa PKP – Dworcowa – Kartuska – Czarnieckiego – Wrocławska – Kunice: Legnicka – Spalona: Legnicka – Golanka Górna – Golanka Dolna – Prochowice: Legnicka – (> Jaworowska > Wrocławska > Reymonta > Miarki > / < Rynek < Lwowska <) – Kochanowskiego – Kościuszki-Pętla (wybrane kursy wydłużone przez Lisowice do Mierzowic)	17,55 / 21,75	podmiejska	uzupełniająca
15	Iwaskiewiczza-Szpital – Iwaskiewiczza – Sudecka – al. Piłsudskiego – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – Wrocławska – Witelona – Pl. Słowiański – Skarbka – Muzealna – Złotoryjska – Pl. Łużycki – Złotoryjska (wybrane kursy przez Grabskiego/ZUS) – Złotoryjska-Huta Miedzi (wybrane kursy skrócone do Złotoryjska – Ceglana/ Grabskiego)	8,88	miejska	główna
16	Iwaskiewiczza-Szpital – Iwaskiewiczza – Sudecka – al. Piłsudskiego – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – Wrocławska – Witelona – Pl. Słowiański – Skarbka – Muzealna – Złotoryjska – (> Artyleryjska > Marynarska >) – Asnyka – Asnyka-Złotoryjska	7,03	miejska	główna
18	Iwaskiewiczza-Szpital – Iwaskiewiczza – Sikorskiego – al. Piłsudskiego – al. Rzeczypospolitej – Schumana – Nowodworska – Jaworzyńska – Jaworzyńska-LSSE (wybrane kursy skrócone do Jaworzyńska – Gniewomierska)	11,45	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Obsługiwany obszar	Charakter linii
23	Domejki-MPK – Domejki – Chojnowska – (> Gładysza > Mała >) – Drzymały – Rolnicza – Działkowa – Chojnowska – Szewczeni – Lotnicza – Marynarska – Asnyka – Złotoryjska – Dziennikarska – Piastowska – Poczтовая – Kartuska – Czarnieckiego – Moniuszki – al. Piłsudskiego – Sikorskiego – Iwaskiewicza – Iwaskiewicza-Szpital (wybrane kursy wydłużone przez Ziemnice do Grzybian, Rosochatej, Piotrówka lub Jaśkowic Legnickich)	10,73 / 14,73 / 17,48 / 20,38	miejska	uzupełniająca
24	Domejki-MPK – Domejki – Chojnowska – Działkowa – Senatorska – Jagiellońska – Chojnowska – Dziennikarska – Muzealna – Skarbka – Pl. Słowiański – Witelona – Libana – Kartuska – Czarnieckiego – Wrocławska – Sikorskiego – (< al. Piłsudskiego < Sudecka) – Iwaskiewicza – Iwaskiewicza-Szpital	9,18	miejska	podstawowa
26	Domejki-MPK – Domejki – Chojnowska – Działkowa – Senatorska – Piastowska – Poczтовая – Libana – Witelona – Pl. Słowiański – Skarbka – Jaworzyńska – Gniewomierska – LSSE Legnickie Pole	13,28	miejska	dodatkowa
27	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Lipce – Ulesie	3,00	podmiejska	dodatkowa
28	Poznańska-Pętla – Poznańska – (> Stubicza > Bagienna > Głogowska > Brama Głogowska > / < Głogowska < Skłodowskiej-Curie < Piastowska <) – Poczтовая – Kartuska – Czarnieckiego – Wrocławska – Sikorskiego – Iwaskiewicza – Sudecka – al. Piłsudskiego – Ślaska – Sudecka – al. Piłsudskiego – al. Rzeczypospolitej – Zamiejska – Nowodworska – Jaworzyńska – Gniewomierska – LSSE Legnickie Pole	21,10	miejska	dodatkowa
29	Domejki-MPK – Domejki – Chojnowska – Szewczeni – Lotnicza – Marynarska – Asnyka – Złotoryjska – Muzealna – (> Wojska Polskiego > Rataja >) – Jaworzyńska – al. 100-lecia Odzyskania Niepodległości – Bielańska – al. Rzeczypospolitej – Zamiejska – Nowodworska – Jaworzyńska – Gniewomierska – LSSE Legnickie Pole	14,20	miejska	dodatkowa
C	Domejki-MPK – Domejki – Chojnowska – Cmentarz Jasków	3,50	podmiejska	dodatkowa
N1	Domejki-MPK > Domejki > Chojnowska > Piastowska > Poczтовая > Dworcowa > Dworzec PKP > Brama Głogowska > Poczтовая > Kartuska > Czarnieckiego > Wrocławska > Sikorskiego > Iwaskiewicza > Sudecka > al. Piłsudskiego > Sikorskiego > Sudecka > al. Piłsudskiego > Moniuszki > Czarnieckiego > Kartuska > Dworcowa > Dworzec PKP > Brama Głogowska > Piastowska > Chojnowska > Domejki > Domejki-MPK	16,85	miejska	dodatkowa
N2	Domejki-MPK > Domejki > Chojnowska > Marynarska > Asnyka > Złotoryjska > Muzealna > Jaworzyńska > Nowodworska > Zamiejska > al. Rzeczypospolitej > al. Piłsudskiego > Sudecka > Sikorskiego > Wrocławska > Czarnieckiego > Kartuska > Dworcowa > Dworzec PKP > Dworcowa > Libana > Witelona > Pl. Słowiański > Skarbka > Jaworzyńska > Grunwaldzka > Orzeszkowej > Rataja > Złotoryjska > Chojnowska > Domejki > Domejki-MPK	24,80	miejska	dodatkowa

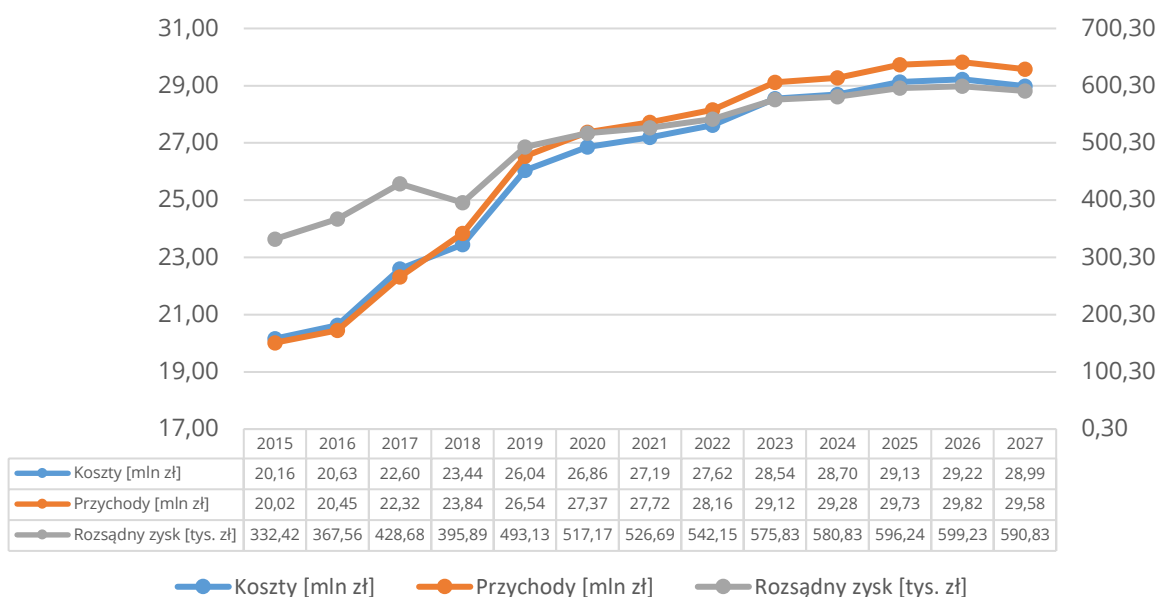
Źródło: opracowanie własne

3.1.3 Koszty eksploatacyjne

Za świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych objętych umową powierzenia operator otrzymuje rekompensatę zgodną z Rozporządzeniem 1370/2007, ustawą o publicznym transporcie publicznym, dyrektywami dotyczącymi przejrzystości stosunków finansowych między Państwami Członkowskimi, a przedsiębiorstwami publicznymi oraz przejrzystością finansową wewnątrz określonych przedsiębiorstw. Rekompensata jest obliczana jako różnica pomiędzy kosztami poniesionymi w związku z realizacją przedmiotu umowy, a dodatnimi

wpływami finansowymi i przychodami związanymi z realizacją przedmiotu umowy. Różnica jest uzupełniana wartością rekompensaty za poprzedni rok rozliczeniowy, która podlega zwrotowi lub uzupełnieniu na podstawie rozliczenia oraz kwotą rozsądnego zysku. Rys. 3.3 prezentuje obecne i planowane według umowy przychody operacyjne, koszty usług publicznych oraz rozsądny zysk dla przewoźnika. W najbliższych latach planowane jest zwiększenie przychodów operacyjnych, kosztów usług publicznych oraz rozsądnego zysku dla operatora.

Przychody operacyjne, koszty usług publicznych i rozsądny zysk (obecne i planowane)



Rys. 3.3 Obecne i planowane przychody operacyjne, koszty usług publicznych oraz rozsądny zysk dla operatora w najbliższych latach

źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK sp. z o.o. w Legnicy

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

Jednym z zadań własnych Gminy Legnica, określonego w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r., jest zapewnianie lokalnego transportu

zbiorowego, poprzez organizację przewozów w komunikacji miejskiej. Realizacja tych usług oraz ich ciągłość gwarantowana jest Planem

zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Legnica oraz Gmin, z którymi Gmina Legnica posiada zawarte porozumienie międzygminne w zakresie publicznego transportu zbiorowego. W dokumencie tym, stanowiącym akt prawa miejscowego, założono, iż „realizowanie przewozów o charakterze użyteczności publicznej planowane jest na obszarze Gminy Legnica, Kunice, Miłkowice, Prochowice oraz

innych gmin, z którymi Gmina Miasto Legnica zawrze porozumienia w sprawie wspólnej organizacji publicznego transportu zbiorowego”. Wskazane uwarunkowania formalno – prawne gwarantują podstawy instytucjonalne umożliwiające wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w perspektywie wieloletniej, m.in. w zakresie minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora.

3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

Przez ostatnie dwa lata w Legnicy przeprowadzono dwa projekty wymiany taboru. Pierwszy z nich zrealizowano w 2016 r., kiedy operator komunikacji miejskiej wydzierżawił 15 fabrycznie nowych autobusów: 12 klasy MAXI oraz 3 klasy MEGA15. Każdy z pojazdów jest niskopodłogowy, posiada klimatyzację oraz spełnia normę spalania EURO 6. Kolejnym projektem (rozpoczętym w 2017 r. i kontynuowanym w 2018 r.) jest zakup 8 autobusów: 4 autobusów z silnikiem spalinowym klasy MAXI i MEGA15 (po 2 szt. z każdej klasy), oraz 4 pojazdów z napędem hybrydowym, także klasy MAXI. Zakup tych

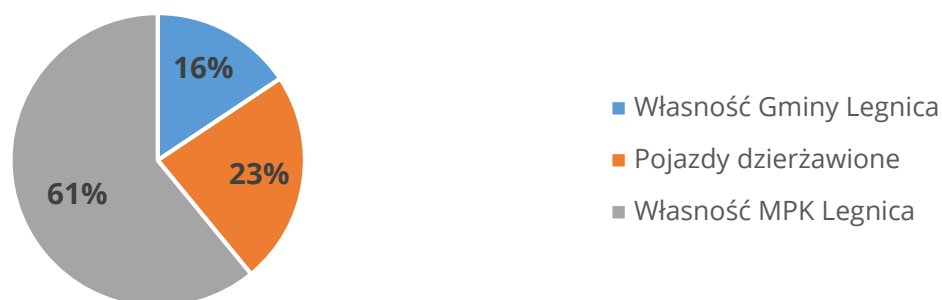
autobusów jest realizowany przez Gminę Legnica w ramach zadania „Ograniczenie niskiej emisji transportowej w Legnicy poprzez zakup nowoczesnych autobusów miejskich na potrzeby transportu zbiorowego wraz z rozbudową systemu dynamicznej informacji przystankowej (DIP)” w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego. Każdy z pojazdów ma być niskopodłogowy, posiadać klimatyzację oraz normę spalania EURO 6. W 2018 r. MPK zakupiło także używany 10-letni autobus przegubowy typu MEGA18 z normą spalania EURO 5.

Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2016	Solaris Urbino 12 IV generacji	MAXI	12	2016	EURO 6
	Solaris Urbino 15 IV generacji	MEGA15	3	2016	EURO 6
2017	Solaris Urbino 12 IV generacji	MAXI	2	2017	EURO 6
	Solaris Urbino 12 IV generacji	MEGA15	2	2018	EURO 6
	Solaris Urbino 12 Hybrid IV generacji	MAXI	4	2018	EURO 6
2018	Solaris Urbino 18	MEGA18	1	2008	EURO 5

Źródło: Opracowanie własne

Struktura właścicielska pojazdów wykorzystywanych przez MPK Legnica



Rys. 3.4 Struktura właścicielska pojazdów wykorzystywanych przez MPK Legnica

Źródło: Opracowanie własne

3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie w legnickiej komunikacji miejskiej eksploatowane są 64 pojazdy. Wszystkie są napędzane konwencjonalnie olejem napędowym i są przystosowane do przewozu osób o ograniczonej sprawności ruchowej – niskopodłogowe (61 pojazdów) lub niskowejściowe (3 pojazdy). Najwięcej z nich stanowią pojazdy o normie spalania EURO 6 – 15 autobusów klasy MAXI (Solaris Urbino 12), 6 autobusów klasy MEGA15 (Solaris Urbino 15) oraz 1 pojazd klasy MINI (Mercedes Sprinter).

Kolejną największą grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 2, które stanowią 29,7% całego taboru – 10 pojazdów klasy MEGA15 (Neoplan N4020) oraz 9 autobusów klasy MAXI (Solaris Urbino 12 i MAN NL223). We flocie użytkowanej przez MPK Legnica znajduje się także jeden pojazd o normie spalania EURO 1 – MAN NG272. Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów w lipcu 2018 roku

Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
EURO 1					1	1
EURO 2			9	10		19
EURO 3		6				6
EURO 4		4				4
EURO 5	2		3		1	6
EEV		2	4			6
EURO 6	1		15	6		22
Liczba pojazdów	3	12	31	16	2	64

Źródło: Opracowanie własne

3.2.3 Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów

Obecnie średni wiek pojazdów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Legnicy wynosi 9,8 lat. Najstarszy pojazd wyprodukowano w 1994 r. – MAN NG272 klasy MEGA18, a najmłodsze w 2018 r. – marki Solaris Urbino 12 i Solaris Urbino 15 z normą spalania EURO 6. Pojazdy w wieku 15 lat i więcej stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – 35,9%. Wśród

najstarszych pojazdów największą grupę stanowią pojazdy klasy MEGA15. Kolejną grupą są pojazdy w wieku poniżej 2 lat – stanowią one 31,3% wszystkich autobusów, w gronie których dominują pojazdy klasy MAXI. W Tab. 3.5. zaprezentowano obecną strukturę pojazdów według wieku i typu.

Tab. 3.5 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w lipcu 2018 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT	1		14	5		20
3-4 LATA				1		1
5-6 LAT		2	7			9
7-8 LAT	2		1			3
9-10 LAT					1	1
11-12 LAT		4				4
13-14 LAT		3				3
15 LAT I WIĘCEJ		3	9	10	1	23

Źródło: Opracowanie własne

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

- założenia operatora dotyczące wymiany najstarszych pojazdów,
- wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego, wskazujące na maksymalnie 10-letni okres eksploatacji

autobusu, które będą wprowadzane stopniowo z uwagi na obecny średni wiek taboru wynoszący 9,8 lat,

- założenie dotyczące kontynuacji wymiany części floty w oparciu o autobusy używane, przewidziane do wprowadzenia wyłącznie w grupach typów taboru cechujących się najniższym wykorzystaniem w sieci, tj. MEGA15 i MEGA18.

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

Tab. 3.6 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2021 r.

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.7 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2023 r.

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.8 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2025 r.

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.9 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2028 r.

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

Źródło: Opracowanie własne

3.2.4 Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym

Emisja gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym zależy od zużycia paliwa przez pojazdy, ich norm spalania oraz przejechanego dystansu. W celu oszacowania emisji gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym obliczono średnie zużycie oleju napędowego dla każdej grupy, która składa się z pojazdów o jednakowym modelu i tej samej marce oraz o tej samej normie spalania. Następnie obliczono emisję gazów cieplarnianych (tj. dwutlenku węgla CO₂) i substancji szkodliwych (niemetanowych

węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO_x i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy oraz sumaryczną liczbę przejechanych kilometrów przez dany typ pojazdów. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w

Tab. 3.10.

Tab. 3.10 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych

Typ pojazdu	Średnia z średnie zużycie ON [l/100km]	Łączna roczna odległość pokonana przez dany typ pojazdu [km]	NMHC i NMVOC [g]	NO _x [g]	PM 2.5 [g]	CO ₂ [kg]
EURO 1						
MAN NG272	46,37	15 292	78 005,4	567 312,0	25 529,0	19 005,0
EURO 2						
MAN NL223	40,41	74 149	329 577,6	2 097 312,0	44 942,4	80 387,1
Neoplan K4016	38,44	58 391	246 904,9	1 571 213,0	33 668,9	60 155,0
Neoplan N4020	45,52	297 416	1 489 238,3	9 476 971,0	203 078,0	362 832,6

Typ pojazdu	Średnia z średnie zużycie ON [l/100km]	Łączna roczna odległość pokonana przez dany typ pojazdu [km]	NMHC i NMVOC [g]	NOx [g]	PM 2.5 [g]	CO2 [kg]
Solaris Urbino 12	39,42	277 474	1 203 167,9	7 656 523,0	164 068,4	293 969,6
EURO 3						
Solaris Urbino 10	35,26	338 860	788 498,0	5 973 470,0	119 469,4	320 025,0
EURO 4						
Solaris Urbino 10	36,79	238 670	403 894,7	3 073 112,0	17 560,6	235 312,6
EURO 5						
Solaris Urbino 12	37,98	223 218	390 288,1	1 696 904,6	16 969,0	227 385,2
Solaris Urbino 18	52,52	600	1449,5	6 302,0	63,0	844,5
Wetlina A8V0301	19,34	78 918	70 209,3	305 258,0	3 052,6	40 904,6
EEV						
Solaris Urbino 10	35,20	70 050	61 644,0	493 152,0	4 931,5	66 083,7
Solaris Urbino 12	36,74	287 461	264 042,3	2 112 338,0	21 123,4	283 053,3
EURO 6						
Solaris Urbino 12	38,75	1 000 902	504 319,2	1 551 751,5	38 793,8	1 039 673,5
Solaris Urbino 15	46,88	227 665	138 735,7	426 879,2	10 672,0	286 009,1
Sprinter City	12,45	45 478	7 360,1	22 646,4	566,2	15 173,1
Emisja roczna wszystkich pojazdów:			5 977 335,0	37 031 144,7	704 488,1	3 330 813,7

Źródło: Opracowanie własne

3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne komunikacji miejskiej w Legnicy. Sieć została przeanalizowana pod względem liczby wozokilometrów liniowych z podziałem na linie i technicznych według typu dnia, wskaźników wykorzystania taboru. Następnie przedstawiono dane dotyczące prędkości komunikacyjnych i eksploatacyjnych w przekroju całej sieci i linii komunikacyjnych oraz zróżnicowania

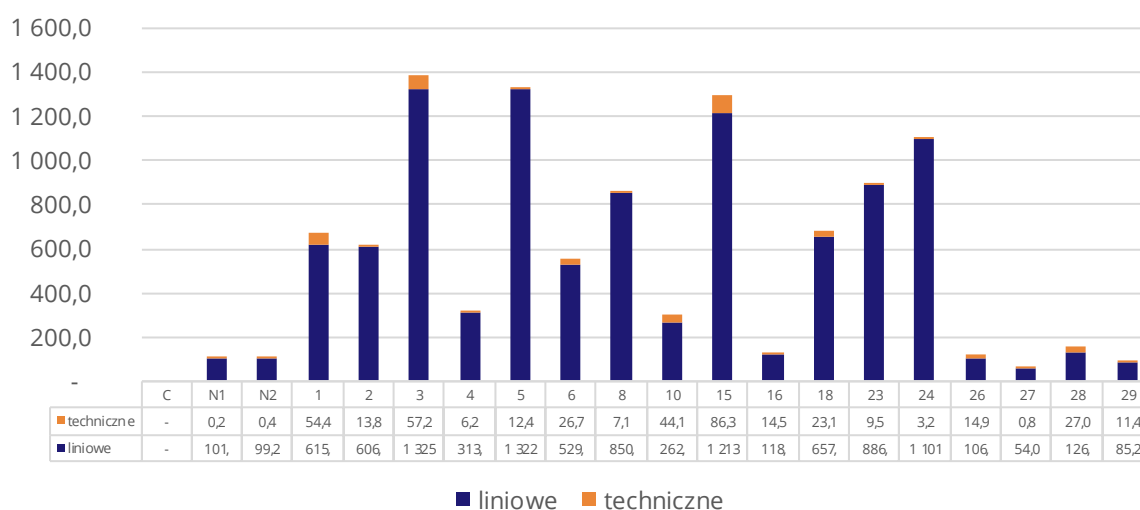
realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady. W końcowej części rozdziału wykonana została analiza rozkładów jazdy na podstawie bazy rozkładów jazdy z dnia 4 czerwca 2018 roku. Dane dotyczące wielkości pracy eksploatacyjnej na poszczególnych liniach w przekroju typów dni rozkładowych zostały przedstawione w załączniku.

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

- dzień roboczy szkolny – 10 788,1 wzkm,
- dzień roboczy wakacyjny - 9571,3 wzkm,
- sobotę – 7 454,7 wzkm,
- niedzielę - 6286,09 wzkm.
- święta - 5 483,2 wzkm.

Najwięcej kilometrów realizowanych jest zwykle na linii 3. Oprócz linii 3, pracę eksploatacyjną na poziomie powyżej 1000 wozokilometrów wykonują linie 5, 15 oraz 24. Najmniejszą pracą eksploatacyjną cechuje się zwykle linia 27, o charakterze dowozowym do krańca położonego przy Zajezdni MPK w pobliżu granic miasta. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano liczbę wozokilometrów na liniach w poszczególne typy dni.

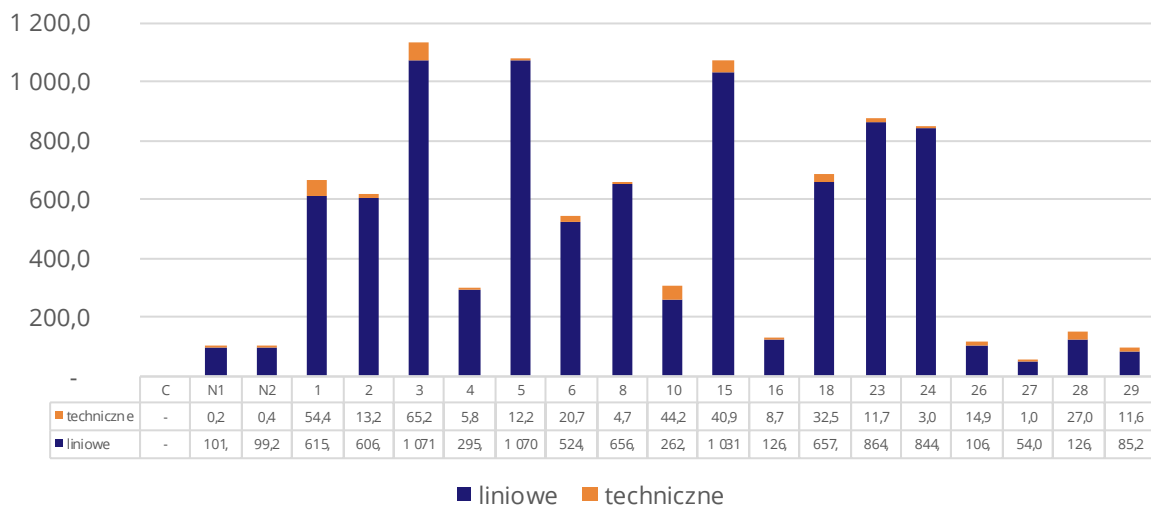
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne



Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne

Źródło: Opracowanie własne

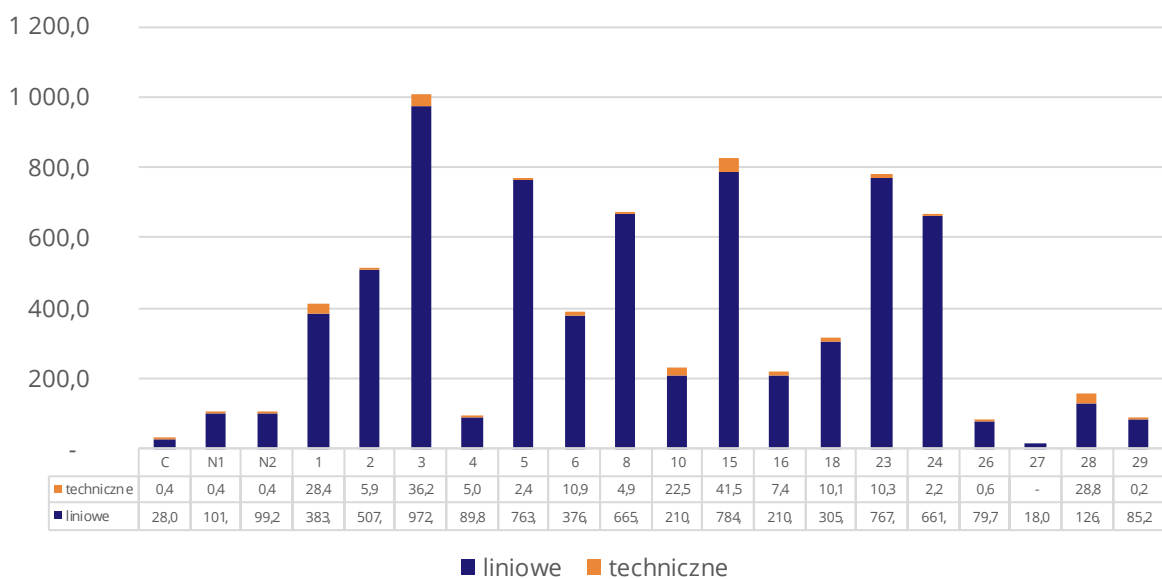
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne



Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne

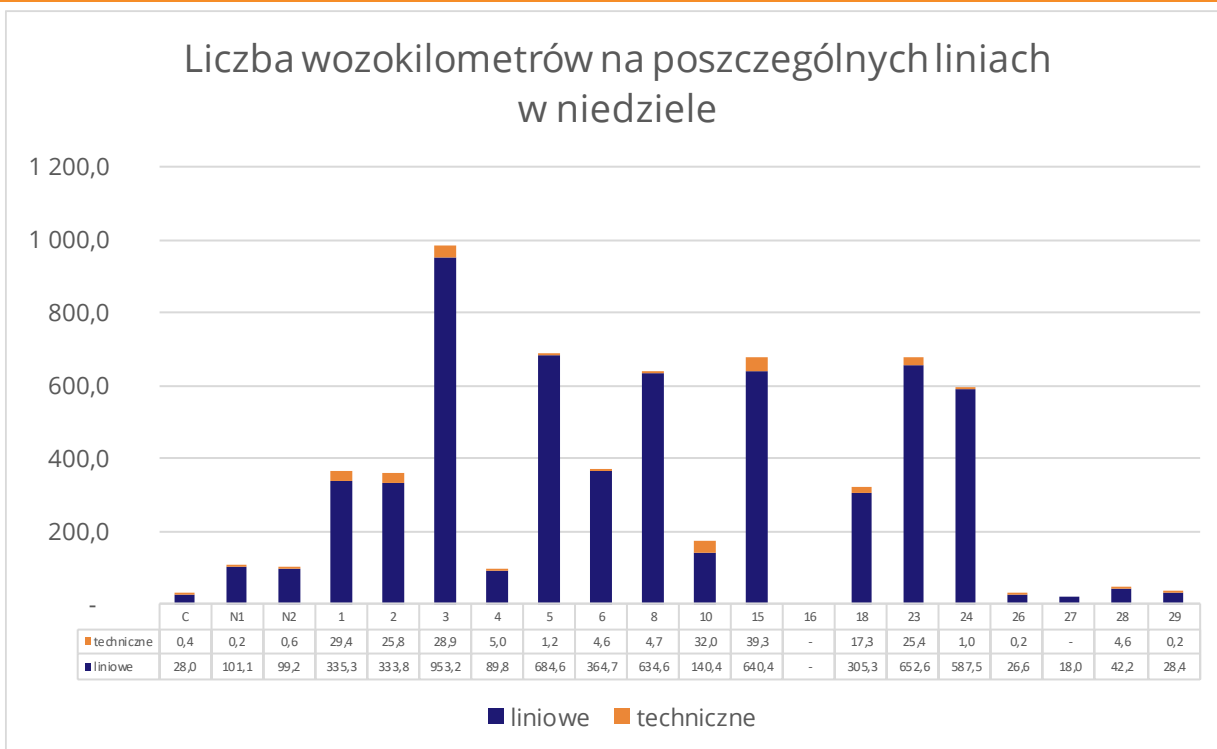
Źródło: Opracowanie własne

Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.8 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.9 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta

Źródło: Opracowanie własne

3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

Aktualnie MPK Legnica sp. z o.o. eksploatuje 64 autobusy, z czego do obsługi linii, ekspediowanych jest:

- w dni robocze w roku szkolnym – 49 autobusów, tj. 77 % taboru,
- w dni robocze w okresie letnich wakacji szkolnych – 44 autobusy, tj. 72 % taboru,
- w soboty – 31 autobusów, tj. 51% taboru,
- w niedziele – 26 autobusów, tj. 43% taboru,
- w święta – 24 autobusy, tj. 39% taboru.

W Tab. 3.11 przedstawiono wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu



Rys. 3.10 Nowoczesny autobus marki Solaris

Źródło: Zbiory własne

Tab. 3.11 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu

Typ dnia /typ pojazdu	MINI		MIDI		MAXI		MEGA15		MEGA18	
	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa
Roboczy szkolny	2		10		23	2	13		1	
Roboczy wakacyjny	2		8		25	2	9			
Sobota	2		7		22	1				
Niedziela	2		11		13	1				
Święta	2		15		7	1				

Źródło: Opracowanie własne

3.3.2 Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych

Prędkości komunikacyjne w całej sieci kształtują się zwykle na poziomie od 16,8 do 17,9 km/h w zależności od typu dnia. Prędkości eksploatacyjne w przekroju całej sieci wynoszą od 23,9 do 26,8 km/h. Zwykle najwyższe prędkości eksploatacyjne oprócz linii nocnych osiągają linie 1 i 10, a najniższe 4, 16, 26, 27. W

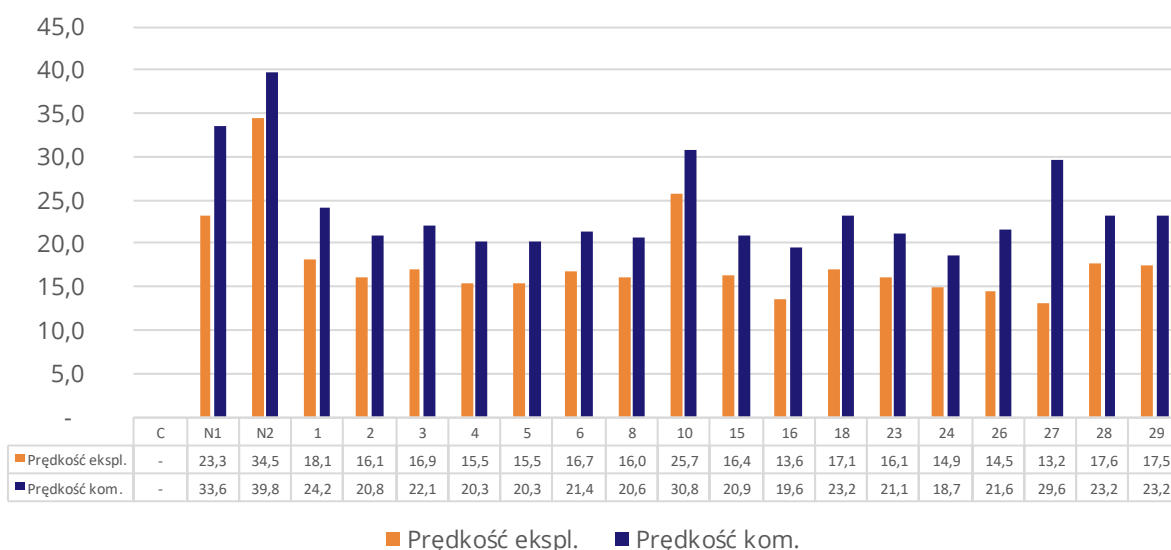
przypadku prędkości komunikacyjnych najwyższe poziomy osiągają linie C, 10 oraz 27, a najniższe 16 i 24. Duża dysproporcja pomiędzy prędkością eksploatacyjną, a prędkością komunikacyjną na linii 27 wskazuje na dłuższe niż przeciętnie postoje wyrównawcze między kursami

Tab. 3.12 Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych

Linia / dzień tygodnia	Roboczy szkolny		Roboczy wakacyjny		Sobota		Niedziela		Święta	
	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.
C	0	0	0	0	5	31,6	5	31,6	5	31,6
N1	23,3	33,6	23,3	33,6	23,2	33,5	23,3	33,6	23,3	33,6
N2	34,5	39,8	34,5	39,8	32,5	39,8	34,4	39,9	34,4	39,9
1	18,1	24,2	18,4	24,3	19,3	25,4	17,1	26,3	17,8	26,3
2	16,1	20,8	16,1	21	15,7	21,6	15,1	22,6	15,5	22,6
3	16,9	22,1	17,2	22,5	18,4	23,5	19,8	24,3	18	24,3
4	15,5	20,3	15,5	20,4	13,5	22,4	13,3	22,9	13,3	22,9
5	15,5	20,3	15,2	20,6	16,5	21	15,9	21,6	15,9	21,6
6	16,7	21,4	14,9	21,6	16,6	21,9	15,6	22	0	0
8	16	20,6	14,7	20,9	16	21,9	16,3	22,7	16,4	22,8
10	25,7	30,8	26,7	31,1	23,4	33,5	22	32,2	20,9	32,3
15	16,4	20,9	16,9	21,2	16,5	21,9	16,4	22,8	16,2	22,7
16	13,6	19,6	12,5	19,2	13,7	19,5	0	0	0	0
18	17,1	23,2	16,5	23,5	16,5	23,4	17,8	24,6	0	0
23	16,1	21,1	15,7	21,1	16,1	21,4	16,2	22,3	15,4	22,2
24	14,9	18,7	14,8	18,8	15,6	19,8	15,5	20,2	15,9	20,2
26	14,5	21,6	13,9	21,8	14,6	23,1	11,4	25,1	0	0
27	13,2	29,6	17,1	29,2	11,3	32,7	11,3	32,7	11,3	32,7
28	17,6	23,2	18,1	23,3	17,1	24,7	17,8	26,2	0	0
29	17,5	23,2	16,9	23,3	13,6	24,3	14,5	24,9	0	0
RAZEM:	17,9	23,9	17,8	24,1	16,8	25,3	16,8	26,2	17,1	26,8

Źródło: Opracowanie własne

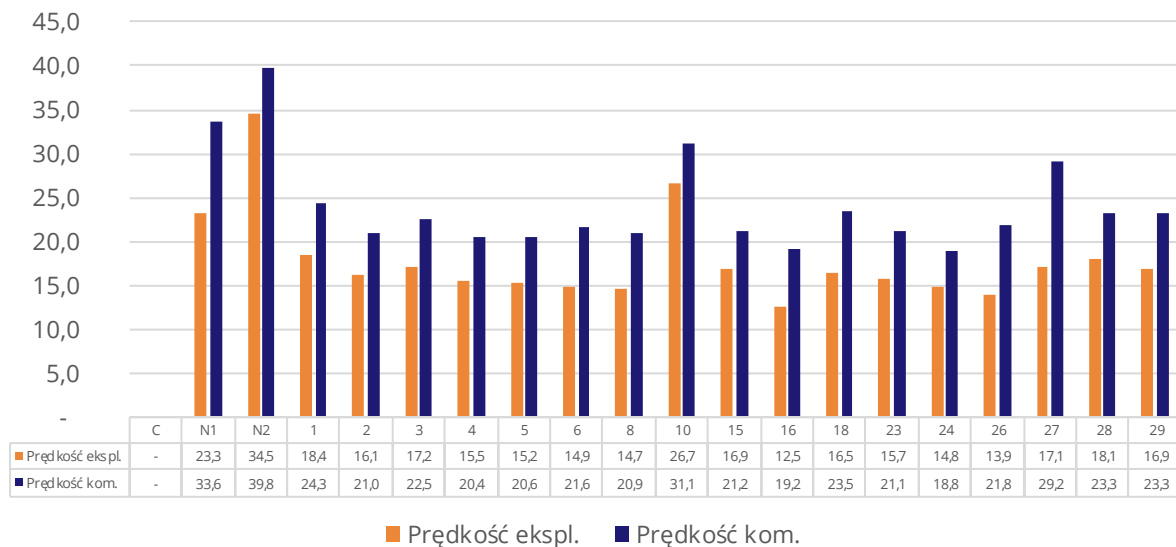
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne



Rys. 3.11 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne

Źródło: Opracowanie własne

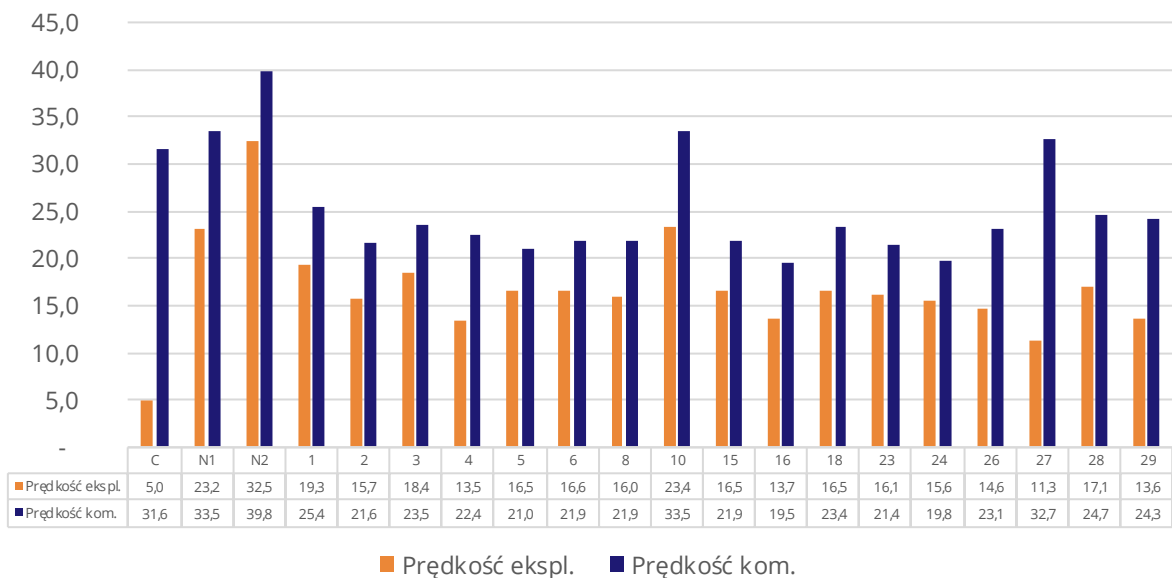
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne



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

Źródło: Opracowanie własne

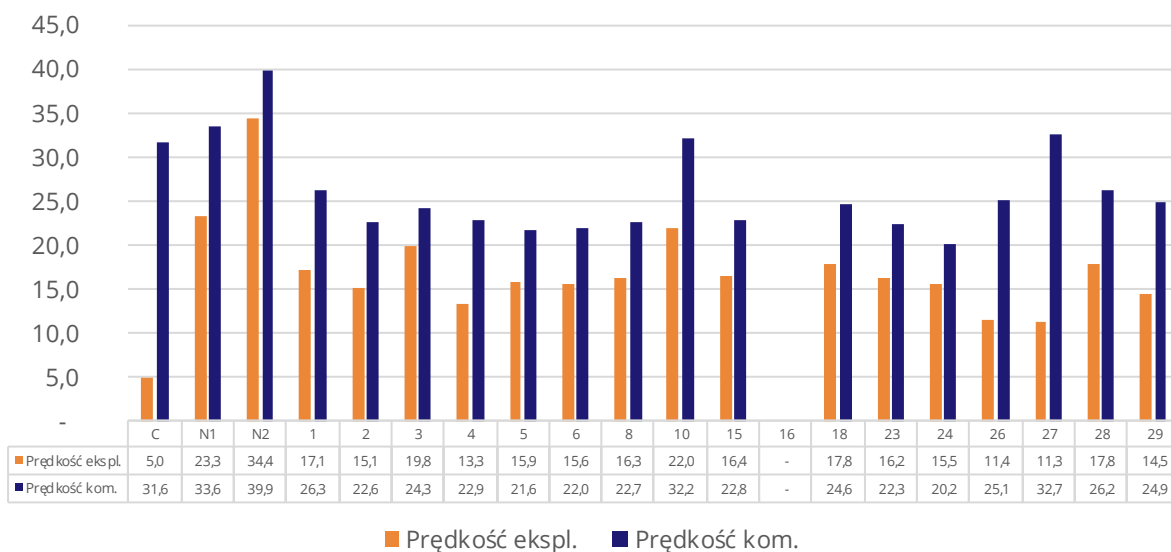
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.13 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w soboty

Źródło: Opracowanie własne

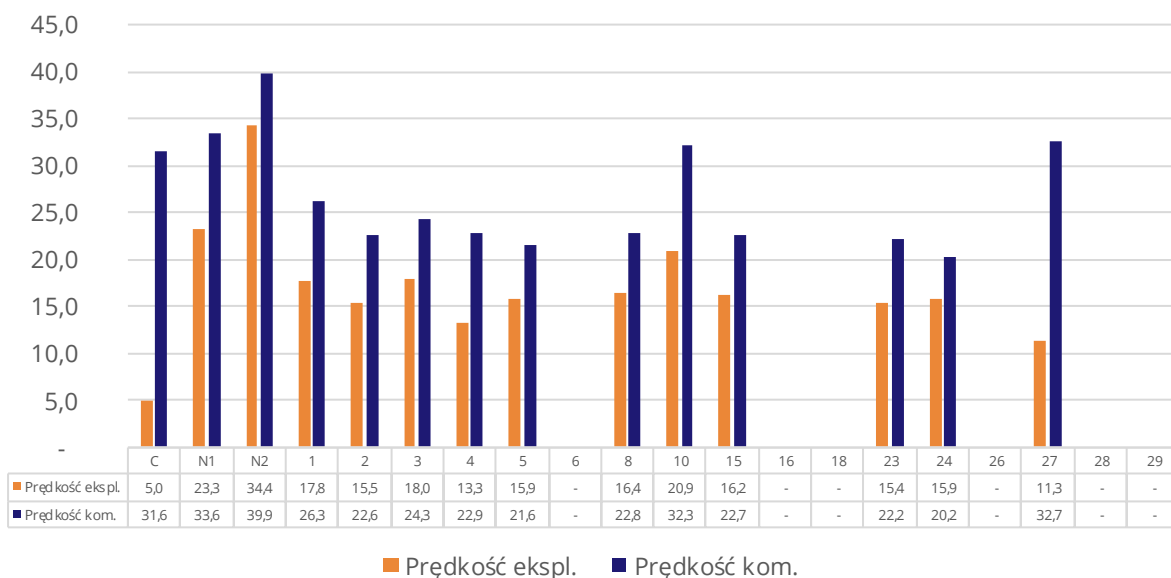
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedziele



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

Źródło: Opracowanie własne

Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta



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

Źródło: Opracowanie własne

3.3.3 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzkm przez poszczególne brygady

Wszystkie brygady w dzień roboczy szkolny wykonują łącznie 10 787,71 wzkm. Najwięcej brygad jest obsługiwane autobusami MAXI - 23, które wykonują pracę eksploatacyjną na poziomie 5 560,76 wzkm. W całym systemie jest tylko jedna brygada, na której kursują autobusy klasy MEGA 18, która wykonuje 114,9 km wzkm. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci przejeżdża trasę długości 108,61 km i jest obsługiwana przez autobus klasy MEGA 15. Najdłuższa brygada ma długość 323,33 km na której są eksploatowane autobusy MAXI. Przeciętna długość brygady na całej sieci wynosi 220,16 km, z tym, że brygady obsługiwane pojazdami klasy MIDI i MAXI są zwykle dłuższe niż MEGA 15 oraz MINI. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

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

Równanie 1. Współczynnik zmienności

gdzie:

s – odchylenie standardowe

\bar{x} – przeciętna długość brygady.

Największym zróżnicowaniem długości brygad charakteryzują się brygady obsługiwane przez autobusy MEGA 15 (45,6%). Oznacza to, że istnieją brygady realizujące znacznie więcej wozokilometrów niż wynosi średnia, jak i znacznie mniej. Liczba wozokilometrów jest najmniej zróżnicowana w przypadku autobusów klasy MINI – 11,21%. Szczegółowe dane dotyczące zróżnicowania brygad zostały zaprezentowane w Tab. 3.13.

Tab. 3.13 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny

Parametr / typ taboru	MINI	MIDI	MAXI	MEGA 15	MEGA 18	Cała sieć
liczba brygad	2	10	23	13	1	49
minimalna długość [km]	164,00	135,05	116,40	108,61	-	108,61
maksymalna długość [km]	192,25	303,08	323,33	314,05	-	323,33
przeciętna długość [km]	178,13	237,08	241,77	183,46	-	220,16
odch. standardowe	19,98	64,84	73,40	84,22	-	77,41
wsp. zmienności	11,21%	27,35%	30,36%	45,90%	-	35,16%
suma wzkm	356,25	2 370,81	5 560,76	2 384,99	114,9	10 787,71

Źródło: Opracowanie własne

3.3.4 Analiza rozkładów jazdy

Ze względu na ograniczenia techniczne wynikające z ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych i trolejbusów, które obsługują obszary bez sieci trakcyjnej, dokonano analizy rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od operatora w programie AGC BUSMAN. Analiza posłużyła do

wybrania linii lub brygad, które mogłyby zostać obsługiwane przez autobusy zeroemisyjne. Sprawdzone również najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. Szczegółową analizę rozkładów jazdy dla każdego wariantu dokonano w następnym rozdziale oraz w arkuszu

kalkulacyjnym załączonym do dokumentu. W Tab. 3.14 zaprezentowano stan obecny pod

względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

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

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - pojazdy spalinowe i niskoemisyjne	2	10	23	13	1	49
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych	0					
Liczba brygad w ruchu	2	10	23	13	1	49
Stan taboru - poj. spalinowe i niskoemisyjne	3	12	31	16	2	64
Stan taboru - pojazdy zeroemisyjne	0					
Stan taboru	3	12	31	16	2	64
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	67%	83%	74%	81%	50%	77%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych	0%					
Udział pojazdów zeroemisyjnych	0%					

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
C	Domejki MPK	Cmentarz Jaszków	-	-	-	-	-	-	-	-
N1	Iwaskiewiczza Baczyńskiego	Domejki MPK	-	-	-	-	-	-	-	-
N2	Sikorskiego Rondo	Domejki MPK	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Pątnowska Pętla	Złotoryjska Ceglana	60	2	1	-	60	15	19-23	71
2	Śląska	Piątnicka Pętla	30	5	7	1	30	3	6-8	1-2
3	Iwaskiewiczza Szpital	Jaworzyńska LSSE Pętla	30	11	8	-	12	2-8	3-8	21
4	Poznańska Pętla	Jaworzyńska LSSE Pętla	p1	7	-	-	50	0-11	2	-
5	Nowodworska LPWIK	Domejki MPK	30	2	4	16	15	2	10	-

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Krańiec 1	Krańiec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Krańiec 1	Krańiec 2	Krańce wariantowe
6	Iwaszkiewicza Szpital	Schumana AUCHAN	30	9	10	-	30	3	1	-
8	Iwaszkiewicza Baczyńskiego	Poznańska Struga	30	6	2	-	15	5	1	-
10	Prochowice Kościuszki Pętla	Dworcowa PKP	-	-	-	-	60	2	13	-
15	Iwaszkiewicza Baczyńskiego	Złotoryjska Huta Miedzi	30	4	4	3	30	6	6-8	15
16	Iwaszkiewicza Baczyńskiego	Asnyka Złotoryjska	60	4	10	-	-	-	-	-
18	Iwaszkiewicza Szpital	Jaworzyńska Nowodworska	30	4	7	-	30	15	-	5
23	Iwaszkiewicza Szpital	Domejki MPK	30	18	6	6-24	30	14	6	5-10
24	Iwaszkiewicza Baczyńskiego	Domejki MPK	15	3	12	-	15	1	3-12	-
26	LSSE Legnickie Pole	Domejki MPK	-	-	-	-	p1	38	-	-
27	Domejki MPK	Ulesie	p1	16	-	-	60	2-4	-	-
28	LSSE Legnickie Pole	Poznańska Struga	p1	31	-	-	p1	31	-	-
29	LSSE Legnickie Pole	Domejki MPK	p1	37	-	-	p1	37	-	-

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.16 Długość przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w soboty i niedziele

Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	SOBOTA				NIEDZIELA			
			Pora podstawowa [9:00 - 17:59]				Pora podstawowa [11:00 - 17:59]			
			Inter-wały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Inter-wały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
C	Domejki MPK	Cmentarz Jasków	120	48	19-59	-	120	48	19-59	-
N1	Iwaskiewicza Baczyńskiego	Domejki MPK	-	-	-	-	-	-	-	-
N2	Sikorskiego Rondo	Domejki MPK	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Pątnowska Pętla	Złotoryjska Ceglana	60	0	6	-	60	2	0-21	-
2	Śląska	Piątnicka Pętla	30	7	7	2	60	10	6	1
3	Iwaskiewicza Szpital	Jaworzyńska LSSE Pętla	30	5-14	8	-	30	6	2	-
4	Poznańska Pętla	Jaworzyńska LSSE Pętla	p1	3	32	-	p1	4	34	-
5	Nowodworska LPWIK	Domejki MPK	60	2	1	14-20	60	4	6	22
6	Iwaskiewicza Szpital	Schumana AUCHAN	30	3	8	-	30	4	36	-
8	Iwaskiewicza Baczyńskiego	Poznańska Struga	30	8	2	-	30	11	1	-
10	Prochowice Kościuszki Pętla	Dworcowa PKP	90	8	21	-	180	8	0	-
15	Iwaskiewicza Baczyńskiego	Złotoryjska Huta Miedzi	60	4	5	10	60	3	7	3
16	Iwaskiewicza Baczyńskiego	Asnyka Złotoryjska	60	4	11	-	-	-	-	-
18	Iwaskiewicza Szpital	Jaworzyńska Nowodworska	60	2	8	23	60	1	11	22
23	Iwaskiewicza Szpital	Domejki MPK	30	18	8	1-13	30	22	6	9-29
24	Iwaskiewicza Baczyńskiego	Domejki MPK	30	3	17	-	30	0	16	-
26	LSSE Legnickie Pole	Domejki MPK	p1	34	-	-	-	-	-	-
27	Domejki MPK	Ulesie	240	20	9	-	240	20	9	-
28	LSSE Legnickie Pole	Poznańska Struga	p1	30	-	-	-	-	-	-
29	LSSE Legnickie Pole	Domejki MPK	p1	34	-	-	-	-	-	-

Źródło: Opracowanie własne

4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W rozdziale 4 przedstawiono 5 wariantów inwestycyjnych:

- autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi,
- autobusy elektryczne akumulatorowe w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in,
- autobusy elektryczne akumulatorowe 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 Legnicy

oraz potencjalne koszty wprowadzenia. Pod koniec rozdziału przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania najlepszych wariantów do dalszych części analiz kosztów i korzyści.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych w sieci legnickiej komunikacji miejskiej 64 pojazdach, wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi⁶:

- w terminie od 01.01.2021 – 4 pojazdy (tj. 5% spośród posiadanej liczby autobusów),
- w terminie od 01.01.2023 – 7 pojazdów (tj. udział 10%),
- w terminie od 01.01.2025 – 13 pojazdów (tj. udział 20%),
- w terminie od 01.01.2028 – 20 pojazdów (tj. udział 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 br. w Europie pojawiło się ponad 70 takich pojazdów, którymi przejechano ponad 10 mln km. Rozwiązanie to jest atrakcyjne nie tylko ze względu na korzyści związane z ochroną środowiska (w wyniku utleniania u powstaje tylko para wodna), ale także na brak konieczności inwestowania w dodatkową infrastrukturę do doładowywania pojazdu. Jedynym oraz najważniejszym

aspektem jest scentralizowana stacja tankowania wodoru (HRS) w zajezdni autobusowej. Obecnie autobusy napędzane wodorem są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak Londyn, Hamburg czy Oslo. Są to niewielkie floty, liczące do 10 sztuk, ale ich liczba wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie pojawi się co najmniej 60 kolejnych autobusów napędzanych wodorem⁷. Warto też wspomnieć o niedawnym

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

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

zamówieniu na 40 autobusów złożonym wspólnie przez Kolonię i Wuppertal⁸.

Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie

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

Źródło: Opracowanie własne

4.1.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy napędzane energią pochodzącą z czystego wodoru różnią się od klasycznych autobusów elektrycznych tym, że głównym źródłem prądu elektrycznego są ogniwa wodorowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję wspomagającą (są doładowywane w trakcie jazdy). Rozwiązanie to jest korzystniejsze ze względu na krótki czas tankowania i wydajność autobusu na ogniwa paliwowe (większy zasięg niż w przypadku pojazdów elektrycznych akumulatorowych). Zbiorniki na wodór umieszczone na dachu autobusu mają pojemność 35-40 kg, co wystarcza na przejechanie ok. 450 km, bez konieczności doładowania akumulatora na trasie (jak to ma miejsce w przypadku obecnie eksploatowanych

pojazdów elektrycznych akumulatorowych). Tankowanie zajmuje około 10 minut, wodór przechowywany jest w pojemnikach pod ciśnieniem ok. 35 MPa.

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

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

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

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

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
Solaris Urbino 18,75	18,75 m	2014	120 kWh	101 kW	300 km	105 pasażerów
Ursus Demo Hydrogen (elektryczny na wodorowe ogniwa paliwowe)	12 m	2017	70 kWh	1 100 kW	450 km	20 tys. h pracy, 700 tys. km przebiegu, ok. 80 pasażerów
Solaris Urbino 12 Hydrogen	12 m	2019	29,2 kWh	2 x 60 kW	ponad 350 km	ok. 80 pasażerów

Źródło: Opracowanie własne.

4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów napędzanych wodorem, obejmują koszty zakupu taboru jak i infrastruktury niezbędnej do tankowania pojazdu. Według planu firmy Solaris Bus & Coach S.A., który dotyczy eksploatacji autobusów napędzanych wodorem, koszt takiego pojazdu klasy MAXI wynosi od 750 tys. do 1 mln euro. Solaris jest w trakcie realizacji wartego 18 mln euro kontraktu na dostawę 10 przegubowych, 18,75 metrowych trolejbusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi i 10 napędzanych wodorem 12 metrowych autobusów dla łotewskiej Rygi.⁹

Docelowo cenę zakupu jednego autobusu napędzanego wodorem oscyluje się na 500 tys. euro (taki scenariusz przewiduje jeden ze światowych dostawców innowacyjnych rozwiązań w zakresie ogniw paliwowych). Cena takiego pojazdu zależy od wielkości zamówienia. Na Rys. 4.1 przedstawiono koszty budowy

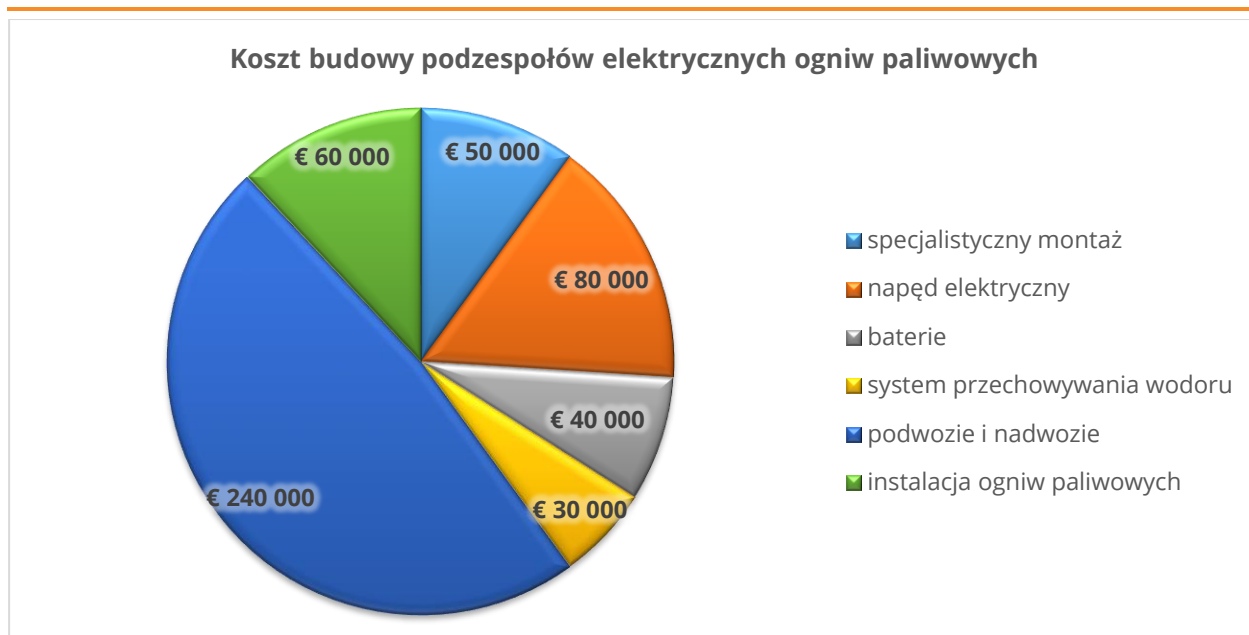
podzespołów elektrycznych ogniw paliwowych 12-metrowego autobusu, o mocy 60 kW. Są to kwoty, jakich oczekuje się przy eksploatacji taboru do roku 2020, co pozwala na redukcję tych obecnych nawet do 40%. Dr Frank Koch z Energie Agentur NRW, agencji zajmującej się ekspertyzami energetycznymi dla Nadrenii Północnej – Westfalii, szacuje, że koszty zakupu autobusu typu MAXI (12-13,5 m) kształtują się w okolicy 650 tys. euro, a za autobus przegubowy do 1 miliona euro.¹⁰ 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 ostatecznie¹¹. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie 3,21 mln zł netto (0,75 mln euro netto).

⁹ <https://skaties.lv/zinas/latvija/rigas-satiksme-teres-18-miljonus-lai-nopirktu-jaunus-udenraza-autobusus-un-trolejbusus/>, dostęp 18.07.18

¹⁰ <https://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20160308-fachkonferenz-in-aachen-und->

foerderaufwurf/frankkoch_energieagnrw_fk-aachen-08-03-2016.pdf, dostęp na 18.07.18

¹¹ <http://www.rvk.de/das-unternehmen/innovationsfuehrer-rvk/projekt-null-emission.html>, dostęp na 18.07.18



Rys. 4.1 Koszt budowy podzespołów elektrycznych ogniw paliwowych

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

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

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam ¹²	2	Van Hool 13m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia	30	Van Hool 13m	13,0mln €	430 tys. €
Aberdeen ¹³	10	Van Hool 13m	brak danych	~500 tys. £ ≈ 560 tys. €
Oslo ¹⁴	10	Brak danych	38mln NOK ≈ 14mln €	~1,4mln €

Źródło: opracowanie własne na podstawie artykułów branżowych.

4.1.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów

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

- magazyn wodoru (zbiornik nisko- i wysokociśnieniowy),
- sprężarka membranowa bezolejowa,
- wymiennik ciepła (chłodnica),
- dystrybutor dla autobusów (350 bar),

- dystrybutor dla samochodów osobowych (700 bar),
- układ sterowania stacją.

Koszt budowy stacji zależy od jej wielkości, sposobu dostarczania wodoru na stacji (produkcja na miejscu, dostawa w formie płynnej lub gazowej)¹⁵ i wymagań, jakie stawiają założenia odnośnie taboru i jej użytkowników. Według danych opublikowanych przez

¹² <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp 18.07.18

¹³ <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses/> dostęp 18.07.18

¹⁴ <https://www.hegнар.no/Nyheter/Naeringsliv/2018/07/Ruter-faar-stoette-til-ti-nye-hydrogenbuser-i-Oslo> dostęp 18.07.18

¹⁵ <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing> dostęp 18.07.18

stowarzyszenie KH2Mobility i rządu brytyjskiego, na budowę sieci stacji tankowania wodoru w największych miastach do 2030 roku, potrzeba 418 mln funtów. Kwota ta ma pokryć koszty budowy blisko 1200 stacji, co oznacza, że średnio jedna stacja będzie kosztować 350 tys. funtów, czyli około 400 tys. euro. Opracowanie dr Franka Kocha z Energie Agentur NRW określa koszt budowy stacji mogącej obsłużyć sieć do 10 autobusów na 600 tys. euro¹⁶. W artykułach

traktujących o stacjach tankowania wodoru do aut osobowych, padają kwoty między 1 a 2 mln euro¹⁷. Łotewska Ryga za budowę dużej stacji tankowania, mogącej obsługiwać 20 pojazdową flotę autobusów i pojazdy prywatne, zapłaciła 4,5 mln euro¹⁸. Inne dane, pochodzące z USA wyceniają koszt budowy jednej dużej stacji na 5 mln dolarów, jednak warto zwrócić uwagę, że są to dane z 2012¹⁹.

¹⁶ https://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20160308-fachkonferenz-in-aachen-und-foerderaufwurf/frankkoch_energieagrnw_fk-aachen-08-03-2016.pdf, dostęp na 18.07.18

¹⁷ <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp 18.07.18

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

¹⁹ https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review12/an020_melaina_2012_o.pdf, dostęp 18.07.18

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 pierwszym kwartale 2018 w polskich miastach jeździło 89 autobusów elektrycznych akumulatorowych, a kolejnych 105 jest na etapie zakupu i produkcji²⁰. Autobusy elektryczne w Polsce produkuje Solaris Bus & Coach S.A., Ursus Bus S.A. oraz VOLVO POLSKA SP. Z O.O. Autobusy elektryczne mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych²¹, ze względu na konieczność montażu akumulatorów. Wyróżniają się lepszymi charakterystykami dynamicznymi – stosowane w autobusach elektrycznych silniki asynchroniczne, w przeciwieństwie do spalinowych, osiągają maksymalny moment obrotowy już przy rozruchu. Do ich zasilania używa się akumulatorów m.in. litowo-jonowych NMC, które charakteryzują się niskimi kosztami, niską masą, ale również oraz niską żywotnością i małym zakresem temperatur pracy (>-10°C) litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C. Powszechne są również akumulatory litowo-tytanowe LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²². Najważniejszymi czynnikami charakteryzującym eksploatację autobusów elektrycznych akumulatorowych jest ich zasięg oraz metoda ładowania. Zasięg

maksymalny autobusów eksploatowanych w Polsce waha się między 100 km a 300 km, jednak ze względu na np. zużycie energii przez klimatyzację lub niską temperaturę (na którą czułe są akumulatory), zasięg eksploatacyjny jest mniejszy. Zasięg pojazdu zależy od liczby zastosowanych akumulatorów, co przekłada się na masę pojazdu: w autobusie Ursus City Smile 10 o zasięgu 240 km, masa akumulatorów wynosi około 2 tony, natomiast w Solarisie Urbino 8,9 o zasięgu do 100 km akumulatory mają masę 1,4t.

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

²⁰ <http://pspa.com.pl/polske-czeka-autobusowa-rewolucja>

²¹ *Koncepcja wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych w lubelskiej komunikacji miejskiej*, Poznań 2014

²² *Przegląd aktualnych doświadczeń w eksploatacji autobusów elektrycznych*, MZA Sp.zo.o., Kraków 2017

autobus może wykonać więcej kilometrów w ruchu liniowym, zanim konieczny będzie zjazd na ładowanie.



Rys. 4.2 *Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 18 electric*

Źródło: Zbiory własne

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

Tab. 4.4 *Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast*

Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowarki zawarte w cenie
Stalowa Wola	Solaris	9m	10	2,046	3x pantografowa i 5x plug-in
Inowrocław	Volvo	12m	8	2,086	8x plug in
Kraków	Solaris	12m	17	2,050	brak
Kraków	Solaris	18m	3	2,649	brak
Rzeszów	Solaris	12m	10	2,455	10x plug-in i 2x pantografowa
Szczecinek	Ursus	12m	10	2,060	11x plug-in
Poznań	Solaris	18m	15	3,130	brak
Poznań	Solaris	12m	6	2,198	brak

Źródło: Opracowanie własne

W Tab. 4.4 przedstawione zostały ceny jednostkowe pojazdów w wybranych przetargach na zakup autobusów elektrycznych akumulatorowych w przeciągu ostatnich lat. Na ich podstawie do dalszych analiz przyjęto następujące kwoty netto, niezbędne do zakupu

autobusów (z możliwością ładowania za pomocą pantografu):

- MINI – 1,8 mln zł
- MIDI – 1,9 mln zł
- MAXI – 2,2 mln zł
- MEGA18 – 2,8 mln zł

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

Koszt zakupu ładowarek plug-in jest stosunkowo niski – koszt jednego urządzenia to około 100 000 zł netto. W celu efektywnego ładowania pojazdów zwykle wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek, zwykle jednej na

pojazd (dla urządzeń jednostanowiskowych) lub jednej na dwa pojazdy (dla urządzeń dwustanowiskowych). Stosując ładowarki typu plug-in, bez doładowywania autobusów na trasie, istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że

liczba autobusów elektrycznych (autobusy elektryczne akumulatorowe akumulatorowych potrzebnych do obsługi zaplanowanych brygad będzie większa niż analogiczna liczba pojazdów spalinowych (autobusy elektryczne akumulatorowe musiałyby zjeżdżać do zajezdni po wykonaniu około 150 km na kilkugodzinne ładowanie).

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

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych i potrzebę ładowania akumulatorów dokonano analizy rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od przewoźnika. Przy analizie przyjęto założenie, że jeden autobus elektryczny może przejechać 120 km na naładowanym akumulatorze. Wariant

zakłada ładowanie pojazdów jedynie na zajezdni do pełnych akumulatorów. W analizie wykluczono wymianę autobusów MEGA15, ponieważ producenci taboru nie produkują pojazdów elektrycznych akumulatorowych o takiej długości.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	2	7	16	13	1	39
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe	0	6	13	0	0	19
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	3	6	0	0	9
Liczba brygad w ruchu	2	13	29	13	1	58

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy pozwalają na obsługę autobusami elektrycznymi akumulatorowymi 19 brygad – 13 obsługiwanych autobusami klasy MAXI, 6 autobusami klasy MIDI. Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych zaistnieje potrzeba wprowadzenia do obsługi dodatkowo 6 brygad klasy MAXI oraz 3 klasy MIDI. Do obsługi łącznie będą potrzebne 73 pojazdy – o 9 więcej niż

obecnie, w tym 23 autobusy z napędem elektrycznym (32%). Rozwiązanie to pozwoli osiągnąć ustawowy wymóg 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych. Przyrost liczby posiadanych autobusów wynika z ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych, który nie pozwala na wymianę autobusów spalinowych w stosunku 1:1. Dokładną analizę rozkładów w tym wariantcie przedstawiono w arkuszu kalkulacyjnym dołączonym do dokumentu.

Tab. 4.6 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	3	9	21	16	1	50
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	6	17	0	0	23
Stan taboru	3	15	38	16	1	73
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	67%	78%	76%	81%	-	78%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	-	100%	76%	-	-	83%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	40%	45%	0%	0%	32%

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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



Rys. 4.3 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w barwach PKM Jaworzno

Źródło: Zbiory własne

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

- linie z przeznaczeniem do elektryfikacji zdefiniowano, tak, aby w godzinach szczytów łączna liczba kursujących na nich brygadach była zbliżona do wymaganej liczby autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora licząc na dzień 01.01.2018 r., przy założeniu, że wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych akumulatorowych będzie wynosił w dzień roboczy 90%,
- przedmiotem elektryfikacji objęto wyłącznie linie, na których wszystkie kursujące brygady będą wykonywane przez autobusy elektryczne akumulatorowe,
- odrzucono linie, na których wykorzystywane są autobusy MEGA15, które nie są produkowane w wersji elektrycznej oraz linie nocne z uwagi na konieczność ładowania akumulatorów w porze nocnej,
- do elektryfikacji preferowane są linie z niższymi prędkościami komunikacyjnymi oraz przebiegające przez zabytkowe centrum miasta i przez największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,
- lokalizację infrastruktury szybkiego ładowania wyznaczono z pominięciem krańców położonych na terenach prywatnych,
- ściśle oceniono długości postojów na krańcach w przedstawionych kluczowych porach poszczególnych typów dni, które dla określonych linii powinny zostać odpowiednio wydłużone, zakładając konieczność zachowania odpowiedniej rezerwy czasowej na doładowywanie autobusów,
- założono, że trasy nie będą modyfikowane, niewykorzystywane autobusy elektryczne akumulatorowe poza godzinami szczytów komunikacyjnych będą kierowane do obsługi innych linii,
- dla zmaksymalizowania korzyści wynikających z niższych kosztów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych akumulatorowych, założono, że będą one silniej eksploatowane od autobusów spalinowych, pomimo konieczności wydłużenia przerw międzykursowych na doładowanie akumulatorów; założono, że nawet jeśli zwiększy się liczba pojazdów w ruchu przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny w ruchu będzie wyższa o 20% w porównaniu do użytkowanych pozostałych autobusów spalinowych.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy do całkowitej elektryfikacji wybrano linie 5, 6, 23 oraz 24, natomiast częściowej elektryfikacji podlegać będą linie 15 i 16. Uzupełniająco autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały linie 3, 8 i 18 w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy na liniach całkowicie lub częściowo zelektryfikowanych.

Linie zdefiniowane jako główne elektryfikowane generowały w 2016 r. 38,5% popytu na legnicką komunikację miejską. Należy przy tym zaznaczyć, iż dwie z nich, tj. linie 6 i 23 zostały 01.05.2018 r. wydłużone, przez co prawdopodobnie udział głównych elektryfikowanych linii w strukturze popytu na komunikację miejską wzrośnie.

Do zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na elektryfikowanych liniach

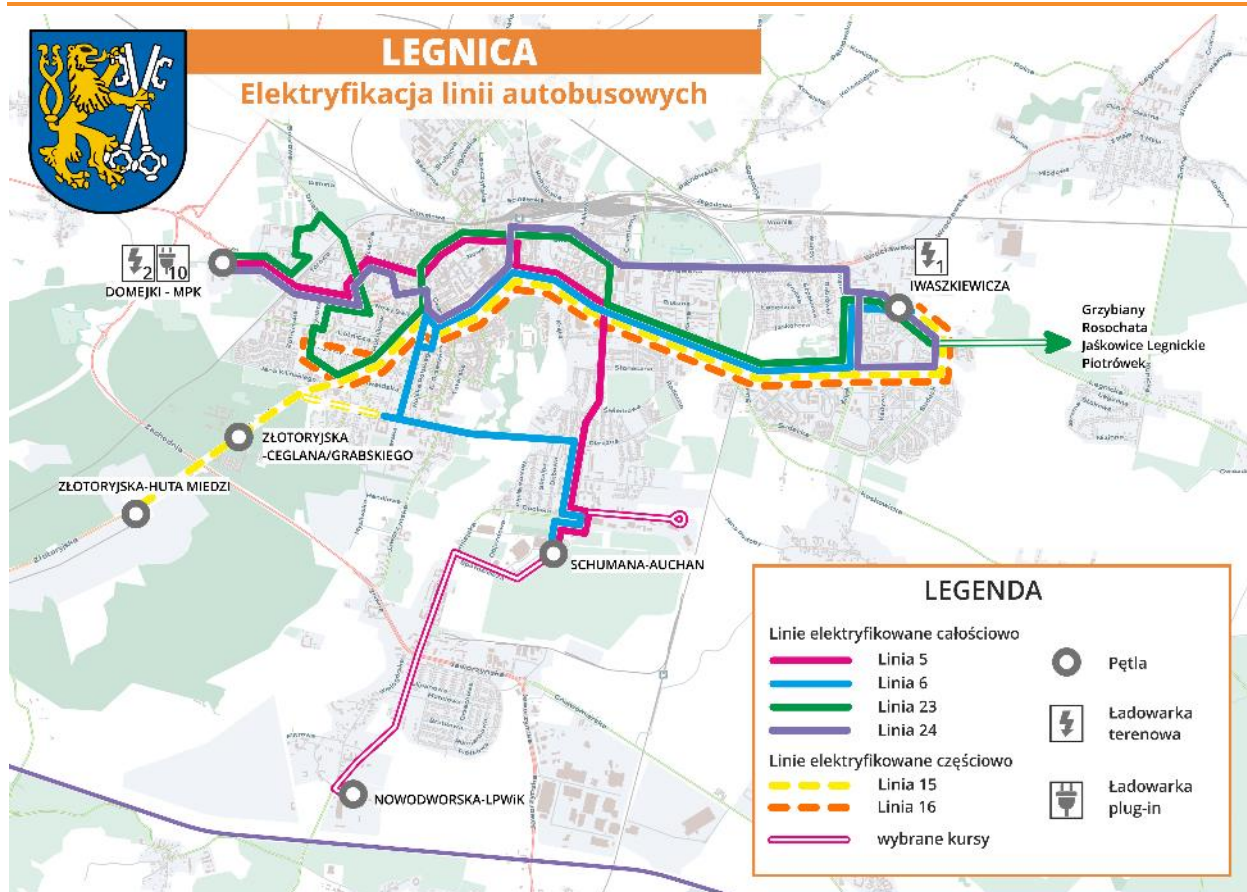


Rys. 4.4 Ładowarka pantografowa i autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w Warszawie

Źródło: Zbiory własne

niezbędne będą 3 stacje szybkiego ładowania, dedykowane dla 18 autobusów elektrycznych w ruchu. Wyznaczono również lokalizację ładowarek terenowych z funkcjonalnością szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu:

- 2 ładowarki na przystanku Domejki MPK,
- 1 na pętli przy ul. Iwaskiewiczza.



Rys. 4.5. Elektryfikacja linii autobusowych

Źródło: Opracowanie własne

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych, niwelowany przez możliwość doładowywania pojazdów dzięki przewidzianym ładowarkom pantografowym, liczba autobusów w ruchu wzrośnie. Linie 5, 6, 23, 24 obecnie obsługuje maksymalnie 16 brygad w dzień roboczy, w godzinach szczytu przewozowego. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu o

utrzymaniu obecnie stosowanych częstotliwości kursowania, liczba autobusów obsługujących wskazane linie wzrośnie łącznie o 2 sztuki, z uwagi na konieczność wydłużenia wybranych postojów wyrównawczych na doładowanie pojazdów przy użyciu ładowarki pantografowej. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie zatem o 2 sztuki – z poziomu 49 brygad do 51 brygad w dzień roboczy szkolny.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	2	6	11	13	1	33
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:	0	4	14	0	0	18
w tym na linii 5		4	2			
w tym na linii 6			3			
w tym na linii 23			3,5			
w tym na linii 24			5,5			

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	2	0	0	2
Liczba brygad w ruchu	2	10	25	13	1	51

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych pojazdów, przyrost wielkości floty operatora będzie niższy. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 65 pojazdów – o 1 więcej niż obecnie, w tym 20 autobusów o napędzie elektrycznym (31%). Przyrost liczby pojazdów w

ruchu jest znacznie niższy w porównaniu do modelu opartego o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in, wymagającego zwiększenia floty operatora o 9 pojazdów. Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych dla obecnego ilostanu operatora (20 sztuk stanowiących 30% spośród 64 użytkowanych pojazdów).

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	3	8	19	13	2	45
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	4	16	0	0	20
Stan taboru	3	12	35	13	2	65
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	67%	75%	55%	100%	-	72%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	-	100%	88%	-	-	90%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	33%	46%	0%	0%	31%

Źródło: Opracowanie własne

4.3 Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów

4.4 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 również podstacje trakcyjne oraz zaplecza techniczne (zajezdnie trolejbusowe). Przykładowo w Gdyni sieć trakcyjna jest zasilana z podstacji o mocy 1-2 MW, rozmieszczonych w odległościach 2-4 km od siebie. Najbardziej popularnymi pojazdami w polskich systemach trolejbusowych są pojazdy produkcji krajowej w wersji 12 i 18-metrowej. W celu obsługi odcinków bez sieci trakcyjnej w Gdyni i w Lublinie dokonano zakupu trolejbusów z akumulatorami

litowo-tytanowymi o mocy co najmniej 55 kWh. Akumulatory mają umożliwić przejechanie odcinków o długości 10-20 kilometrów. Wspomnianie rozwiązanie daje możliwość obsługi obszarów, na których nie ma trolejbusowej sieci trakcyjnej. Kolejną zaletą jest możliwość awaryjnej zmiany trasy, w razie wystąpienia utrudnień na trasie linii trolejbusowej (remonty ulic i infrastruktury, wypadki drogowe, wyznaczone objazdy). Eliminuje to konieczność znacznych zmian w organizacji przewozów i ponoszenia kosztów na zastępczą komunikację autobusową.

4.4.1 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 roku w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup 15 trolejbusów klasy MEGA18. Wyposażenie trolejbusów to: klimatyzacja, system monitoringu, biletomaty, bramki zliczające oraz port USB w przestrzeni pasażerskiej. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²³. W 2018 roku, także w Lublinie przeprowadzono postępowanie na zakup taboru – 10 sztuk trolejbusów klasy MAXI. Wymogi dotyczące wyposażenia pojazdów były

podobne, jak w postępowaniu przeprowadzonym w 2017 roku.

Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 70 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 2,17 mln zł brutto²⁴. W Gdyni w 2018 roku zakupiono 14 sztuk trolejbusów klasy MAXI z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 pojazdów klasy MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy trolejbus klasy MEGA18 kosztował 3,15 mln zł brutto²⁵.

²³ <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obsługi-linii-komunikacji-miejskiej-15-szt-trolejbusow-przegubowych-mega-numer-sprawy-dz-381-516/> (dostęp: 10.07.2018)

²⁴ <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obsługi-linii-komunikacji-miejskiej-10-szt-trolejbusow-maxi-numer-referencyjny-dz-381-ue-118/> (dostęp: 10.07.2018)

²⁵ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html> (dostęp: 10.07.2018)

Zakupu nowego taboru dokonano także w trzecim polskim 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 brutto²⁶.

4.4.2 Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową

W latach 2013-2015 w Lublinie wybudowano zajezdnię trolejbusową na 100 trolejbusów i 25 pojazdów zaplecza technicznego²⁷. Koszt budowy wyniósł 42 mln zł. Dokonano także rozbudowy sieci trakcyjnej dla trolejbusów. Budowa 2,5 km nowej trakcji (w jedną stronę), podstacji trolejbusowej, przyłączy zasilających na przystankach kosztowała 5,47 mln zł brutto

(1,1 mln zł brutto za 1 km)²⁸. W Tychach 1 km trakcji (w jedną stronę), budowa jednej stacji transformatorowo – prostownikowej, przebudowa sieci trakcyjnej na jednym skrzyżowaniu z połączeniem projektowanej sieci z istniejącą siecią kosztowała 8,73 mln zł brutto²⁹.

4.4.3 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Legnicy

W etapie docelowym udział pojazdów zeroemisyjnych powinien wynosić 30%. MPK Legnica eksploatuje 64 pojazdy (49 pojazdów w ruchu), co oznacza, że przedsiębiorstwo powinno posiadać 20 pojazdów zeroemisyjnych (16 w ruchu, zakładając ten sam stopień wykorzystania taboru jak obecnie). Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy założono w stosunku 1 do 1. Najbardziej optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby wymianę autobusów kursujących na liniach 15, 16, 3 i 6, ponieważ tworzą one wiązkę linii na możliwie długim wspólnym odcinku trasy, od skrzyżowania ul. Skarbka z ul. Jaworzyńską przez ul. Witelona, Wrocławską, Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego, Al. Piłsudskiego do skrzyżowania Al. Piłsudskiego z ul. Sudecką. Obecnie linie te w szczycie komunikacyjnym obsługiwane są przez łącznie 17 autobusów, w tym:

- Linia 15 i 16 – 8 autobusów MEGA15
- Linia 6 – 3 autobusy MAXI
- Linia 3 – 6 autobusów, w tym 2 MAXI i 4 autobusy MEGA15

Ze względu na brak trolejbusów MEGA15 w ofertach producentów krajowych, zakłada się wymianę autobusów MEGA15 na trolejbusy MEGA18. Trasa linii 15 w całości będzie pokryta siecią trakcyjną, natomiast linie 16, 3 i 6 częściowo, z tego względu zakłada się kursowanie trolejbusów z napędem pomocniczym na fragmentach tras bez trakcji trolejbusowej. Przebiegi tras oraz proponowany przebieg trakcji ilustruje Rys. 4.1. Linia 3 wykorzysta trakcję od ul. Jaworzyńskiej do pętli na ulicy Iwazkiewicza, linia 6 od ul. Grabskiego do pętli na ul. Iwazkiewicza. W przypadku linii 16 trakcja nie będzie obejmie ulicy Asnyka i Artyleryjskiej. Wyjazdy z zajezdni będą odbywać

²⁶ <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727> (dostęp: 10.07.2018)

²⁷ http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184 (dostęp: 10.07.2018)

²⁸ <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczone/2016/2016-12-14-robota-budowlana->

[przetarg-nieograniczony-na-budowe-trakcji-trolejbusowej-w-ul-jana-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-jana-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-jana-pawla-ii-i-ul-7](https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727) (dostęp: 10.07.2018)

²⁹ <https://bazakonkurencyjnosci.gov.pl/publication/view/1082889#infoWyk> (dostęp: 10.07.2018)

się z wykorzystaniem akumulatorów. Wprowadzanie trolejbusów wymagać będzie zmiany przydziałów pojazdów do brygad, jako że na chwilę obecną stosowane są służby łączące

różne linie, także takie, na który nie jest możliwa obsługa trakcją trolejbusową. Łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Legnicy docelowo może wynieść 16,9 km w jedną stronę.

Tab. 4.9 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1,80 mln zł	6	10,80 mln zł
MEGA18	2,05 mln zł	14	28,70 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

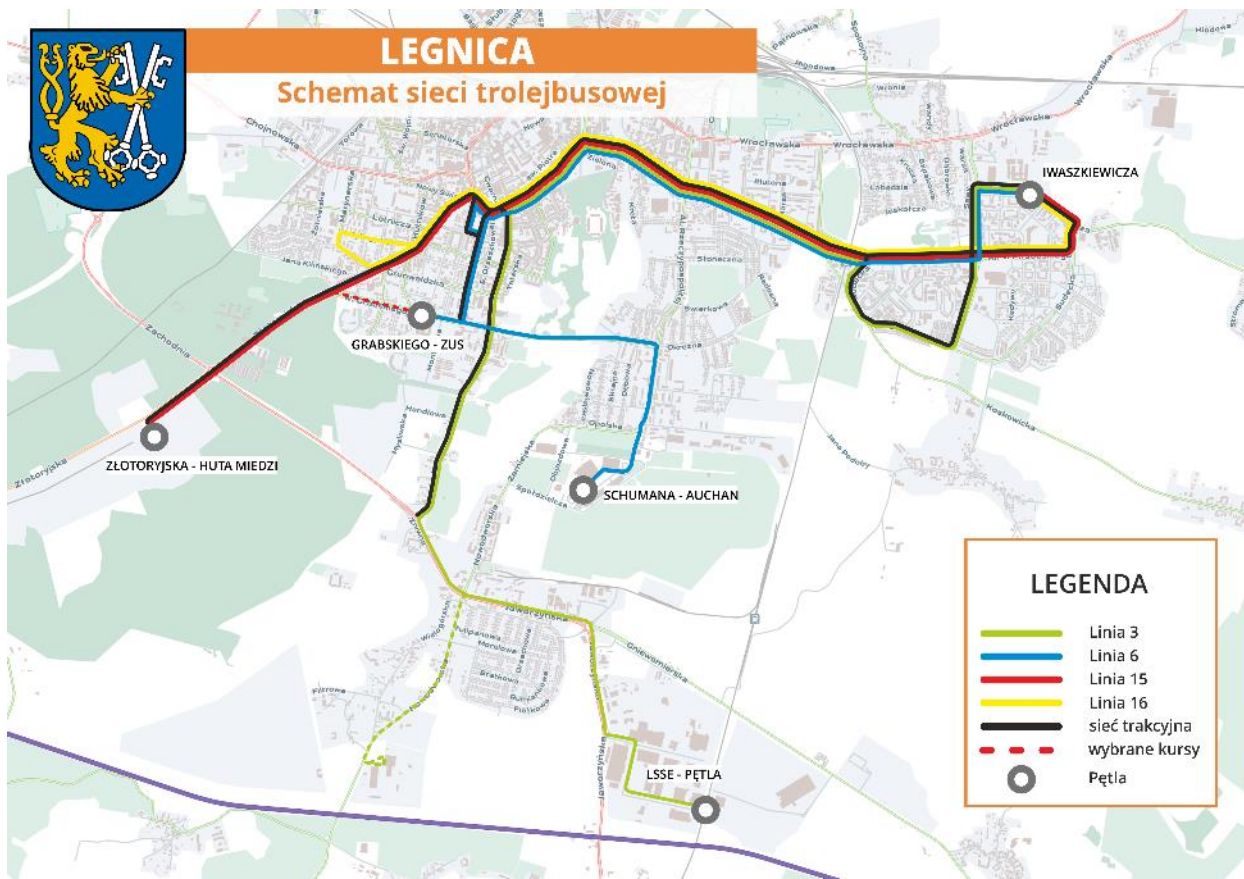
Do obsługi liniowej przewidziane jest 17 trolejbusów (5 sztuk klasy MAXI oraz 12 sztuk klasy MEGA18), zakłada się również rezerwę 3 sztuki – 1 klasy MAXI i 2 klasy MEGA18. Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto, dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów kosztuje około

12,2 mln zł netto. Istotnym elementem są podstacje trakcyjne, które powinny być rozmieszczone co około 3 km – koszt budowy 1 podstacji szacuje się na poziomie około 2,1 mln zł netto. Poniżej zestawiono łączne koszty uruchomienia traktacji trolejbusowej w komunikacji miejskiej w Legnicy

Tab. 4.10 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	39,50 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	83,15 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	12,60 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	147,45 mln zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.1. Schemat proponowanej sieci trolejbusowej

Źródło: Opracowanie własne

4.5 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 na dodatkową infrastrukturę do obsługi pojazdów zeroemisyjnych – budowę sieci trakcyjnej dla trolejbusów, stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem, czy ładowarek do autobusów elektrycznych akumulatorowych. Dodatkowym atutem jest brak konieczności dostosowania istniejącej infrastruktury (np. zajezdni) do obsługi pojazdów zeroemisyjnych. Na potrzeby analizy przyjęto, że

nowe pojazdy o napędzie spalinowym będą mieć normę spalania EURO 6. Na podstawie ostatnich przetargów można założyć koszt pojedynczego autobusu klasy MAXI na poziomie około 0,95 mln zł netto za autobus, a klasy MIDI 0,85 mln zł netto. Koszt jednostkowy pojazdu klasy MEGA18 wynosi około 1,4 mln zł netto. Ze względu na brak przetargów w ostatnim czasie na autobusy klasy MEGA 15 – na potrzeby analizy przyjęto, że pojedynczy pojazd kosztuje 1,05 mln zł netto.

Tab. 4.11 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MIDI	10	0,85 mln zł	8,50 mln zł
MAXI	8	0,95 mln zł	7,60 mln zł
MEGA15	10	1,05 mln zł	10,50 mln zł
MEGA18	1	1,40 mln zł	1,40 mln zł
Koszt całkowity inwestycji:			28,00 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

4.6 Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru

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

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

- dostępność rozwiązań technologicznego w Polsce
 - ekonomiczno-finansowy
 - koszt wprowadzenia rozwiązania.
 - środowiskowy
 - emisja spalin,
 - emisja hałasu,
- Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

Tab. 4.12 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom

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

Źródło: Opracowanie własne

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

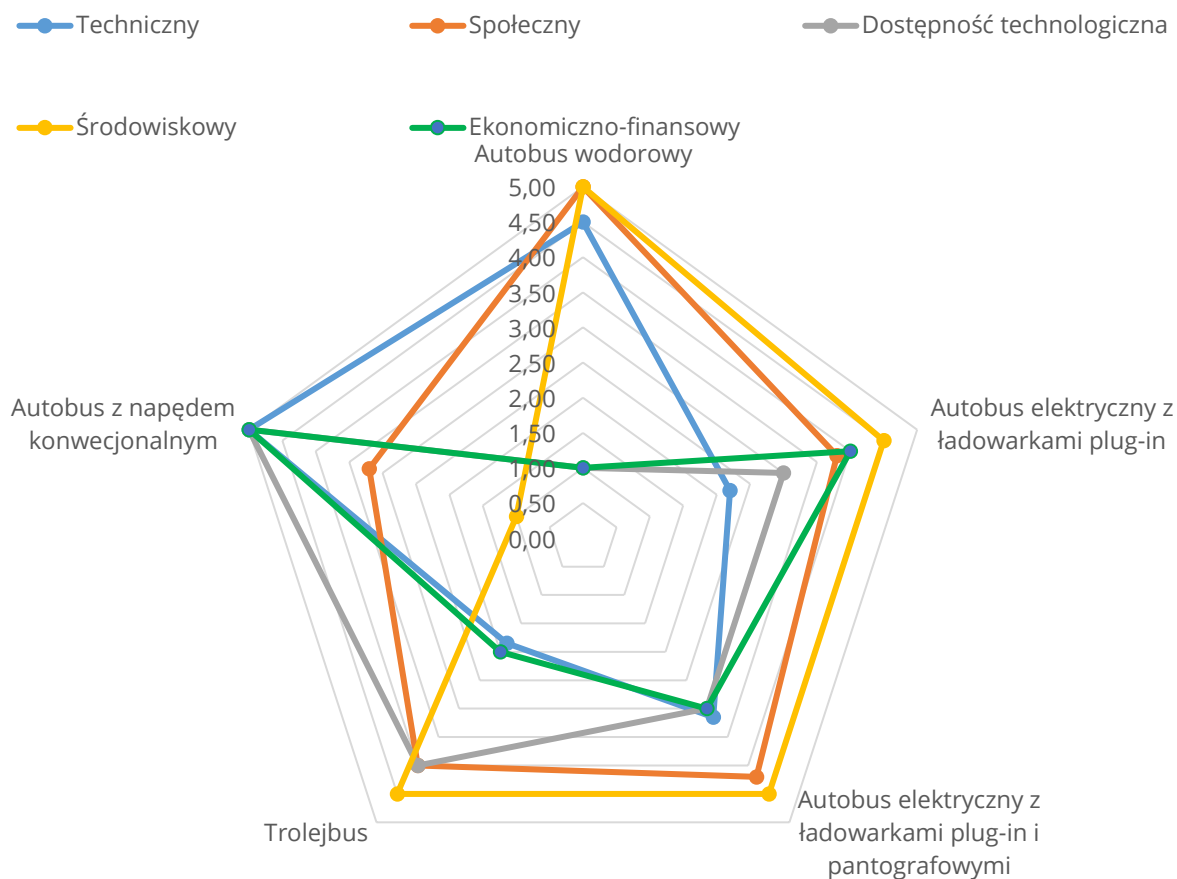
Tab. 4.13 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

Aspekt szczegółowy	Ocena				
	Autobus napędzany wodorem	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi	Trolejbus	Autobus z napędem konwencjonalnym
łatwość wprowadzenia	3,00	4,00	3,00	2,00	5,00
zasięg	5,00	1,00	2,00	3,00	5,00
elastyczność zarządzania taborem	5,00	2,00	4,00	1,00	5,00
liczbę potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taborem	5,00	2,00	3,00	4,00	5,00
potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania	5,00	5,00	5,00	4,00	2,00
dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00
emisja spalin	5,00	4,00	4,00	4,00	1,00
emisja hałasu	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00
koszt wprowadzenia	1,00	4,00	3,00	2,00	5,00

Źródło: Opracowanie własne

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

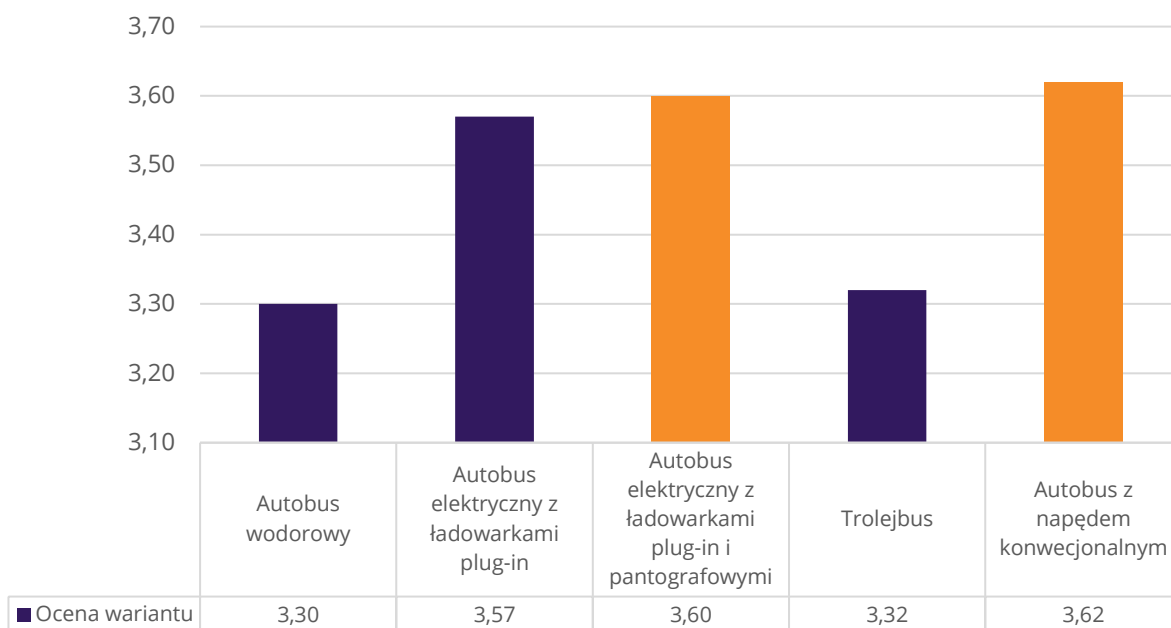
Ocena wariantów w poszczególnych aspektach



Rys. 4.6 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.7 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 3,62. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 3,6. 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. 4.14 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w legnickiej komunikacji miejskiej.

Wariant W0	Wariant W1
Odnowa floty w oparciu o autobusy spalinowe i hybrydowe	Wprowadzenie do eksploatacji 20 szt. autobusów elektrycznych Całościowo elektryfikowane linie: 5, 6, 23, 24 Częściowo elektryfikowane linie: 15, 16 Budowa 10 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 3 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania przy ul. Domejki (2 szt.) i Iwaskiewicza (1 szt.) Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe i hybrydowe

Źródło: Opracowanie własne

5 Analiza finansowa

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

5.1 Założenia i metodyka analizy finansowej

- Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji.
- Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego, danymi z dokumentacji technicznej, kosztorysów oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.
- Analiza została przeprowadzona w latach 2018-2042.
- W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 4%.
- Analiza została przeprowadzona w cenach stałych i nie uwzględnia wpływu inflacji.
- Analizę sporządzono w cenach netto (bez podatku VAT).
- Analiza została przeprowadzona w oparciu o model różnicowy.
- Prognoza finansowa została przeprowadzona w okresach rocznych.
- Pierwsze nakłady inwestycyjne w projekcie zostaną podjęte w 2020 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2021 roku.
- Wartość rezydualna inwestycji została skalkulowana jako wartość środków trwałych po odpisach amortyzacyjnych w ostatnim roku analizy.
- Wartości kosztów operacyjnych oparto o dane historyczne lub na podstawie metody eksperckiej.
- Założono, że projekt wymiany taboru nie generuje dochodów oprócz wartości rezydualnej.
- Wymiana taboru nie spowoduje wzrostu wielkości popytu, tj. liczby pasażerów oraz wozokilometrów – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej. W 2016 r. z usług legnickiej komunikacji miejskiej skorzystało łącznie 13,372 mln pasażerów³⁰.
- W wariantcie W1 autobusy elektryczne akumulatorowe będą realizować pracę eksploatacyjną wyższą o 20% w porównaniu do innych pojazdów w danej grupie wielkościowej taboru, która zostanie odpowiednio zredukowana w autobusach spalinowych spełniających normę emisji spalin EURO 6.

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

³⁰ Źródło: MPK Sp. z o.o.

elektromobilności i paliwach alternatywnych (inwestycje w roku poprzedzającym wejście kolejnego progu). Dodatkowo przyjęto założenie, że 1 ładowarka wolnego ładowania przypada na 2 autobusy (w przypadku nieparzystej liczby autobusów wartość zaokrąglono w górę).

Wariant W1 zakłada, że w pierwszej kolejności elektryfikowana będzie linia 5, na potrzeby której pierwsza ładowarka pantografowa w 2020 r. zostanie zlokalizowana przy pętli Domejki MPK. Pełna elektryfikacja linii 5 zakończy się w 2023 r., dzięki kolejnym dostawom autobusów

elektrycznych akumulatorowych. Kolejna ładowarka pantografowa została przewidziana do realizacji w 2024 r. w tej samej lokalizacji, dzięki której kolejne autobusy elektryczne będą wprowadzane na linię 23 oraz częściowo na linię 24. W 2027 r. przeprowadzona zostanie ostatnia inwestycja terenowa obejmująca budowę ładowarki pantografowej na ul. Iwaskiewicza, która zapewni możliwość pełnej elektryfikacji linii 6. Równoległe dostawy autobusów elektrycznych zagwarantują także pełną elektryfikację linii 24.

Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w W1

Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 4 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2020	8 800 000 zł
Budowa 2 ładowarek wolnego ładowania	2020	200 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej - Domejki	2020	600 000 zł
Przygotowanie infrastruktury energetycznej	2020	1 700 000 zł
Zakup 3 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MIDI o długości 10 m	2022	5 700 000,00 zł
Budowa 2 ładowarek wolnego ładowania	2022	200 000 zł
Zakup 1 autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MIDI o długości 10 m i 5 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	12 900 000,00 zł
Budowa 3 ładowarek wolnego ładowania	2024	300 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej - Domejki	2024	600 000 zł
Zakup 7 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	15 400 000 zł
Budowa 3 ładowarek wolnego ładowania	2027	300 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej - Iwaskiewicza	2027	600 000 zł
Suma:		47 300 000,00zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

LINIE	Stopień elektryfikacji linii			
	2021 r.	2023 r.	2025 r.	2028 r.
5	CZĘŚCIOWA	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
6	BRAK	BRAK	BRAK	PEŁNA
23	BRAK	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
24	BRAK	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

5.3 Wartość nakładów odtworzeniowych

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

Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.3. Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatora stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2030 r. ich wartość zmniejszy się o 25%. W Tab. 5.4 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach 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 i hybrydowe: od 10 do 15 w zależności od roku produkcji, przy czym 10 lat dla wszystkich autobusów wyprodukowanych po 2018 r. (okres zgodny z wytycznymi w Niebieskiej Księdze) Autobusy elektryczne akumulatorowe: 15 lat (połowa długości okresu między cyklem życia autobusu spalinowego na poziomie 10 lat i trolejbusu na poziomie 20 lat, wskazanych w Niebieskiej Księdze)	100%
Infrastruktura energetyczna do ładowania pojazdów	40	100%
Stacje ładowania	30	100%
Akumulatory w autobusach elektrycznych	8	100%

Źródło: Opracowanie własne

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

Rok	2018	2019	2020	2021	2022
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	5 600 000,00	1 265 000,00	3 600 000,00	4 550 000,00	2 330 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	5 600 000,00	1 265 000,00	0,00	4 550 000,00	630 000,00
Różnica w zł	0,00	0,00	- 3 600 000,00	0,00	- 1 700 000,00

Rok	2023	2024	2025	2026	2027
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	1 680 000,00	4 660 000,00	2 150 000,00	8 350 000,00	1 680 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	1 680 000,00	1 260 000,00	1 200 000,00	1 700 000,00	1 680 000,00
Różnica w zł	0,00	- 3 400 000,00	- 950 000,00	- 6 650 000,00	0,00

Rok	2028	2029	2030	2031	2032
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	18 730 000,00	9 910 000,00	3 600 000,00	4 550 000,00	2 330 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	21 770 000,00	9 910 000,00	2 280 000,00	4 550 000,00	5 190 000,00
Różnica w zł	3 040 000,00	0,00	- 1 320 000,00	0,00	2 860 000,00

Rok	2033	2034	2035	2036	2037
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	1 680 000,00	4 660 000,00	2 150 000,00	8 350 000,00	1 680 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	1 680 000,00	1 260 000,00	15 320 000,00	1 700 000,00	7 380 000,00
Różnica w zł	0,00	- 3 400 000,00	13 170 000,00	- 6 650 000,00	5 700 000,00

Rok	2038	2039	2040	2041	2042
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	18 730 000,00	9 910 000,00	3 600 000,00	4 550 000,00	0,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	18 730 000,00	22 810 000,00	0,00	4 550 000,00	0,00
Różnica w zł	0,00	12 900 000,00	- 3 600 000,00	0,00	0,00

Źródło: Opracowanie własne

5.4 Prognoza kosztów operacyjnych

Do kosztów operacyjnych zaliczono wszystkie koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów elektrycznych akumulatorowych w wariantcie 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. 5.5 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
Zużycie części zamiennych	Koszty zużycia części zamiennych przyjęto na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł na wozokilometr w oparciu o prognozowane koszty na ten cel przez operatora w 2018 roku (0,19zł/ 1 wzkm)	Koszty zużycia części zamiennych przyjęto na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł na wozokilometr w oparciu o prognozowane koszty przez przewoźnika na ten cel w 2018 roku. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% względem autobusów spalinowych (0,16 zł/ 1 wzkm)
Zużycie materiałów pędnych olejów i smarów	Koszty zużycia materiałów pędnych, olejów i smarów przyjęto na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł na wozokilometr w oparciu o prognozowane koszty na ten cel przez operatora w 2018 roku.	Koszty zużycia materiałów pędnych, olejów i smarów przyjęto na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł na wozokilometr w oparciu o prognozowane koszty na ten cel przez operatora w 2018 roku, uwzględniając obniżenie ich poziomu o 15% dla autobusów elektrycznych akumulatorowych
Średnie spalanie ON	Zostało oszacowane dla autobusów z normą EURO 6	Nie dotyczy

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
Koszt 1l ON netto	Zostało oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 18.07.2018	Zostało oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 18.07.2018
Średnie zużycie energii	Nie dotyczy	Na podstawie doświadczeń innych operatorów
Zużycie energii	Nie dotyczy	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh i według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika TAURON S.A.
Zużycie ogumienia	Zostało obliczone jako koszt w przeliczeniu w zł na wozokilometr	Zostało obliczone jako koszt w przeliczeniu w zł na wozokilometr
Koszt napraw	Przyjęto kwotę 30 000 zł na pojazd	Przyjęto kwotę 30 000 zł na pojazd, a dla autobusów elektrycznych akumulatorowych kwotę 25 200 zł (autobus elektryczny posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym, przy czym przewidziano, że autobusy elektryczne będą realizowały o 20% wzm więcej w porównaniu do pozostałych autobusów)
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%, dla infrastruktury energetycznej – 5%, dla stacji ładowania – 10%
Podatki i opłaty	Zostało obliczone jako przeciętny podatek od środków transportu na autobus z prognozowanych kosztów na ten cel przez przewoźnika w 2018 roku	Zostało obliczone jako przeciętny podatek od środków transportu na autobus z prognozowanych kosztów na ten cel przez przewoźnika w 2018 roku
Ubezpieczenia	Zostało obliczone jako przeciętny podatek od środków transportu na autobus z prognozowanych kosztów na ten cel przez przewoźnika w 2018 roku	Zostało obliczone jako przeciętny podatek od środków transportu na autobus z prognozowanych kosztów na ten cel przez przewoźnika w 2018 roku
Koszt wynagrodzeń pracowników	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 40 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 40 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

5.5 Wartość rezydualna

W ostatnim roku analizy wyznaczono wartość rezydualną inwestycji jako wartość aktywów

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

Tab. 5.6 Wartość rezydualna w W1

Wariant W1	
Wartość rezydualna w zł	5 160 000,00
Umorzenie środków trwałych w zł	68 090 000,00
Wartość netto środków trwałych w zł	73 250 000,00

Źródło: Opracowanie własne

5.6 Efektywność finansowa

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

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,

- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

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

Tab. 5.7 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego

Kategoria	Wariant W1
FNPV/C	- 24 860 928,45
FRR/C	nieobliczalne

Źródło: Opracowanie własne

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

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

Wielkość kosztów operacyjnych w wariantcie W1 będzie niższa, dzięki oszczędnościom wynikającym z niższych kosztów napraw, części zamiennych oraz przede wszystkim z tytułu niższych kosztów zużycia energii elektrycznej w porównaniu do kosztów zużycia oleju napędowego w autobusach spalinowych. Jedynym składnikiem kosztów operacyjnych, który rośnie w wariantcie W1, jest poziom wynagrodzeń, zwiększony o koszt dodatkowych wozogodzin generowanych przez dłuższe postoje wyrównawcze na krańcach, uwarunkowane czasem niezbędnym na doładowanie autobusów elektrycznych akumulatorowych. Obliczono także lukę finansową, jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik wyniósł 70%.

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

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

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

W porównaniu do autobusów konwencjonalnych, emisja w pojazdach elektrycznych jest niższa dzięki wyeliminowaniu procesu spalania paliwa (brak silnika

spalinowego). Silniki elektryczne najczęściej chłodzone są powietrzem, wyeliminowany został obieg oleju, wykorzystuje się znacznie mniejsze ilości płynów i elementów mechanicznych. Nie występują filtry paliwa, powietrza, oleju. Sprawność poprawiają systemy odzysku energii podczas hamowania (dłuższa żywotność elementów ciernych w układzie hamulcowym, mniejsze zużycie energii)

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

Emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, wywołując silne i przewlekłe choroby nawet ze skutkiem śmiertelnym. Emisja cząstek stałych prowadzi do³¹:

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

Emitowanie tlenków azotu wpływa negatywnie na zdrowie dzieci, powodując astmę, białaczkę,

ograniczony wzrost płuc. Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

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

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

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

Tab. 6.1 Zmiana emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych dla W1 w stosunku do W0 [w Mg]

Związek chemiczny	W0	W1	Różnica
	Wielkość emisji	Wielkość emisji	
SO ₂	-	27,67	27,67
NO _x	306,64	296,84	- 9,80
PM 2,5/ PM	6,11	7,16	1,05
NHMC/NMVOC	68,69	56,54	- 12,14
CO ₂	88 169,84	88 983,76	813,92

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż redukcja emisji dotknie wyłącznie metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 12,14 Mg), a także tlenki azotu NO_x (o 9,80 Mg). Widoczny jest wyraźny wzrost emisji dwutlenku siarki oraz dwutlenku węgla, gdyż pierwsza z tych substancji emitowana jest podczas produkcji energii elektrycznej. Jest to spowodowane faktem, iż polski sektor energetyki oparty jest na spalaniu węgla, co

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Związek chemiczny	W0	W1	W0	W1	Zmiana kosztów zewnętrznych w wyniku realizacji W1 [w zł]
	Łączna emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w Mg]		Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w zł]		
SO ₂	-	27,67	-	3 141 604,68	3 141 604,68
NO _x	306,64	296,84	26 784 523,86	25 051 322,70	- 1 733 201,17
PM 2,5/ PM	6,11	7,16	9 010 226,33	7 740 423,93	- 1 269 802,40
NHMC/NMVOC	68,69	56,54	786 987,51	623 879,95	- 163 107,56
CO ₂	88 169,84	88 983,76	18 452 123,74	18 634 143,46	182 019,72
SUMA	88 551,28	89 371,98	55 033 861,44	55 191 374,71s	157 513,28

Źródło: Opracowanie własne

Największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na korzyść wariantu W1 przewidującego rozpoczęcie eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, można dostrzec w kosztach emisji tlenków azotu NO_x. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x wynosić będą ok. 1,7 mln zł.

Koszty emisji cząstek stałych PM 2,5 ulegną obniżeniu o ok. 1,3 mln zł, natomiast koszty emisji niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC zostaną ograniczone o ok. 0,2 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji nieznacznie wzrosną 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 wzrost kosztów zewnętrznych emisji cechuje dwutlenek siarki SO₂, który powstaje w trakcie produkcji energii elektrycznej – w wariantcie W1 koszty jego emisji do atmosfery wyniosą ok. 3,1 mln zł.

Podsumowując, realizacja wariantu W1 spowoduje wzrost kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 0,2 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, częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak i psychiczny człowieka. Hałas powyżej 85 dB jest w stanie uszkodzić słuch trwale, natomiast niższy poziom hałasu może oddziaływać w bardzo niekorzystny sposób na psychikę, zwiększać ciśnienie krwi, być źródłem powstawania stresu.

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

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA 2014),
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w

kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,

- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych³²,
- gęstość zaludnienia obszaru przyległego na długości 250m od osi jezdni, którymi przebiegają podstawowe warianty linii objętych całkowitą elektryfikacją, tj. 3244,6 os/km²,
- średnią gęstość zaludnienia typowego obszaru miejskiego, dla którego przyjęte zostały krańcowe koszty zewnętrzne hałasu, tj. 3000 os./km², wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA, 2014).

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

Poniższa tabela przedstawia zindeksowane ceny za hałas emitowany w obu wariantach analizy w latach 2018-2042 oraz zmonetyzowane korzyści zewnętrzne w wyniku jego redukcji.

Tab. 7.2 Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu w latach 2018-2042

Zmonetyzowany hałas w zł		Zmiana kosztów emitowanego hałasu w zł
W0	W1	
39 444 280,98 zł	35 826 813,05 zł	- 3 617 467,93 zł

³² "Quieter buses socioeconomic effects", Koucky & Partners A.B, 2014.

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że są znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów elektrycznych w W1 w postaci ok. 3,6 mln zł w okresie objętym analizą.

Redukcja pozwoli wyciszyć ogólny hałas generowany w ruchu miejskim przez publiczny

7.3 Inne korzyści zewnętrzne

Eksploatacja autobusów elektrycznych akumulatorowych w polskich miastach wiąże się z powstawaniem kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych, powstających w procesie produkcji energii elektrycznej. Emisję tę można uznać za proces o rozproszonym charakterze, o znacząco mniejszym nasileniu w miejscu eksploatacji autobusów elektrycznych. Wykorzystanie autobusów elektrycznych akumulatorowych de facto nie powoduje powstawania lokalnej emisji do niższych warstw atmosfery, co stanowi istotną korzyść dla mieszkańców ośrodków miejskich, w których eksploatowane są pojazdy tego typu. Korzyść tą oszacowano na podstawie różnicy kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji przez autobusy spalinowe, liczoną między wariantem W1 (w którym część pracy eksploatacyjnej autobusów spalinowych będzie wykonywana przez zeroemisyjne autobusy elektryczne akumulatorowe) i wariantem W0.

Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych emisji lokalnej szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery w latach 2018 – 2042.

Koszty zewnętrzne lokalnej emisji [w zł]		Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji [w zł]
W0	W1	
55 033 861,44	43 294 936,01	- 11 681 921,70

Źródło: opracowanie własne

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

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 w latach 2018 – 2042.

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

Źródło: opracowanie własne

7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

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

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

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

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

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

Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

Wskaźniki zostały obliczone na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowane. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia,

ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną, ERR przyjął wartość mniejszą od stopy dyskontowej, a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 0. **Inwestycja w autobusy elektryczne akumulatorowe nie powinna zostać zrealizowana, gdyż jest nieefektywna pod względem społeczno-gospodarczym. Zmonetyzowane koszty z tytułu ich eksploatacji przewyższą poziom korzyści ekonomiczno - społecznych. Zatem osiągnięcie poziomów minimalnego udziału autobusów zeroemisyjnych zgodnie z zapisami uepa we flocie operatora legnickiej komunikacji miejskiej nie jest wymagane.**

Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z

zakładanego w analizie poziomem 2 200 000
PLN netto do ok. 1 675 000 PLN netto.

Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	Wartość
ENPV	- 6 877 672,11 zł
ERR (%)	-1%
B/C	0,67

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7.1 Dynamiczna informacja pasażerska z wyszczególnieniem pojazdów elektrycznych

Źródło: Zbiory własne

8 Analiza ryzyka

Analiza ryzyka ma na celu rozpoznanie ryzyka występującego podczas wdrażania i czasu trwania projektu. W opracowaniu została wykonana jakościowa metoda analizy obejmująca: możliwe przyczyny i skutki, zmienne kluczowe, które mogą się zmienić, określenie poziomu ryzyka, możliwości zarządzania czynnikiem ryzyka oraz określenie sposobów, jakimi beneficjent może zapobiegać danemu ryzyku.

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny oraz skutki

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
Ryzyko techniczne			
R1	Zbyt duży popyt na autobusy elektryczne	Zbyt duża liczba zamówień na autobusy elektryczne wynikająca z obowiązku spełnienia minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych wskazanych w uepa.	Ryzyko może wpłynąć na opóźnienie we wdrażaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu w terminach wynikających z uepa.
R2	Opóźnienia w budowie ładowarek terenowych	Opóźnienie w budowie ładowarek na pętlach może wynikać z dużej liczby zamówień na ładowarki. Mogą również wystąpić opóźnienia ze względu na sezonowość robót budowlanych (brak możliwości prowadzenia robót w miesiącach zimowych przy bardzo niskich temperaturach).	Opóźnienie we wprowadzaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe (brak możliwości doładowywania pojazdów).
Ryzyko eksploatacyjne			
R3	Awarie stacji wolnego ładowania (ładowarek zajezdniowych)	Awaryjność urządzeń.	W zależności od skali awarii – zastąpienie autobusów elektrycznych, autobusami spalinowymi lub brak realizacji części kursów (brak możliwości ładowania pojazdów). Dodatkowe koszty poniesione na naprawę niesprawnych stacji wolnego ładowania.
R4	Przerwa w dostawie prądu	Zbyt duże obciążenie sieci energetycznej spowodowane między innymi ładowaniem pojazdów o napędzie elektrycznym akumulatorowym lub okresowymi, skokowymi wzrostami poboru energii	W zależności od długości przerwy w dostawie – zaburzenie harmonogramu ładowania autobusów elektrycznych akumulatorowych lub częściowe zaburzenie funkcjonowania systemu komunikacji zbiorowej.
Ryzyko administracyjne			
R5	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Problemy w negocjacjach z dostawcą energii elektrycznej oraz brak odpowiednich mocy przyłączeniowych w pobliżu planowanej infrastruktury ładowania.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe (brak możliwości ładowania pojazdów). Czasowy brak wykorzystania wybudowanej infrastruktury.
R6	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	Zmiana priorytetów we wspieranej technologii – z autobusów elektrycznych akumulatorowych na autobusy	Zaprzestanie prowadzenia projektu i zwiększona niepewność podmiotów

		elektryczne na wodorowe ogniwa paliwowe lub zmiana ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych.	dokonyjących inwestycji w tabor elektryczny.
Ryzyko finansowe			
R7	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Zaprzestanie prowadzenia programów wspierających rozwój elektromobilności.	Opóźnienie w realizacji projektu lub zaprzestanie wdrażania ze względu na poszukiwanie innych źródeł finansowania lub ich brak.
R8	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Wzrost popytu na autobusy elektryczne akumulatorowe i infrastrukturę do ładowania pojazdów oraz rosnący koszt usług budowlanych.	Opóźnienie w realizacji oraz zwiększenie kosztów projektu
R9	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach oraz cykle koniunkturalne	Opóźnienie w realizacji projektu oraz zwiększenie kosztów projektu
Ryzyko klimatyczne			
R10	Zmiana zasięgu autobusy 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 obniżony przez dodatkowe zużycie energii na ogrzewanie, natomiast w sezonie letnim w związku z uruchamianą klimatyzacją.	Koszty sprowadzenia autobusu do bazy lub punktu ładowania, gdy zostanie przeszacowany zasięg autobusu.

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa

Prawdopodobieństwo		
Skala	Zakres wartości prawdopodobieństwa	Wartość punktowa
Bardzo niskie	0%, 10%	1
Niskie	<10% - 33%	2
Średnie	<33% - 66%	3
Wysokie	<66% - 90%	4
Bardzo wysokie	<90% - 100%	5

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka

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

Legenda:

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
Ryzyko techniczne			
R1	Zbyt duży popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Założenie dłuższego czasu produkcji pojazdu lub wcześniejsze rozpisanie przetargu, wprowadzenie kar umownych dla producenta	średni
R2	Opóźnienia w budowie ładowarek terenowych	Założenie dłuższego czasu produkcji ładowarek oraz budowy w okresie letnim, wprowadzenie kar umownych dla wykonawcy, odpowiednie zaplanowanie inwestycji	średni
Ryzyko eksploatacyjne			
R3	Awaryje stacji wolnego ładowania	Przeszkolenie pracowników, wpisanie wymogu minimalnego wskaźnika niezawodności urządzenia	średni

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

Źródło: Opracowanie własne

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

Każdy pojazd wprowadzany do eksploatacji w legnickiej komunikacji miejskiej powinien spełniać minimalne wymagania określone w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Legnica oraz Gmin, z którymi Gmina Legnica posiada zawarte porozumienie międzygminne w zakresie organizacji publicznego transportu zbiorowego. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, nowe pojazdy powinny:

- spełniać wymagania środowiskowe, być nowoczesne w zakresie rozwiązań w układach napędowych i hamulcowych,
- mieć estetyczny wygląd i być wykonane z trudnych do zniszczenia materiałów (dotyczy to szczególnie wnętrza pojazdów),
- mieć obniżoną podłogę, szczególnie przy drzwiach wejściowych i w przestrzeni przeznaczonej dla wózków inwalidzkich i dziecięcych,
- posiadać system lokalizacji GPS oraz monitoring przestrzeni pasażerskiej,
- posiadać system elektronicznej i fonicznej informacji pasażerskiej.

Wszystkie nabywane pojazdy powinny być niskowejściowe lub niskopodłogowe oraz posiadać odpowiednie wyposażenie, zapewniające wysoki komfort podróży oraz usprawniające przejazdy dla osób o ograniczonej sprawności ruchowej.

W planie transportowym przewidziano, że pojazdy wprowadzane do eksploatacji jako autobusy używane, powinny spełniać co najmniej normę emisji spalin Euro 3. Przy założeniu o wdrażaniu autobusów używanych w wieku do 10 lat, założenie to zostanie spełnione – począwszy od 2019 r. autobusy 10-letnie będą

spełniały normę Euro 5. Autobusy używane będą nabywane wyłącznie do obsługi zadań obecnie obsługiwanych przez pojazdy typu MEGA15, których stopień wykorzystania kształtuje się na niskim poziomie, znacząco poniżej średniej dla wszystkich eksploatowanych typów autobusów.

Począwszy od 2019 r., zgodnie z założeniami w wariantach W0 i W1, każdy wprowadzanych do eksploatacji pojazd powinien być wykorzystywany maksymalnie do 10 roku licząc od daty produkcji.

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

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

Wynik niniejszej analizy, niewykazujący przewagi korzyści nad kosztami z wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych, zwalnia z obowiązku osiągnięcia wymaganego udziału autobusów zeroemisyjnych tylko w okresie do trzech lat od daty jej sporządzenia. Gmina Legnica, jak każda jednostka samorządu terytorialnego określona w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych, ma obowiązek sporządzania analizy, cyklicznie co 36 miesięcy.

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.

Niezależnie od wyników niniejszej analizy, Gmina Legnica 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. linii zdefiniowanej do elektryfikacji, w przeciwieństwie do niniejszego dokumentu, w którym analizowany jest kompleksowo cały system komunikacji miejskiej w Legnicy.

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 z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym gminy, którym powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia między gminami, 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.

Wyniki niniejszej analizy kosztów i korzyści wskazują, że wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w legnickiej komunikacji miejskiej nie jest zasadne, w związku z czym nie przewiduje się konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego.

Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego

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

Zakres	Konieczność aktualizacji
obowiązujących uprawnień do ulgowych przejazdów środkami publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
węzłów przesiadkowych	Nie wymaga aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	<p>Dotyczy rozdziału 12.3.:</p> <p><i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Legnicy, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ całościowo elektryfikowane linie: 5, 6, 23, 24. ■ częściowo elektryfikowane linie: 15, 16. <p><i>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i></p>
geograficzne położenie stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zwanej dalej „infrastrukturą ładowania”	<p><i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ na terenie zajezdni MPK, ■ przy pętli autobusowej Domejki MPK, ■ na pętli autobusowej Iwaszkiewicza.
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	<i>Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalone z dostawcą energii.</i>
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

11 Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

W celu zapewnienia finansowania inwestycji możliwe jest pozyskanie środków ze źródeł zewnętrznych, takich jak programy krajowe czy unijne.

Jednym z najważniejszych programów, umożliwiających uzyskanie dofinansowanie z środków unijnych jest Regionalny Program Operacyjny Województwa Dolnośląskiego. W roku 2018 nie są prowadzone nabory wniosków o dofinansowanie w trybie konkursowym dla działań związanych z rozwojem transportu drogowego, co jednocześnie nie wyklucza pojawienia się takich możliwości w przyszłości.

Kolejnym źródłem finansowania może być Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ), wdrażany przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych. W ramach POIiŚ możliwe jest dofinansowanie projektów związanych z rozwojem transportu publicznego, w tym transportu miejskiego zeroemisyjnego. Na przełomie 2018/2019 prowadzony będzie nabór w trybie konkursowym wniosków o dofinansowanie w ramach *Osi Priorytetowej VI – Rozwój niskoemisyjnego transportu zbiorowego w miastach* oraz *Działania 6.1 – Rozwój publicznego transportu zbiorowego w miastach*, dotyczących wdrażania napędu elektrycznego na liniach komunikacji miejskiej. Projekt ten dostępny jest dla miast wojewódzkich i ich obszarów

funkcjonalnych, miast średnich tracących funkcje społeczno-gospodarcze. Legnica nie została ujęta w wykazie miast stanowiących potencjalnych beneficjentów konkursu.



Rys. 11.1 Zeroemisyjny autobus Solaris Urbino electric

Źródło: Zbiory własne

Nową możliwością pozyskania wsparcia jest Fundusz Niskoemisyjnego Transportu (zarządzanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej), którego zadaniem będzie finansowanie projektów związanych z rozwojem elektromobilności oraz transportem opartym na paliwach alternatywnych. Szacowane jest, że w ciągu najbliższych 10 lat na ten cel przeznaczone zostaną środki w wysokości około 1 mld zł.

Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017.....	13
Tab. 3.2 Linie obsługiwane przez MPK sp. z o.o. w Legnicy.....	13
Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach.....	17
Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów w lipcu 2018 roku.....	18
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w lipcu 2018 roku.....	19
Tab. 3.6 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2021 r. .	20
Tab. 3.7 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2023 r. .	20
Tab. 3.8 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2025 r. .	20
Tab. 3.9 Planowana struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów na dzień 1 stycznia 2028 r. .	21
Tab. 3.10 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych.....	21
Tab. 3.11 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu	26
Tab. 3.12 Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych	27
Tab. 3.13 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny.....	30
Tab. 3.14 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów	31
Tab. 3.15 Długość przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny	31
Tab. 3.16 Długość przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w soboty i niedziele	33
Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie	35
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	36
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	37
Tab. 4.4 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	40
Tab. 4.5 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	41
Tab. 4.6 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	42
Tab. 4.7 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową	45
Tab. 4.8 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	46
Tab. 4.9 Koszty netto zakupu trolejbusów.....	49
Tab. 4.10 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów.....	49
Tab. 4.11 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym	51
Tab. 4.12 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom	52
Tab. 4.13 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych	53
Tab. 4.14 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w legnickiej komunikacji miejskiej.....	55
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w W1.....	57
Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych.....	57

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych.....	59
Tab. 5.4 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariancie W0 i W1	59
Tab. 5.5 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	60
Tab. 5.6 Wartość rezydualna w W1	62
Tab. 5.7 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego.....	62
Tab. 6.1 Zmiana emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych dla W1 w stosunku do W0 [w Mg]	64
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2018-2042	66
Tab. 7.2 Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu w latach 2018-2042.....	67
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych emisji lokalnej szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery w latach 2018 – 2042.	68
Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń w latach 2018 – 2042.	68
Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej.....	69
Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	70
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny oraz skutki	71
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa	72
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt.....	72
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka	73
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	73
Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego.....	77

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	5
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego	7
Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie	9
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	9
Rys. 2.4 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Krakowie.....	10
Rys. 2.5 Autobus na ogniwa wodorowe polskiej konstrukcji	10
Rys. 3.1 Autobus spełniający normę emisji spalin EURO 6 w Legnicy.....	11
Rys. 3.2 Liczba pasażerów korzystających z legnickiej komunikacji miejskiej w latach 2015-2017	13
Rys. 3.3 Obecne i planowane przychody operacyjne, koszty usług publicznych oraz rozsądny zysk dla operatora w najbliższych latach.....	16
Rys. 3.4 Struktura właścicielska pojazdów wykorzystywanych przez MPK Legnica	18
Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne	23
Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne	23
Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty	24
Rys. 3.8 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele.....	24
Rys. 3.9 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w święta	25
Rys. 3.10 Nowoczesny autobus marki Solaris	26
Rys. 3.11 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne	27
Rys. 3.12 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne.....	28
Rys. 3.13 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w soboty	28
Rys. 3.14 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedziele.....	29
Rys. 3.15 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta	29
Rys. 4.1 Koszt budowy podzespołów elektrycznych ogniw paliwowych.....	37
Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 18 electric.....	40
Rys. 4.3 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w barwach PKM Jaworzno ..	42
Rys. 4.4 Ładowarka pantografowa i autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w Warszawie	44
Rys. 4.5. Elektryfikacja linii autobusowych.....	45
Rys. 4.6 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych	54
Rys. 4.7 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK	55
Rys. 7.1 Dynamiczna informacja pasażerska z wyszczególnieniem pojazdów elektrycznych	70
Rys. 11.1 Zeroemisyjny autobus Solaris Urbino electric.....	79

12 Spis załączników

Załącznik 1 Liczba wozokilometrów liniowych i technicznych według typu dnia

Załącznik 2 Schemat sieci

13 Załączniki

Załącznik 1 Liczba wozokilometrów liniowych i technicznych według typu dnia

Linia	C			N1			N2			1			2			3			4		
	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma
RSZ	-	-	-	0,2	101,1	101,3	0,4	99,2	99,6	54,4	615,05	669,45	13,75	606,8	620,55	57,22	1 325,50	1 382,72	6,2	313,2	319,4
RFW	-	-	-	0,2	101,1	101,3	0,4	99,2	99,6	54,4	615,05	669,45	13,15	606,8	619,95	65,23	1 071,30	1 136,53	5,8	295,3	301,1
SOB	0,4	28	28,4	0,4	101,1	101,5	0,4	99,2	99,6	28,4	383,2	411,6	5,85	507,75	513,6	36,2	972,05	1 008,25	5	89,77	94,77
NDZ	0,4	28	28,4	0,2	101,1	101,3	0,6	99,2	99,8	29,4	335,3	364,7	25,75	333,8	359,55	28,9	953,15	982,05	5	89,77	94,77
ŚWI	0,4	28	28,4	0,2	101,1	101,3	0,6	99,2	99,8	29,4	335,3	364,7	24,85	333,8	358,65	36,35	953,15	989,5	5	89,77	94,77

Linia	5			6			8			10			15			16			18		
	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma
RSZ	12,4	1 322,49	1 334,89	26,7	529,5	556,2	7,1	850,75	857,85	44,05	262,5	306,55	86,3	1 213,35	1 299,65	14,5	118,9	133,4	23,1	657,5	680,6
RFW	12,2	1 070,69	1 082,89	20,7	524,4	545,1	4,7	656,55	661,25	44,2	262,5	306,7	40,9	1 031,50	1 072,40	8,7	126,15	134,85	32,45	657,5	689,95
SOB	2,4	763,85	766,25	10,9	376,65	387,55	4,9	665,65	670,55	22,45	210,6	233,05	41,5	784,6	826,1	7,4	210,45	217,85	10,05	305,3	315,35
NDZ	1,2	684,6	685,8	4,6	364,65	369,25	4,7	634,55	639,25	31,95	140,4	172,35	39,3	640,4	679,7	-	-	-	17,25	305,3	322,55
ŚWI	1,4	684,6	686	-	-	-	4,5	634,55	639,05	31,1	140,4	171,5	32,1	640,4	672,5	-	-	-	-	-	-

Linia	23			24			26			27			28			29					
	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma	technicz.	liniowe	suma			
RSZ	9,5	885,95	895,45	3,2	1 101,60	1 104,80	9,5	885,95	895,45	3,2	1 101,60	1 104,80	9,5	885,95	895,45	3,2	1 101,60	1 104,80			
RFW	11,7	864,45	876,15	3	844,56	847,56	11,7	864,45	876,15	3	844,56	847,56	11,7	864,45	876,15	3	844,56	847,56			
SOB	10,3	767,8	778,1	2,2	660,96	663,16	10,3	767,8	778,1	2,2	660,96	663,16	10,3	767,8	778,1	2,2	660,96	663,16			
NDZ	25,4	652,55	677,95	1	587,52	588,52	25,4	652,55	677,95	1	587,52	588,52	25,4	652,55	677,95	1	587,52	588,52			
ŚWI	17,95	652,55	670,5	1	587,52	588,52	17,95	652,55	670,5	1	587,52	588,52	17,95	652,55	670,5	1	587,52	588,52			

Załącznik 2 Schemat sieci



LEGNICA
2 milia autobusów po 10 minut



LEGENDA

- 1 Numer linii
- 1 Przystanek dwukierunkowy
- 1 Przystanek jednokierunkowy
- LIPCE Nazwa przystanku
- ▶▶▶ Odcinek jednokierunkowy
- Trasa przebiegu linii
- Wybrane kursy
- Linia kolejowa
- PATŃOWSKA - PETLA Przystanek końcowy
- 1