

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w mieście Opolu

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	6
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	7
2	Uwarunkowania techniczne i prawne	8
2.1	Uwarunkowania prawne	8
2.2	Uwarunkowania techniczne	9
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej	12
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	12
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych	12
3.1.2	Obecny układ sieci	12
3.1.3	Koszty eksploatacyjne	19
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy	19
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	20
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane	20
3.2.2	Normy emisji spalin	21
3.2.3	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru	22
3.2.4	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym	24
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	26
3.3.1	Wskaźnik wykorzystania taboru	29
3.3.2	Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych	29
3.3.3	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady	32
3.3.4	Analiza rozkładów jazdy	33
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych	35
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	35
4.1.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	36
4.1.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	37
4.1.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów	38
4.1.4	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Opolu	39
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 wyłącznie metodą plug-in	41
4.2.3	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in.....	42
4.2.4	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i za pomocą pantografu.....	43
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
4.3.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów	47
4.3.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	48
4.3.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	48
4.3.4	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Opolu	49
4.4	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów zasilanych gazem CNG lub LNG	51
4.4.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów zasilanych gazem CNG ...	51
4.4.2	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych i koszty inwestycyjne autobusów zasilanych gazem LNG.....	51
4.4.3	Koszty inwestycyjne zakupu taboru zasilanego CNG	52
4.4.4	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów napędzanych CNG.....	53
4.4.5	Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem CNG w Opolu	53
4.4.6	Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem LNG w Opolu	53
4.5	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	54
4.6	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	55
5	Analiza finansowa	59
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej.....	59
5.2	Nakłady inwestycyjne	59
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych.....	61
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych wariantów	62
5.5	Wartość rezydualna	64
5.6	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru.....	64
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi	66
7	Analiza społeczno–ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji	68

7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym	68
7.2	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym	69
7.3	Inne korzyści zewnętrzne.....	70
7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej	71
8	Analiza ryzyka.....	73
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru z uwzględnieniem różnych napędów autobusów w perspektywie do 2028 roku.....	77
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania.....	79
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych	81
	Spis tabel	82
	Spis ilustracji.....	84
	Załączniki	85

1 Cel analizy

Celem niniejszego dokumentu jest przeprowadzenie pogłębionej analizy kosztów i korzyści wprowadzenia do eksploatacji w opolskiej 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. 2018 r. poz. 2016),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2018 poz. 1271).

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 Opolu, kluczową dla precyzyjnej analizy wariantowej prowadzącej do wyboru typu autobusów zeroemisyjnych.



Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworźnie

Źródło: Zbiory własne

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

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

1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- AKK – analiza kosztów i korzyści
- BCR, B/C – (benefit cost ratio) wskaźnik korzyści do kosztów
- Brygada – zadanie w rozkładzie jazdy zaplanowane do realizacji przez 1 autobus w ciągu dnia (zamiennie stosowanym określeniem jest kursówka)
- CF – (conversion factor) wskaźnik konwersji
- ENPV – (economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto
- ERR – (economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu
- FNPV – (financial net present value) finansowa wartość bieżąca netto
- FNPV/c – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji
- FRR/c – finansowa stopa zwrotu z inwestycji
- MCA (ang. Multivariate Comparative Analysis) – wielokryterialna analiza porównawcza
- MINI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 6 – 8 metrów
- MIDI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 – 10 metrów
- MAXI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 12 metrów
- MEGA15 – autobus jednoczłonowy o długości ok. 15 metrów
- MEGA18 – autobus przegubowy o długości ok. 18 metrów
- Postój wyrównawczy – przerwa międzykursowa zaplanowana w rozkładzie jazdy na przystanku krańcowym
- Praca eksploatacyjna – liczba wykonywanych wozokilometrów przez środki transportu
- Prędkość eksploatacyjna – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich i długości przerw międzykursowych
- Prędkość komunikacyjna – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich
- uepa – Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018, 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. 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 osiągane etapowo³:

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

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

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

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

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

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

Miasto Opole z liczbą mieszkańców 128 140⁵, pełniące funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest ustawowo jednostką samorządu terytorialnego zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

2.2 Uwarunkowania techniczne

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

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

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

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

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

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

Trolejbusy stanowią jeden z najdłużej eksploatowanych środków transportu

⁴ Ibidem, art. 72.

⁵ Dane według stanu na dzień 31.12.2017 r., źródło: <http://bdl.stat.gov.pl/>, dostęp 25.09.2018 r.

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

Eksplatacja 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, MEGA18, MEGA25.



Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie

Źródło: Zbiory własne

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

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

3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

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

Umowa pomiędzy organizatorem a operatorem (Miejski Zakład Komunikacyjny sp. z o.o. z siedzibą w Opolu zwany dalej MZK Opole) została zawarta w dniu 12.05.2014 r. jako umowa wykonawcza o powierzeniu podmiotowi wewnętrznemu gminy Opole wykonywania zadań własnych gminy w zakresie publicznego transportu zbiorowego na terenie Miasta Opola i gmin sąsiednich w procesie bezpośredniego powierzenia usług. Kontrakt obowiązuje do 31.12.2023 r. W umowie mają zastosowanie przepisy rozporządzenia 1370/2007 oraz ustawy o publicznym transporcie zbiorowym. Umowa określa funkcje organizatora jako podmiotu: zarządzającego systemem lokalnej komunikacji zbiorowej, ustalającego ceny przy wykonywaniu usług przewozowych, któremu przysługują należności za przewóz i opłaty dodatkowe.

Wymiar realizowanej pracy eksploatacyjnej przez operatora jest określony w planie operacyjnym w ujęciu rocznym w wozokilometrach i stanowi górny limit do rozliczeń pomiędzy stronami. Pomimo tego, organizator posiada prawo do zmiany zakresu

wykonywanych przewozów. Zmiana planu może nastąpić za porozumieniem stron, o ile nowa liczba wozokilometrów będzie się mieściła w przedziale od -10% do 20% w stosunku do poprzedniej wartości (w szczególnych przypadkach niemieszczącą się w tym zakresie). Plan operacyjny określa również przyporządkowanie taboru do linii komunikacyjnych, a także wskazuje na obowiązki dostosowania autobusów niskopodłogowych i niskowejściowych do kursów w aktualnym rozkładzie jazdy.

Załącznik do umowy określa warunki techniczne pojazdów oraz ich niezbędnego wyposażenia w każdej klasie autobusów w zakresie: długości, liczby drzwi, wysokości podłogi, liczby miejsc siedzących i łącznej, miejsc dla wózków dziecięcych i inwalidzkich, klimatyzacji i wywietrzników dachowych, tablic kierunkowych, lokalizacji numerów taborowych oraz dodatkowego wyposażenia (kasowników, uchwytów, foteli itp.).

3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Opolu składa się z 23 linii komunikacyjnych, spośród których wyróżnić można:

- według kryterium przestrzennego:

- 20 linii miejskich: 3, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 25, 28, N1, N2, N5, N13, N15,
- 3 linie podmiejskie: 8, 16, 80,

- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - wszystkie linie są całoroczne: 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 25, 28, 80, N1, N2, N5, N13, N15,
 - według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
 - 19 linii kursujących codziennie: 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 25, 28, N1, N2, N15,
 - 1 linia kursująca od poniedziałku do piątku: 80,
 - 2 linie kursujące w noc z piątku na sobotę i z soboty na niedzielę: N5, N13,
 - według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:
 - 17 linii kursujących przez cały dzień lub większą część dnia: 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 25, 28,
 - 1 linia okresowa: 80,
 - 5 linii nocnych: N1, N2, N5, N13, N15,
 - według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - 1 wiązka o charakterze priorytetowym na wspólnym odcinku trasy linii 15 i 25,
 - 4 linie podstawowe: 3, 10, 15, 17 oraz 3 wiązki na wspólnym odcinku tras linii 5+9+13, 7+18+28 i 8+12,
 - 8 linii uzupełniających: 7, 8, 11, 12, 13, 14, 21, 25,
 - 11 linii dodatkowych: 5, 9, 16, 18, 28, 80, N1, N2, N5, N13, N15.
- Ponadto w okresie Wszystkich Świętych uruchamiane są linie okazjonalne, do których zaliczyć można linie 0, 8bis i 9bis.
- Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Miasta Opola, pełniąc jej organizatora oraz 2 gmin, które powierzyły Miastu Opole organizację komunikacji miejskiej na mocy stosownych porozumień międzygminnych, tj. Dąbrowa i Komprachcice. W Tab. 3.1 zaprezentowano wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017. Polityka transportowa miasta prowadzącą do poprawy atrakcyjności systemu komunikacji publicznej oraz objęcie siecią komunikacji miejskiej wszystkich sołectw włączonych w 2017 r. do granic Opola przejawia się systematycznym wzrostem wielkości podaży usług świadczonych przez MZK Sp. z o.o.

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

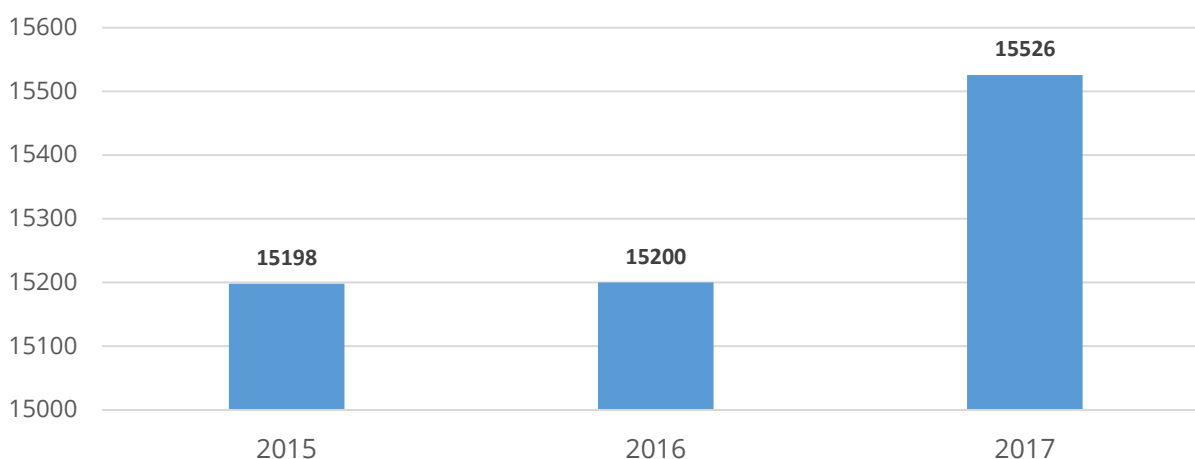
Rok	Miasto Opole i okoliczne gminy – rocznie	Dynamika r/r
2015	4 929,0	
2016	5 106,0	+3,6%
2017	5 773,0	+13,1%

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

Na Rys. 3.1 przedstawiono liczbę przewiezionych pasażerów, który wskazuje na 2,2% wzrost wielkości popytu na usługi opolskiej komunikacji miejskiej w latach 2015 – 2017. W Tab. 3.2 przedstawiono trasy oraz długość na liniach

obsługiwanych przez MZK Opole. Najkrótsza linia – nocna N13, ma długość 9,63 km i kursuje pomiędzy przystankami: Dworzec Główny a Sławice-Pętla. Najdłuższą linią jest linia 21 o długości 26,6 km.

Przewiezieni pasażerowie [tys. pasażerów]



Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2017

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

Tab. 3.2 Przebieg tras linii komunikacji miejskiej w Opolu- stan na dzień 12.09.2018 r.

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
3	Pużaka Pętla – Pużaka – Sosnkowskiego – Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – Sienkiewicza – Plac Kopernika – Żeromskiego – Ozimska – Kołłątaja (powrót Reymonta) – 1 Maja – Rejtana – Mieszka I – Jagiellonów – Ostroroga – Kazimierza Wielkiego – Jagiellonów – Al. Przyjaźni (wybrane kursy skrócone do przystanku 1 Maja – Szkoła)	11,10	miejska	podstawowa
5	Żytnia – Oleska – Wiejska – Pużaka – Pużaka Pętla – Wiejska – Sosnkowskiego – Horoszkiewicz – Ozimska – Rejtana – 1 Maja – Korfantego – Piastowska – Spychalskiego – Niemodlińska – Domańskiego – Cmentarna – (wybrane kursy przez Zbożową, Wspólną) Wrocławska-Centrum Handlowe – Wrocławska – Wrzoski (wybrane kursy na skróconej trasie Pużaka – Wrocławska-Centrum Handlowe)	20,03	miejska	uzupełniająca
7	Grotowice-Żelazna – Oświęcimska – (wariantowo Oświęcimska Metalchem) – Popiełuszki – Al. Przyjaźni – Jagiellonów – Kazimierza Wielkiego – Ostroroga – Jagiellonów – Mieszka I – (wariantowo Rejtana – 1 Maja szkoła) – Wschodnia – Głogowska – Głogowska Pętla – Głogowska – Wiejska – Pużaka – Sosnkowskiego – Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Wojska Polskiego – Wróblewskiego – Prószkowska Politechnika (wybrane kursy z Pużaka Pętla)	19,65	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
8	Opole: Grotowice - Oświęcimska - Grotowice-Żelazna - Oświęcimska - (wariantowo Oświęcimska Metalchem) - Gorzołki - Popiełuszki - (powrót z pominięciem Gorzołki) - al. Przyjaźni - Marka z Jemielnicy - Walecki - Struga - Reymonta - (powrót Ozimska - Kołłątaja - 1 Maja) - Plac Kopernika - Żeromskiego - Oleska - Sienkiewicza - Sądowa - Książąt Opolskich - Nysy Łużyckiej - Niemodlińska - Centralna - Nyska - OSINY: Opolska - KOMPRACHCICE: Opolska - Niemodlińska - (wybrane kursy do POLSKA NOWA WIEŚ) - Kolejowa - Ochodzka - OCHODZE: Opolska - Myśliwska (wariantowo OCHODZE: Myśliwska - Opolska - KOMPRACHCICE: Ochodzka - Kolejowa - Niemodlińska - POLSKA NOWA WIEŚ: Lipowa - WAWELNO: Nowowiejska - Opolska - Wawelno Pętla, powrót z pominięciem miejscowości OCHODZE)	24,28	podmiejska	uzupełniająca
9	Witosa Wygonowa Pętla - Al. W. Witosa - Al. Solidarności - Koszalińska - Tarnopolska - Wiejska - Sosnkowskiego - Horoszkiewicza - Ozimska - Rejtana - 1 Maja - Korfantego - Piastowska - Spychalskiego - Niemodlińska - Domańskiego - Cmentarna - Cmentarz - Zbożowa - Wspólna - Wrocławska - Bierkowice Pętla	16,28	miejska	dodatkowa
10	(wariantowo Drobiarska - Częstochowska - Górna - Wygonowa) - Witosa-Centrum Handlowe - Witosa - Ozimska - Wiejska - Sosnkowskiego - Horoszkiewicza - Ozimska - Kołłątaja - 1 Maja - (wybrane kursy skrócone do Dworca Głównego) - Reymonta - Plac Kopernika - Sienkiewicza - Sądowa - Książąt Opolskich - Budowlanych (powrót z wybranymi kursami przez Kępska) - Sobieskiego - (wybrane kursy skrócone do lub przez WRÓBLIN-pętla) - Jagiełły - Wolności - CZARNOWĄSY-Pętla (wybrane kursy wydłużone do Elektrowni Opole lub ŚWIERKLI)	17,58	miejska	podstawowa
11	Grudzie Pętla - Morcinka - Prosta - Leśmiana - (powrót z pominięciem ulic Morcinka, Prostej i Leśmiana) - Strzelecka - Kowalczyków - Mieszka I - Rejtana - 1 Maja - Reymonta (powrót Ozimska - Kołłątaja) Plac Kopernika - Oleska - Mikołajczyka - Sosnkowskiego - Pużaka - Pużaka Pętla	11,18	miejska	uzupełniająca
12	Grotowice Pętla - Oświęcimska - - (wariantowo Oświęcimska Metalchem) - Gorzołki - Popiełuszki - (powrót z pominięciem Gorzołki) - al. Przyjaźni - Marka z Jemielnicy - Walecki - Struga - Reymonta - (powrót Ozimska - Kołłątaja - 1 Maja) - Plac Kopernika - Sienkiewicza - Sądowa - Książąt Opolskich - Nysy Łużyckiej - Niemodlińska - Dambonia pętla - Niemodlińska - Wspólna - Wrocławska Centrum Handlowe (wybrane kursy wydłużone Północna 1-2 przez Technologiczną lub skrócone do Dambonia)	18,75	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
13	Witosa Wygonowa – Al. Solidarności – Koszalińska – Tarnopolska – Wiejska – Sosnkowskiego – Horoszkiewicza – Ozimska – Rejtana – 1 Maja – Korfatego – Piastowska – Spychalskiego – Niemodlińska – Domańskiego (wybrane kursy z wjazdem na Cmentarną) – Partyzancka (wybrane kursy z wjazdem na Północną) – Partyzancka 84 – Opolska – SŁAWICE-Pętla	14,73	miejska	uzupełniająca
14	Malina Pętla – Teligi – Frankiewiczza – Traugutta – Gorzołki – Popiełuski – Marka z Jemielnicy – Walecki – Struga – Reymonta – (powrót Kołłątaja – 1 Maja) – Ozimska – (wariantowo Głogowska – Głogowska Pętla – Głogowska) – Tysiąclecia – Grudzińska – Wschodnia Pętla (wybrane kursy wydłużone do krańca Wschodnia 23)	14,63	miejska	uzupełniająca
15	Witosa-Wygonowa – Witosa – Al. Solidarności – Wiejska – Pużaka – Sosnkowskiego – Horoszkiewicza – Ozimska – Kołłątaja – (powrót 1 Maja – Reymonta) – Korfatego – Piastowska – Spychalskiego – Niemodlińska – Wojska Polskiego – Wróblewskiego – Prószkowska – Wójtowa Wieś-Pętla – Prószkowska – Winów Szkolna (powrót Szkolna – Krapkowicka – Odrodzenia, wybrane kursy skrócone do Wójtowa Wieś – Pętla)	15,13	miejska	podstawowa
16	Opole: Al. Przyjaźni Pętla – Jagiellonów – Ostroroga – Kazimierza Wielkiego – Jagiellonów – Mieszka I – Rejtana – 1 Maja – Reymonta (powrót Ozimską, Kołłątaja) – Żeromskiego – Plac Kopernika – Oleska – Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – MECHNICE – CHRÓŚCINA – WAWELNO: Opolska – WAWELNO-Pętla	20,88	podmiejska	dodatkowa
17	Dambonia-Pętla – Niemodlińska – Nysy Łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – Sienkiewicza – Plac Kopernika – Ozimska – Horoszkiewicza – Sosnkowskiego – Wiejska – Ozimska – Witosa – Wygonowa – Górna – Częstochowska Pętla – (wariantowo Częstochowska Działki-Pętla)	11,25	miejska	podstawowa
18	Witosa-Wygonowa – Witosa – Ozimska – (wariantowo Głogowska – Głogowska Pętla – Głogowska) – Wiejska – Pużaka – Sosnkowskiego – Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Domańskiego – Cmentarna – Wrocławska-Centrum Handlowe (wybrane kursy z Dambonia)	13,70	miejska	dodatkowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
21	Wschodnia-Pętla – Wschodnia – Grudzieńska – Tysiąclecia – Ozimska – Głogowska Głogowska Pętla – Głogowska – Wschodnia – Rejtana – 1 Maja – Fabryczna – Armii Krajowej – 1 Maja – Reymonta (powrót Kołłątaja) (wybrane kursy skrócone do Dworca Głównego) – Żeromskiego – Plac Kopernika – Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Luboszycka (wybrane kursy z wjazdem na Działkową) – Opolska – Krzanowicka – Kani – Czarnowąsy-Szkoła – Jagiełły – Namysłowska – Wałowa – Pelargonii – Bławatków – Norweska – Elektrowniana – Elektrownia Opole – Elektrowniana – Norweska – Dobrzeńska – Brzezie (wybrane kursy skrócone do Czarnowás)	26,60	miejska	uzupełniająca
25	Prószkowska Politechnika – Prószkowska – Kwoczka – Wasylewskiego – Stawowa – Wróblewskiego – Wojska Polskiego – Niemodlińska – Spychalskiego – Piastowska – Korfantego – 1 Maja – Reymonta – Ozimska – Katowicka – Bohaterów Monte Cassino – Ozimska – Horoszkiewicza – Sosnkowskiego – Wiejska – Pużaka – Oleska – Mikołajczyka – Sosnkowskiego – Okulickiego – Oleska – Bohaterów Monte Cassino – Katowicka – Ozimska – Kołłątaja – 1 Maja – Korfantego – Piastowska – Spychalskiego – Niemodlińska – Wojska Polskiego – Wróblewskiego – Stawowa – Wasylewskiego – Kwoczka – Prószkowska – Prószkowska Politechnika	13,90	miejska	uzupełniająca
28	Grudzień-Pętla – Strzelecka – Morcinka – Grudzieńska – Tysiąclecia – Witosa – Tarnopolska – Wiejska – Sosnkowskiego – Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Domańskiego – Cementarna – Wrocławska-Centrum Handlowe	16,03	miejska	dodatkowa
80	(wybrane kursy z Nysy Łużyckiej, Rondo) – Dambonia-Pętla – Niemodlińska – Centralna – Dworcowa – DZIEKAŃSTWO: Opolska – DOMECKO – PUCNIK	11,28	podmiejska	dodatkowa
N1	Witosa-Wygonowa – Witosa – Ozimska – Wiejska – Pużaka – Sosnkowskiego – Okulickiego – Chabrów – (wybrane kursy z wjazdem do Działkowej) Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – Sienkiewicza – Plac Kopernika – Żeromskiego – Ozimska – Kołłątaja (powrót Reymonta) – Korfantego – Piastowska – Spychalskiego – Niemodlińska – Dambonia-pętla – Niemodlińska – Centralna – Nyska – Ogrodowa – (powrót przez Niemodlińską, wybrane kursy skrócone do Dambonia)	15,45	miejska	dodatkowa
N2	Grotowice Żelazna – Oświęcimska – Popiełuszki – Al. Przyjaźni – Jagiellonów – Mieszka I – Rejtana – 1 Maja – Reymonta (powrót Ozimską, Kołłątaja) – Żeromskiego – (wybrane kursy z wjazdem do Pl. Konstytucji 3 Maja) Oleska – Chabrów – Luboszycka – Działkowa – Luboszycka – Kępska – Budowlanych – Jana III Sobieskiego – CZARNOWĄSY: Jagiełły – Wolności – Czarnowąsy-Pętla	18,35	miejska	dodatkowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
N5	Dworzec Główny – Reymonta (powrót Kołłątaja) – Plac Kopernika – Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Domańskiego – Cmentarna – Zbożowa – Wspólna (powrót Wrocławską bez przejazdu Wspólną i Zbożową) – Wrocławska – WRZOSKI	13,43	miejska	dodatkowa
N13	Dworzec Główny – Reymonta (powrót Kołłątaja) – Plac Kopernika – Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Domańskiego – Partyzancka – Opolska – SŁAWICE-Pętla	9,63	miejska	dodatkowa
N15	Witosa-Wygonowa – Witosa – Ozimska – Wiejska – Pużaka – Sosnkowskiego – Okulickiego – Chabrów – (wybrane kursy z wjazdem do Działkowej) Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – Sienkiewicza – Plac Kopernika – Żeromskiego – Ozimska – Kołłątaja (powrót Reymonta) – Korfantego – Piastowska – Spychalskiego – Niemodlińska – Wojska Polskiego – Wróblewskiego – Prószkowska – WINÓW: Szkolna (powrót przez Krapkowicką, Odrodzenia)	18,65	miejska	dodatkowa

Źródło: Opracowanie własne

3.1.3 Koszty eksploatacyjne

Za świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych objętych umową powierzenia operator otrzymuje rekompensatę za wozokilometr zgodną z Rozporządzeniem 1370/2007, ustawą o publicznym transporcie zbiorowym. Operator otrzymuje także rekompensatę za działalność związaną z realizacją usług dystrybucji biletów, kontrolą biletów i windykacją opłat dodatkowych. Wysokość miesięcznej rekompensaty za realizowane przewozy obliczana jest jako różnica pomiędzy iloczynem liczby wozokilometrów do wykonania przez operatora w danym miesiącu wynikająca z planu operacyjnego, skorygowaną o nadwyżkę lub niewykonaną liczbę planowych wozokilometrów za miesiące poprzednie ze stawką kosztu wozokilometra ustaloną pomiędzy stronami, a przychodami pomniejszającymi rekompensatę i karami umownymi naliczonymi za poprzednie okresy do rozliczenia w bieżącej płatności. Dla działalności związanej z biletami, miesięczna rekompensata jest obliczana jako różnica pomiędzy roczną rekompensatą ustaloną w umowie za tę działalność podzieloną przez 12 a przychodami pomniejszającymi rekompensatę. Umowa określa również, że wypłata rekompensaty

w grudniu będzie odpowiadała różnicy pomiędzy planem środków przeznaczonych na realizację umowy w budżecie Miasta Opola na dany rok budżetowy, a jego wykonaniem do końca listopada danego roku, z pomniejszeniem o naliczone kary umowne do skompensowania w grudniu. Do końca stycznia każdego roku operator jest zobowiązany do przedstawienia organizatorowi sprawozdania łącznego z wykonanych w roku poprzednim wozokilometrów oraz informacji o poniesionych kosztach i dodatkich wpływach finansowych związanych z realizacją umowy. W przypadku, gdy przekazana rekompensata będzie wyższa od poniesionych kosztów:

- operator zatrzymuje nadwyżkę wypłaconej rekompensaty przy założeniu, że nie przekroczy wartości rozsądnego zysku (6% kosztów w związku z wykonywaniem umowy),
- po przekroczeniu wartości rozsądnego zysku, nadwyżka zostanie rozliczona w rekompensacie roku następnego (do końca I kwartału) poprzez skompensowanie należności przysługujących operatorowi z tytułu umowy.

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

Jednym z zadań własnych Miasta Opola, określonego w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym, 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 miasta Opola. W dokumencie tym, stanowiącym akt prawa miejscowego, założono, iż „realizowanie przewozów o charakterze

użyteczności publicznej planowane jest na obszarze Miasta Opola oraz na połączeniach komunikacyjnych do gmin, z którymi Miasto Opole posiada porozumienia międzygminne”. Wskazane uwarunkowania formalno - prawne gwarantują podstawy instytucjonalne umożliwiające wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w perspektywie wieloletniej, m.in. w zakresie minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora.

3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

W ostatnich latach zakupiono 54 nowe autobusy przeznaczone do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Opolu. W 2015 roku zakupiono 3 fabrycznie nowe autobusy MAN Lion's City A26 klasy MEGA15 z normą spalania EURO 6, które są wyposażone w klimatyzację, monitoring, oświetlenie LED. Zakup pojazdów był współfinansowany przez Unię Europejską w ramach programu RPO woj. opolskiego na lata 2007-2013 i projektu „Inwestujemy w Twoją przyszłość”.



Rys. 3.2 MAN Lion's City A26 w barwach MZK Opole

Źródło: Zbiory własne

Do końca maja 2018 roku dostarczono do Opoli 28 klimatyzowanych pojazdów – 15 sztuk przegubowych MAN Lion's City G oraz 13 sztuk MAN Lion's City klasy MAXI z normą spalania EURO6, ładowarkami USB oraz internetem LTE. W tym samym czasie odbyło się postępowanie na 23 pojazdy – 20 autobusów klasy MAXI oraz 3 pojazdy klasy MIDI, które mają zostać dostarczone do końca 2019 roku zgodnie z zawartą umową z dnia 19.10.2019 r.

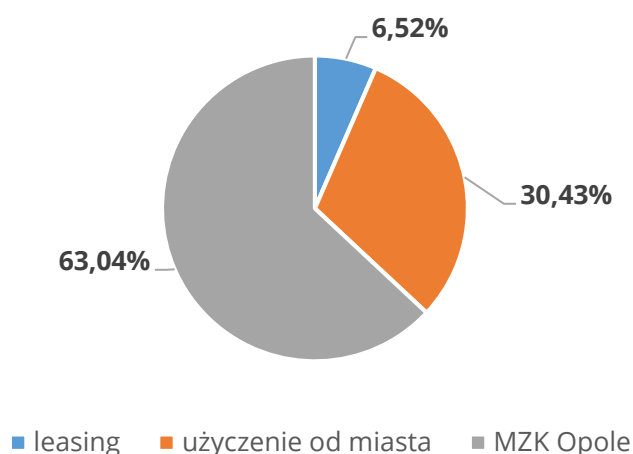
Zakup autobusów jest współfinansowany w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko i projektu: Czysta komunikacja publiczna”. W ramach projektu jest planowana także trzecia dostawa – 10 autobusów klasy MAXI oraz specjalistycznego holownika.

Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na 12.09.2018)

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2015	MAN Lion's City A36	MEGA15	3	2015	EURO 6
2018	MAN Lion's City G	MEGA18	15	2018	EURO 6
	MAN Lion's City	MAXI	13	2018	EURO 6
	MAN Lion's City	MAXI	20	2018 – 2019	EURO 6
	MAN Lion's City	MIDI	3	2018 - 2019	EURO 6

Źródło: Opracowanie własne

Struktura właścicielska pojazdów



Rys. 3.3 Struktura właścicielska pojazdów

Źródło: Opracowanie własne

3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby komunikacji miejskiej w Opolu eksploatowane są 92 pojazdy. Wszystkie posiadają silniki napędzane olejem napędowym. 93% autobusów jest niskopodłogowych (oprócz autobusów marki Jelcz, które mają zostać wycofane z eksploatacji w najbliższym czasie). Najwięcej z nich stanowią pojazdy o normie spalania EURO 6 – 36 pojazdów (39%). Kolejną

największą grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 5, które stanowią 29% całego taboru. We flocie użytkowanej przez MZK Opole znajdują się także 3 pojazdy o normie spalania EURO 1 (3%). Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na dzień 12.09.2018)

Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
EURO 1		1	2			3
EURO 2	2		10		2	14
EURO 3			3			3
EURO 4			8		1	9
EURO 5			27			27
EURO 6			13	8	15	36
Liczba pojazdów	2	1	63	8	18	92

Źródło: Opracowanie własne

3.2.3 Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru

Obecnie średni wiek pojazdów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Opolu wynosi 7,5 roku. Najstarszy pojazd wyprodukowano w 1994 r. – MAN NL202 klasy MAXI, a najmłodsze w 2018 r. – 28 szt. MAN Lion's City klasy MAXI i MEGA18 z normą spalania EURO 6. Pojazdy w wieku poniżej 2 lat stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – aż 30%. Wśród

najmłodszych pojazdów największą grupę stanowią pojazdy klasy MEGA18. Kolejnymi grupami są pojazdy w wieku 5-6 lat oraz pojazdy w wieku 15 lat i więcej – stanowią one po ok. 25% 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 (stan na dzień 12.09.2018)

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			13		15	28
3-4 LATA				5		5
5-6 LAT			21			21
7-8 LAT			5			5
9-10 LAT			8			8
11-12 LAT					1	1
13-14 LAT			1			1
15 LAT I WIĘCEJ	2	1	15	3	2	23

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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

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

Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2021 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			9			9
3-4 LATA		3	33		15	51
5-6 LAT				3		3

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			1			1
3-4 LATA			9			9
5-6 LAT		3	33		15	51
7-8 LAT				3	1	4
9-10 LAT			16	2		18
11-12 LAT			10			10
13-14 LAT			2			2
15 LAT I WIĘCEJ			6			6

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.8 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			3			3
3-4 LATA			1			1
5-6 LAT			10			10
7-8 LAT		3	37		15	55
9-10 LAT				3	1	4
11-12 LAT			16	2		18
13-14 LAT			10			10
15 LAT I WIĘCEJ						

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.9 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			21	5		26
3-4 LATA			6			6
5-6 LAT			2			2
7-8 LAT			1		1	2
9-10 LAT		3	47		15	65
11-12 LAT						
13-14 LAT						
15 LAT I WIĘCEJ						

Źródło: Opracowanie własne

3.2.4 Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym

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

Następnie obliczono emisję gazów cieplarnianych (tj. dwutlenku węgla CO₂) i substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO_x i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy oraz sumaryczną liczbę przejechanych kilometrów przez dany typ pojazdów. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w Tab. 3.10.

Tab. 3.10 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych (stan na dzień 12.09.2018)

Norma spalania / pojazd	Liczba autobusów danego typu	Średnioroczne zużycie oleju napędowego w danej grupie pojazdów	Średnioroczna liczba km przejechana przez dany typ pojazdu	Średnie zużycie oleju napędowego na pojazd	NMHC/NMVOC g/km na pojazd	Nox g/km na pojazd	PM g/km na pojazd	CO2 kg/km na pojazd
EURO 1								
JELCZ L090 M	1	1832,62	3315,44	55,28	6,08	44,22	1,99	1,48
MAN NL 202	3	9932,84	24590,35	39,73	4,37	31,78	1,43	1,06
EURO 2								
JELCZ 120 MM/2	3	13266,09	36033,44	37,97	4,18	26,58	0,57	1,02
MAN NL 222	5	14336,88	37157,55	38,77	4,26	27,14	0,58	1,04
JELCZ M081MB	2	2833,72	14990,33	20,53	2,26	14,37	0,31	0,55
MAN NL 202	1	19181,96	43500,55	44,10	4,85	30,87	0,66	1,18
MAN NL 263	1	12446,80	25984,13	47,90	5,27	33,53	0,72	1,28
MAN NG 312	2	14091,57	24970,02	56,39	6,20	39,47	0,85	1,51
MAN LION'S CITY L	3	18104,80	27941,22	67,87	7,47	47,51	1,02	1,82
EURO 3								
MAN NL 222	2	19271,67	51963,54	37,18	2,45	18,59	0,37	1,00
MAN NL 223	1	18470,30	44884,18	41,15	2,72	20,58	0,41	1,10
MAN NL 263	1	32548,70	66181,38	49,18	3,25	24,59	0,49	1,32
EURO 4								
MAN NL 263	1	34003,27	73855,54	46,04	2,12	16,11	0,09	1,23

Norma spalania / pojazd	Liczba autobusów danego typu	Średnioroczne zużycie oleju napędowego w danej grupie pojazdów	Średnioroczna liczba km przejechana przez dany typ pojazdu	Średnie zużycie oleju napędowego na pojazd	NMHC/NMVOC g/km na pojazd	Nox g/km na pojazd	PM g/km na pojazd	CO2 kg/km na pojazd
MAN LION'S CITY	4	32552,08	70388,01	46,23	2,13	16,18	0,09	1,24
MAN LION'S CITY G	1	20584,68	37793,98	54,47	2,51	19,06	0,11	1,46
SCANIA OMNICY	3	31906,45	67486,79	47,17	2,17	16,51	0,09	1,26
EURO 5								
MAN LION'S CITY (2009)	1	31656,36	65333,66	48,45	2,23	9,69	0,10	1,30
MAN LION'S CITY (2011-2013)	26	40521,63	89914,59	45,08	2,07	9,02	0,09	1,21
EURO 6								
MAN LION'S CITY A37	13	8944,51	23520,15	38,11	0,50	1,52	0,04	1,02
MAN LION'S CITY L	5	39828,23	79088,38	50,44	0,66	2,02	0,05	1,35
MAN LION'S CITY G	15	7554,65	14195,73	53,20	0,69	2,13	0,05	1,43

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.11 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez Operatora (stan na dzień 12.09.2018)

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g/rok	Nox w g/rok	PM w g/rok	CO2 w kg/rok
EURO 1				
JELCZ L090 M	20 158,82	146 609,60	6 597,43	4 911,42
MAN NL 202	322 396,53	2 344 702,03	105 511,59	78 547,52
EURO 2				
JELCZ 120 MM/2	451 472,60	2 873 007,42	61 564,44	109 995,14
MAN NL 222	792 265,45	5 041 689,24	108 036,20	193 024,67
JELCZ M081MB	67 689,13	430 748,98	9 230,34	16 491,53
MAN NL 202	211 001,56	1 342 737,20	28 772,94	51 407,65
MAN NL 263	136 914,80	871 276,00	18 670,20	33 357,42
MAN NG 312	309 784,38	1 971 355,13	42 243,32	75 474,74
MAN LION'S CITY L	625 843,57	3 982 640,91	85 342,31	152 478,25
EURO 3				
MAN NL 222	255 037,82	1 932 104,69	38 642,09	103 560,81
MAN NL 223	121 903,98	923 515,00	18 470,30	49 500,40

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g/rok	Nox w g/rok	PM w g/rok	CO2 w kg/rok
MAN NL 263	214 821,42	1 627 435,00	32 548,70	87 230,52
EURO 4				
MAN NL 263	156 415,04	1 190 114,45	6 800,65	91 128,76
MAN LION'S CITY	598 791,02	4 556 018,63	26 034,39	348 860,86
MAN LION'S CITY G	94 689,53	720 463,80	4 116,94	55 166,94
SCANIA OMNACITY	439 315,88	3 342 620,81	19 100,69	255 949,25
EURO 5				
MAN LION'S CITY (2009)	145 619,26	633 127,20	6 331,27	84 839,04
MAN LION'S CITY (2011-2013)	4 847 492,75	21 076 055,41	210 760,55	2 824 191,43
EURO 6				
MAN LION'S CITY A37	151 467,86	466 054,94	11 651,37	312 256,81
MAN LION'S CITY L	259 302,38	797 853,49	19 946,34	534 561,84
MAN LION'S CITY G	147 271,28	453 142,40	11 328,56	303 605,41
roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich pojazdów w komunikacji miejskiej:	10 369 655,04	56 723 272,32	871 700,63	5 766 540,42

Źródło: Opracowanie własne

3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

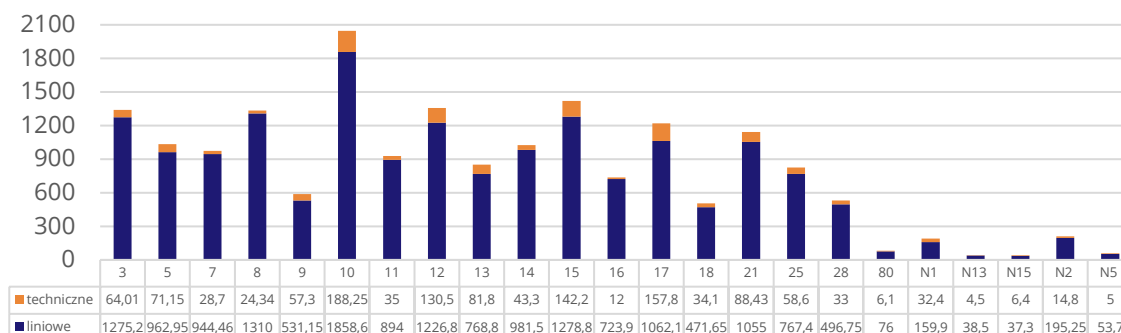
W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne sieci linii komunikacyjnych w Opolu. Sieć została przeanalizowana pod względem liczby wozokilometrów liniowych z podziałem na linie i technicznych według typu dnia i wskaźników wykorzystania taboru. Następnie przedstawiono dane dotyczące prędkości komunikacyjnych i eksploatacyjnych w przekroju całej sieci i linii komunikacyjnych na terenie Miasta Opolu oraz zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady. W końcowej części rozdziału wykonana została analiza rozkładów jazdy na podstawie aktualnej bazy rozkładów jazdy.

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

- dzień roboczy szkolny – 18 489,3 wzkm,
- dzień roboczy wakacyjny – 16 513,24 wzkm
- sobota – 12 181,35 wzkm,
- niedziela i święta – 11 326,75 wzkm,
- niedziela niehandlowa – 11 144,71 wzkm,
- święta (25.12, 01.01 i Wielkanoc – 1. dzień) – 3 922,19 wzkm.

Najwięcej kilometrów realizowanych jest zwykle na liniach 3, 10, 12, 15. Najmniejszą pracą eksploatacyjną, oprócz linii nocnych N13, N15 cechuje się linia podmiejska 80 kursująca z Dambonia – pętla do krańca Domecko - Pucnik. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano liczbę wozokilometrów na poszczególnych liniach w wybrane typy dni tygodnia.

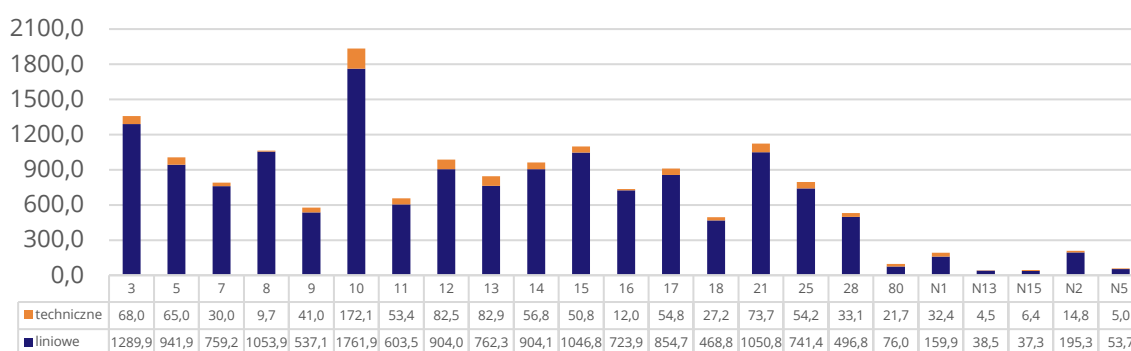
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne



Rys. 3.4 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne (linie N5 i N13 kursują tylko w piątki)

Źródło: Opracowanie własne

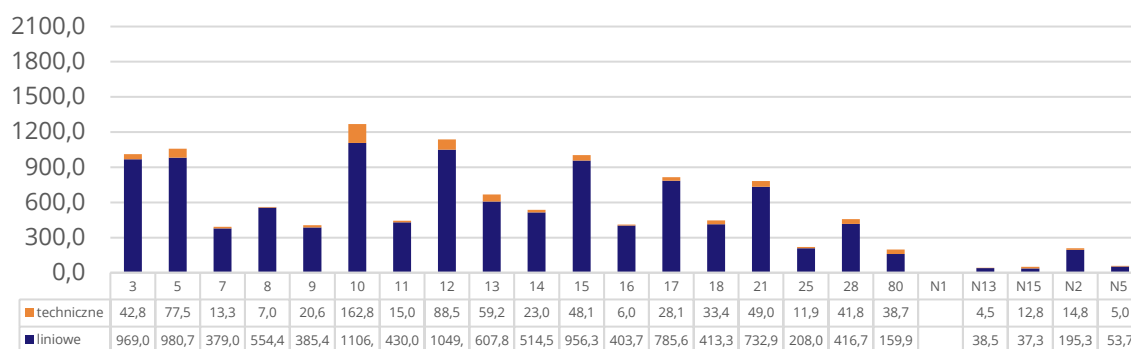
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne



Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne (linie N5 i N13 kursują tylko w piątki)

Źródło: Opracowanie własne

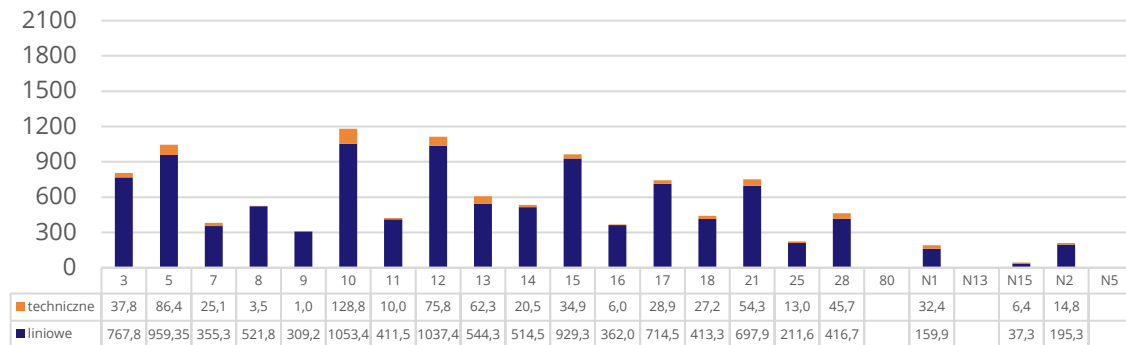
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty

Źródło: Opracowanie własne

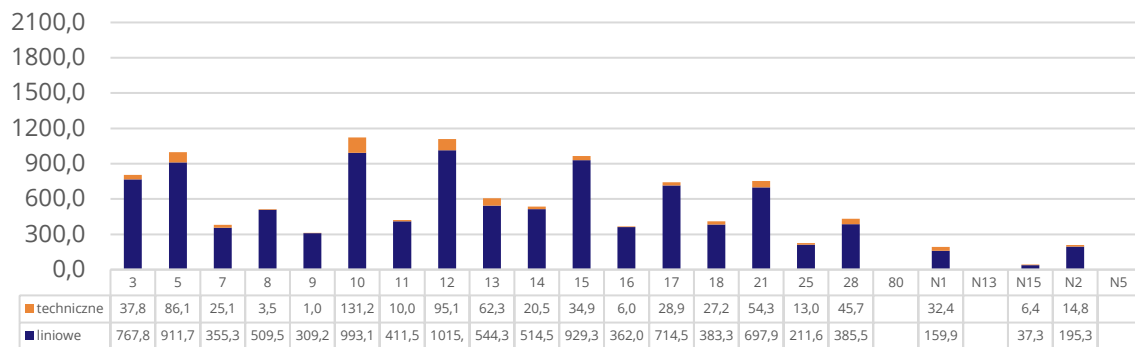
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele i święta



Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele i święta

Źródło: Opracowanie własne

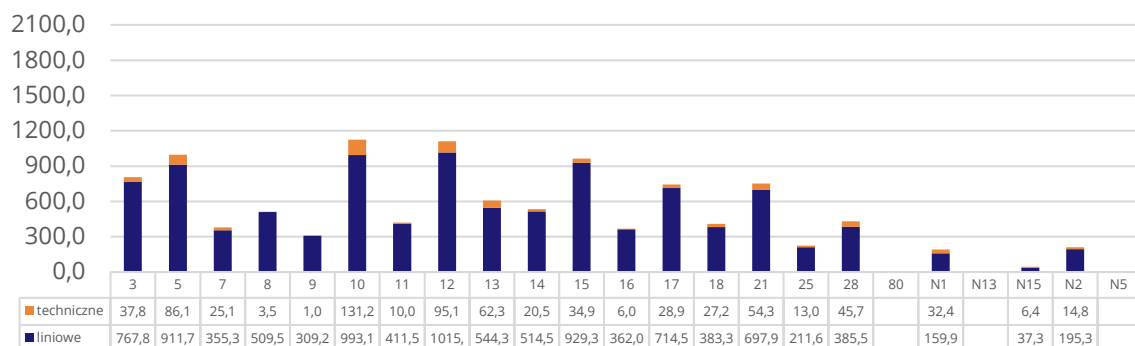
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele niehandlową



Rys. 3.8 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele niehandlową

Źródło: Opracowanie własne

Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w wybrane święta



Rys. 3.9 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w wybrane święta

Źródło: Opracowanie własne

3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

Aktualnie MZK Opolo dysponuje 92 autobusami, z czego do obsługi linii, ekspediowanych jest:

- w dni robocze w okresie szkolnym 80 autobusów – 87 % taboru,
- w dni robocze w okresie wakacji 65 autobusów – 71 % taboru,
- w soboty 49 autobusów – 53 % taboru,
- w niedziele 45 autobusów – 49% taboru,
- w święta 21 autobusy – 23% taboru.

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



Rys. 3.10 Autobus typu MEGA18 obsługujący linię podstawową nr 15

Źródło: Zbiory własne

Tab. 3.12 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu (stan na dzień 12.09.2018)

Typ dnia /typ pojazdu	MINI		MAXI		MEGA15		MEGA18	
	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa
Roboczy szkolny	4*		55	8	5	3	16	2
Roboczy wakacyjny	2*		44*	19	6	2	13	5
Sobota	4*		45	20				
Niedziela	2**		43	20				
Święta	2**		19	44				

*w tym 1 brygada nocna

**w tym 2 brygady nocne

Źródło: Opracowanie własne.

3.3.2 Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych

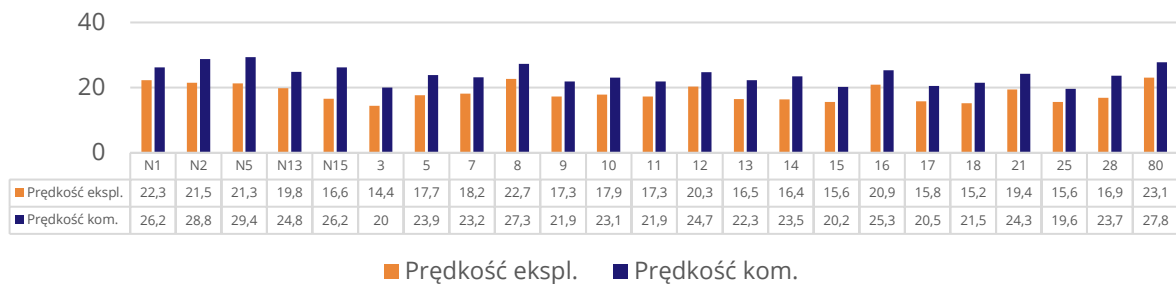
Poniżej zestawiono średnie prędkości eksploatacyjne oraz komunikacyjne dla poszczególnych typów dni:

- dzień roboczy szkolny: prędkość eksploatacyjna - 18,5 km/h, prędkość komunikacyjna - 24,3 km/h,
- dzień roboczy wakacyjny: prędkość eksploatacyjna - 18,5 km/h, prędkość komunikacyjna - 24,4 km/h,
- sobota: prędkość eksploatacyjna - 18,5 km/h, prędkość komunikacyjna - 24,7 km/h,
- niedziela i święta: prędkość eksploatacyjna - 18,4 km/h, prędkość komunikacyjna - 24,5 km/h,
- niedziela niehandlowa: prędkość eksploatacyjna - 18,2 km/h, prędkość komunikacyjna - 24,4 km/h,

- święta (25.12 i 1.01): prędkość eksploatacyjna – 18,3 km/h, prędkość komunikacyjna – 24,5 km/h.

Zwykle najwyższe prędkości eksploatacyjne wśród linii dziennych osiągają linie podmiejskie 8, 16, 80, a najniższe 3, 17 i 25. W przypadku prędkości komunikacyjnych najwyższe osiągają linie dzienne 8, 12, 16, 80 a najniższe 3, 17 i 25.

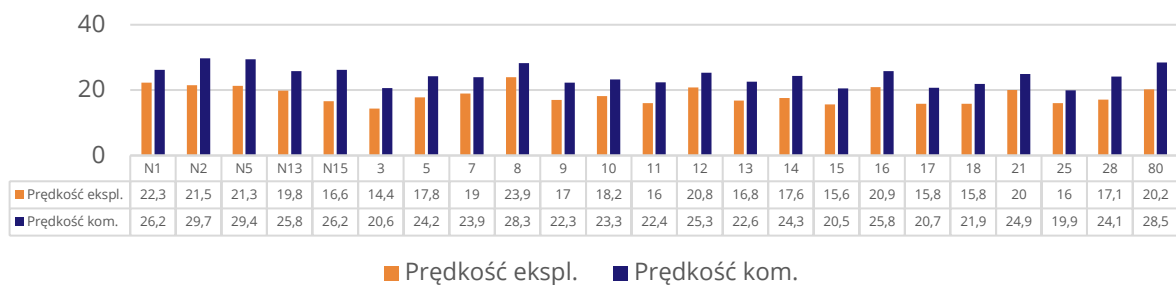
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny



Rys. 3.11 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny

Źródło: Opracowanie własne

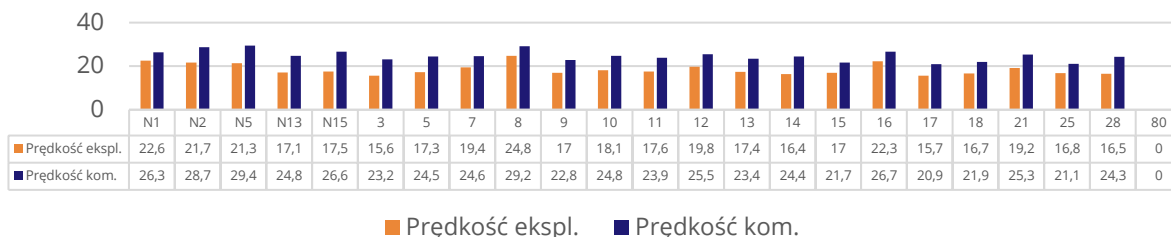
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny



Rys. 3.12 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny

Źródło: Opracowanie własne

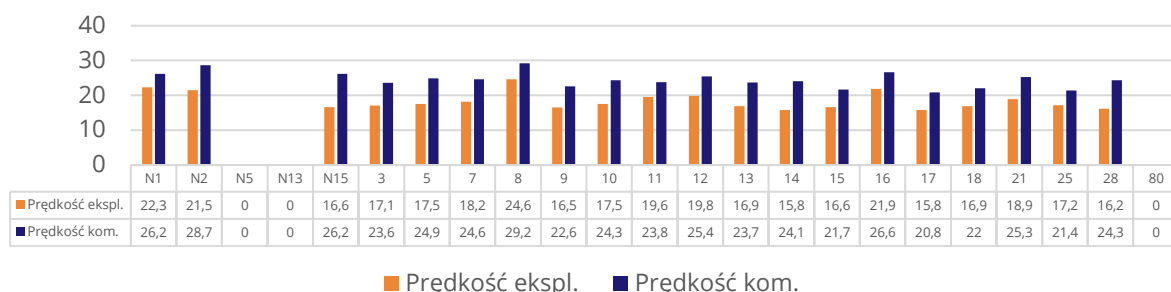
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w sobotę



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

Źródło: Opracowanie własne

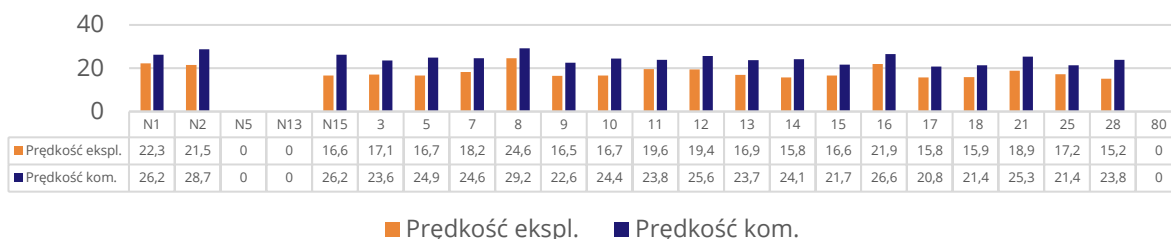
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę i święta



Rys. 3.14 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę i święta

Źródło: Opracowanie własne

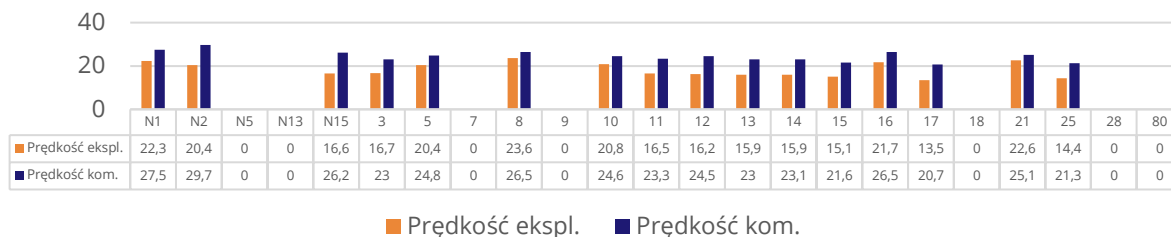
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę niehandlową



Rys. 3.15 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę niehandlową

Źródło: Opracowanie własne

Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta



Rys. 3.16 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta (25.12, 01.01, 1 dzień Wielkanocy)

Źródło: Opracowanie własne

3.3.3 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady

Wszystkie brygady w dzień roboczy szkolny (zgodnie z rozkładem jazdy obowiązującym we wrześniu 2018 r.) wykonują łącznie 18 489,3 wzkm. Najwięcej brygad jest obsługiwanych autobusami MAXI - 55, wykonują one pracę eksploatacyjną na poziomie 13 302,81 wzkm. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie na dystansie o długości 32,70 km i jest obsługiwana przez autobus klasy MAXI. Najdłuższe zadanie ma dystans o długości 405,25 km, na którym są eksploatowane autobusy typu MEGA18. Przeciętna długość brygady w całej sieci wynosi 231,12 km, pojazdy klasy MEGA15 są zwykle kierowane na najdłuższe brygady. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

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

Równanie 1 Współczynnik zmienności

gdzie:

s – odchylenie standardowe

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

Największym zróżnicowaniem długości brygad charakteryzują się brygady obsługiwane przez autobusy MAXI i MEGA18 (35%). Oznacza to, że istnieją brygady realizujące znacznie więcej wozokilometrów niż wynosi średnia, jak i znacznie mniej. Liczba wozokilometrów jest najmniej zróżnicowana w przypadku autobusów klasy MINI – 8%. 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 (stan na dzień 12.09.2018)

Parametr / typ taboru	MINI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
liczba brygad	3*	56**	5	16	80
minimalna długość w km	133,94	32,70	236,27	119,40	32,70
maksymalna długość w km	164,55	377,86	312,2	405,25	405,25
średnia długość w km	153,87	241,87	257,45	205,24	231,12
odch. standardowe	12,43	83,45	28,02	71,35	80,11
wsp. zmienności	8%	35%	11%	35%	35%
Suma km	615,46	13302,81	1287,27	3283,76	18489,30

*w tym 2 brygady nocne

** w tym 1 brygada nocna

Źródło: Opracowanie własne

3.3.4 Analiza rozkładów jazdy

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

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

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

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	3		56	5	16	80
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych	0					
Liczba brygad w ruchu	3*		56**	5	16	80
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	2	1	63	8	18	92
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0					
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	100%	0%	89%	63%	89%	87%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych	0%					
Udział pojazdów zeroemisyjnych	0%					

* w tym 2 brygady nocne

** w tym 1 brygada nocna

Źródło: Opracowanie własne

W poniższych tabelach przedstawiono najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. Kraniec podstawowy to pętla lub przystanek, gdzie bieg kończy najwięcej kursów danej linii. Długości postojów na wszystkich

innych przystankach krańcowych są przedstawione w kolumnie „krańce wariantowe”. Linie wykonujące tylko 1 parę kursów w danej porze, mają wpisaną długość postoju tylko na jednym krańcu. Przy braku powtarzalnych interwałów rozumianych jako częstotliwości

kursowania, zdefiniowany został przedział z występującymi odstępami lub liczba par kursów (np. „p1” oznacza 1 parę). Z analizy

wyłączone zostały dedykowane przerwy posiłkowe, które nie są zaplanowane jako powtarzalne postoje wyrównawcze.

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

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [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
3	Pużaka Pętla	Al. Przyjaźni Pętla	15	10	8	24	15	14	4	
5	Wrzoski Pętla	Żytnia Pętla	30	13	5	21	60		12	
7	Prószkowska Politechnika	Grotowice Żelazna	30	10-37	5	2	30	7-11	9	3
8	Grotowice Pętla	Ochodze	60	9		13	30	7-18	19	7-8
9	Witosa Wygonowa	Bierkowice Pętla	60	11	18-19		60	18		
10	Witosa Centrum Handlowe	Czarnowąsy Pętla	30	15	3-29	4-23	15	4-9	13	2-37
11	Pużaka Pętla	Grudzice Pętla	30	19	5		30	18	3	
12	Wrocławska Centrum Handlowe	Grotowice Pętla	60	47	9-10		30	23	12-16	9-11
13	Witosa Wygonowa Pętla	Sławice Pętla	60	11-12	26		30			12-14
14	Malina Pętla	Wschodnia Pętla	30	11	29-33		30	19	19	
15	Witosa Wygonowa	Winów-szkolna	30	7-8	19-20	27	15	11-16	6-19	15-16
16	Al. Przyjaźni Pętla	Wawelno	60	2	14		60	7	8	
17	Dambonia Pętla	Częstochowska Pętla	30	7	3-11		15	11	3-4	
18	Witosa Wygonowa	Wrocławska Centrum Handlowe	60	14	6-26		60	3	34	
21	Wschodnia Pętla	Brzezie	60	18-19	27	24	30	4	7	7
25	Prószkowska Politechnika		30	9-39			30	32-39		
28	Wrocławska Centrum Handlowe	Grudzice Pętla	60	6-26	1-11		60	32	16	
80	Dambonia Pętla	Pucnik-Pętla	-				p1			

Źródło: Opracowanie własne

4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W rozdziale 4 przedstawiono 7 wariantów inwestycyjnych:

- autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi,
- autobusy elektryczne akumulatorowe w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in,
- autobusy elektryczne w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in oraz pantografem,
- trolejbusy,
- autobusy napędzane CNG,
- autobusy napędzane LNG,
- 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 Opolu

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

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych w sieci komunikacji miejskiej w Opolu 92 pojazdach (w 2020 r. – 100 pojazdów, od 2022 r. - 101 pojazdów), wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi⁶:

- w terminie od 01.01.2021 r. – 5 pojazdów (tj. 5% spośród planowanej posiadanej liczby autobusów),
- w terminie od 01.01.2023 r. – 11 pojazdów (tj. udział na poziomie 10%),
- w terminie od 01.01.2025 r. – 21 pojazdów (tj. udział na poziomie 20%),
- w terminie od 01.01.2028 r. – 31 pojazdów (tj. udział na poziomie 30%).

4.1 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

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

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

Obecnie autobusy napędzane wodorem są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak Londyn, Hamburg, Oslo, Mediolanie czy Kolonii. Są to niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk, ale ich liczba wciąż

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

się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie pojawi się co najmniej 60 kolejnych autobusów napędzanych wodorem⁷. Warto też wspomnieć

o niedawnym zamówieniu na 40 autobusów złożonym wspólnie przez Kolonię i Wuppertal⁸.

Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie

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

Źródło: Opracowanie własne

4.1.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy napędzane energią pochodzącą z czystego wodoru różnią się od klasycznych autobusów elektrycznych tym, że głównym źródłem prądu elektrycznego są ogniwa wodorowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję wspomagającą (są doładowywane w trakcie jazdy). Rozwiązanie to jest korzystniejsze ze względu na krótki czas tankowania i wydajność autobusu wyposażonego w ogniwa paliwowe. Zbiorniki na wodór umieszczane na dachu autobusu mają pojemność 35-40 kg, co wystarcza na przejechanie ok. 450 km, bez konieczności doładowania akumulatora na trasie (jak to ma miejsce w przypadku obecnie eksploatowanych pojazdów elektrycznych akumulatorowych). Tankowanie zajmuje około 10 minut, a wodór

przechowywany jest w pojemnikach pod ciśnieniem ok. 35 MPa.

Eksploatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością budowy odpowiedniej infrastruktury do tankowania, jako że obecnie w Polsce nie ma stacji tankowania wodorem. Utrudnieniem jest także brak dystrybucji czystego wodoru na potrzeby transportowe. Pojawiły się natomiast pierwsze porozumienia mające na celu stworzenie infrastruktury do ładowania takich pojazdów.⁹

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

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

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
Solaris Urbino 18,75	18,75 m	2014	120 kWh	101 kW	300 km	105 pasażerów

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

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

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

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

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 łódzkiej Rygi.¹⁰

Docelowo cenę zakupu jednego autobusu napędzanego wodorem szacuje 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.¹¹ Ceny te również pojawiają się w materiałach i podręczniku promującym zastosowanie ogniw wodorowych w transporcie publicznym, wspieranym przez UE.¹²

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów napędzanych wodorem o długości 13 m, cena może być niższa. Kontrakt wart był 13 mln euro, co oznacza, że jeden autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. Rynek autobusów napędzanych wodorem jest młody i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹³. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie 3,21 mln zł netto (0,75 mln euro netto).

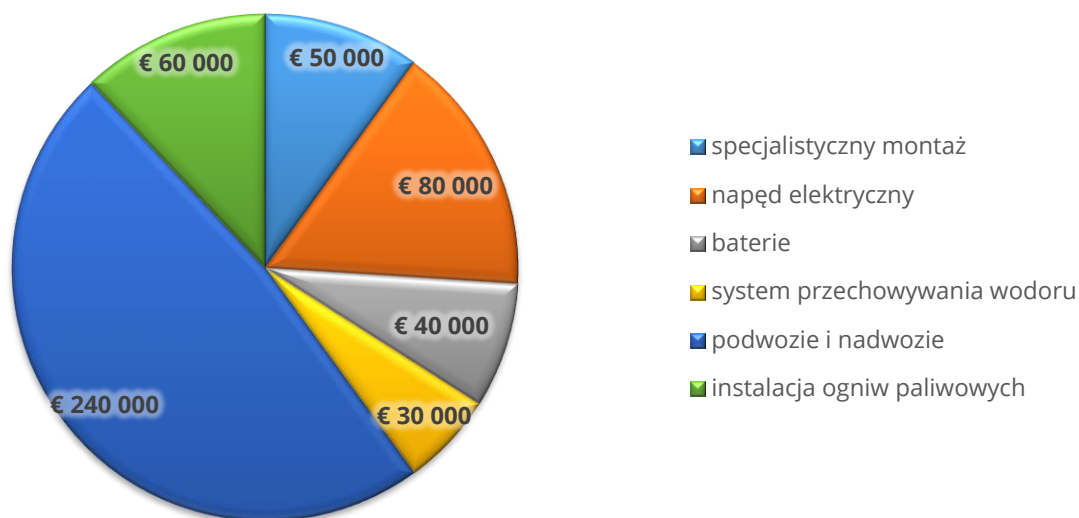
¹⁰ <https://skaties.lv/zinas/latvija/rigas-satiksmes-teres-18-miljonus-lai-nopirkto-jaunus-udenraza-autobusus-un-trolejbusus/>, dostęp 18.07.18

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

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

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

Koszty produkcji autobusu o napędzie wodorowym



Rys. 4.1 Koszty produkcji autobusu o napędzie wodorowym

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

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykułów branżowych.

4.1.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów

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

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

Koszt budowy stacji zależy od jej wielkości, sposobu dostarczania wodoru na stacji (produkcja na miejscu, dostawa w formie płynnej lub gazowej)¹⁷ i wymagań, jakie stawiają założenia odnośnie do taboru i jej użytkowników. Według danych opublikowanych przez stowarzyszenie UKH2Mobility, na budowę

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

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

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

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

sieci stacji tankowania wodoru w największych miastach do 2030 roku, potrzeba 418 mln funtów. Kwota ta ma pokryć koszty budowy blisko 1200 stacji, co oznacza, że średnio jedna stacja będzie kosztować 350 tys. funtów, czyli około 400 tys. euro. Opracowanie dr F. Kocha z Energie Agentur NRW określa koszt budowy stacji mogącej obsłużyć sieć do 10 autobusów na 600 tys. euro¹⁸. W artykułach traktujących o stacjach tankowania wodoru do aut osobowych, padają kwoty między 1 a 2 mln euro¹⁹ Łotewska Ryga za budowę dużej stacji tankowania,

mogącej obsługiwać 20 pojazdową flotę autobusów i pojazdy prywatne, zapłaciła 4,5 mln euro²⁰. Inne dane, pochodzące z USA wyceniają koszt budowy jednej dużej stacji na 5 mln dolarów, jednak warto zwrócić uwagę, że są to dane z 2012²¹.

W Polsce ciągle jednak brakuje zdecydowanych działań zmierzających do rozwiązania problemów regulacji prawnych dotyczących punktów tankowania wodoru oraz budowy sieci dystrybucyjnej na szeroką skalę.

4.1.4 Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Opolu

Od 2022 r. do obsługi opolskiej komunikacji miejskiej przeznaczonych będzie 101 pojazdów. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej, niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych dla 31 autobusów z wodorowymi

ogniwami paliwowymi (w tym 5 typu MEGA18 i 26 typu MAXI). Wymianę autobusów spalinowych na autobusy napędzane wodorem założono w stosunku 1 do 1. Jednostkowa cena pojazdów została ustalona na podstawie obecnych cen rynkowych.

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

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	102,72 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	2,00 mln zł
Stacja tankowania wodoru	19,26 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	123,98 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

4.2 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

4.2.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

Obecnie liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych dynamicznie wzrasta. W

pierwszym kwartale 2018 w polskich miastach jeździło 89 autobusów elektrycznych

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

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

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

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

akumulatorowych, a kolejnych 105 jest na etapie zakupu i produkcji²². Autobusy elektryczne w Polsce produkuje Solaris Bus & Coach S.A., Ursus Bus S.A. oraz Volvo Polska sp. z o.o.. Autobusy elektryczne mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych²³, ze względu na konieczność montażu akumulatorów. Wyróżniają się lepszymi charakterystykami dynamicznymi – stosowane w autobusach elektrycznych silniki asynchroniczne, w przeciwieństwie do spalinowych, osiągają maksymalny moment obrotowy już przy rozruchu. Do ich zasilania używa się akumulatorów m.in.:

- litowo-jonowych NMC, które charakteryzują się niskimi kosztami, niską masą, ale również niską żywotnością i małym zakresem temperatur pracy ($>-10^{\circ}\text{C}$),
- litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C ,
- litowo-tytanowych LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²⁴.

Najważniejszymi czynnikami charakteryzującymi eksploatację autobusów elektrycznych akumulatorowych są 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 pracę w niskiej temperaturze (na którą czułe są akumulatory), zasięg eksploatacyjny jest mniejszy. Zasięg pojazdu zależny jest od liczby zastosowanych akumulatorów, co przekłada się na masę pojazdu: w autobusie Ursus City Smile 10 o zasięgu 240 km, masa akumulatorów wynosi

około 2 tony, natomiast w Solarisie Urbino 8,9 o zasięgu do 100 km akumulatory mają masę 1,4t.

Należy zwrócić uwagę, że im większy akumulator oraz masa pojazdu, tym większe średnie zużycie energii na kilometr. Na podstawie analizy postępowań rynkowych na zakup pojazdów akumulatorowych za najbardziej korzystną pojemność akumulatora uznano:

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

Podczas doboru pojemności baterii założono, że dla autobusu 12 metrowego zużycie energii kształtuje się na poziomie 1,35 kWh/km, natomiast dla autobusu 18 metrowego 1,75 kWh/km.

Autobusy elektryczne akumulatorowe można ładować na kilka sposobów. Najpowszechniejszymi w Polsce są ładowarki typu plug-in, które służą do ładowania podczas dłuższych postojów pojazdów, np. na zajezdni, wówczas zwykle wykorzystywany jest prąd o niskim natężeniu, co przekłada się na mniejszy spadek żywotności akumulatorów. Drugim rozwiązaniem, stosowanym często równolegle z ładowarkami plug-in, jest ładowanie za pomocą pantografu. Dzięki zastosowaniu ładowania dużym prądem (o natężeniu 30-60A) możliwe jest doładowywanie akumulatorów na przykład podczas postoju na pętli. Już 10 minutowe doładowanie pozwala wydłużyć zasięg autobusu o 20 – 40 km. Z tego względu najczęściej pojazdy są ładowane niskim prądem metodą plug-in na zajezdni w porze nocnej, natomiast podczas eksploatacji są doładowywane podczas postojów na pętlach. Dzięki takiemu rozwiązaniu autobus może wykonać więcej kilometrów w

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

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

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

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. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast

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

Źródło: Opracowanie własne

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

autobusów (z możliwością ładowania za pomocą pantografu):

- MINI – 1,8 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 wyłącznie metodą plug-in

Koszt zakupu ładowarek plug-in jest stosunkowo niski – koszt jednego urządzenia to około 130 000 zł netto. W celu efektywnego ładowania pojazdów zwykle wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek, zwykle jednej na

pojazd (dla urządzeń jedno stanowiskowych) 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) 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 o takiej długości.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	0	3	39	5	10	57
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe			20		8	28
Przyrost liczby brygad w ruchu			2			2
Liczba brygad w ruchu		3	59	5	18	85

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy pozwalają na obsługę autobusami elektrycznymi akumulatorowymi 28 brygad – 20 obsługiwanych autobusami klasy MAXI oraz 8 autobusami klasy MEGA18.

Do obsługi przewozów łącznie będą potrzebne 103 pojazdy – o 2 więcej niż w planie od 2022 r., w tym 32 autobusy z napędem elektrycznym (31%). Rozwiązanie to pozwoli osiągnąć

ustawowy wymóg 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie zatem o 5 sztuk – z poziomu 80 brygad do 85 brygad w dzień roboczy szkolny z powodu zdublowania pojedynczej brygady na dwa autobusy. Przyrost liczby posiadanych autobusów wynika z ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych, który nie pozwala na wymianę autobusów spalinowych w stosunku 1:1.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe		3	52	5	11	71
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe			23		9	32
Stan taboru		3	75	5	20	103
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	0%	100%	71%	100%	91%	77%

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	87%	0%	89%	88%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	31%	0%	45%	31%

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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



Rys. 4.3 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 oraz analiza wielokryterialna linii. Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, oprócz budowy stacji wolnego ładowania na terenie zajezdni, zakłada budowę ładowarek na terenie miasta w wybranych

lokalizacjach. W analizie przyjęto następujące założenia:

- preferowane linie z przeznaczeniem do elektryfikacji zdefiniowano tak, aby w godzinach szczytów łączna liczba kursujących na nich brygad była zbliżona do wymaganej liczby autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora zgodnie z planowanym stanem od 2022 r., przy założeniu, że wskaźnik wykorzystania

autobusów elektrycznych akumulatorowych będzie wynosił w dzień roboczy 90%,

- ściśle oceniono długości postojów na krańcach w przedstawionych kluczowych porach poszczególnych typów dni, które dla określonych linii powinny zostać odpowiednio wydłużone, zakładając konieczność zachowania odpowiedniej rezerwy czasowej na doładowywanie autobusów,
- założono, że trasy nie będą modyfikowane, a niewykorzystywane autobusy elektryczne akumulatorowe poza godzinami szczytów komunikacyjnych będą kierowane do obsługi innych linii,
- dla zmaksymalizowania korzyści wynikających z niższych kosztów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych akumulatorowych, założono, że będą one silniej eksploatowane od autobusów spalinowych, pomimo konieczności wydłużenia przerw międzykursowych na doładowanie akumulatorów; założono, że nawet jeśli zwiększy się liczba pojazdów w ruchu przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny w ruchu będzie wyższa o 15% (do poziomu ok. 70 tys. rocznie) w porównaniu do użytkowanych pozostałych autobusów spalinowych.

W celu wyboru optymalnych linii do elektryfikacji, przeprowadzona została analiza wielokryterialna, uwzględniająca aspekty techniczno – eksploatacyjne oraz społeczne, zgodnie z którymi:

- przyjęto, że preferowane do elektryfikacji są linie z niższymi prędkościami komunikacyjnymi oraz przebiegające przez:
 - zabytkowe centrum miasta,
 - największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,

- węzły przesiadkowe o charakterze lokalnym lub międzyregionalnym,

- preferowane są linie, których większość trasy znajduje się w granicach administracyjnych miejscowości o statusie miejskim,
- lokalizacja infrastruktury szybkiego ładowania wyznaczona zostanie z pominięciem krańców położonych na terenach prywatnych oraz poza granicami Miasta Opolu, w związku z czym preferowane są linie z krańcami zlokalizowanymi na terenach gminy – organizatora,
- najwyższe oceny otrzymały linie, których częstotliwości kursowania w ciągu dnia nie ulegają większej zmianie lub nie są uruchamiane dodatkowe brygady dla zachowania postojów wyrównawczych,
- wyżej ocenione zostały linie posiadające co najmniej 1 kraniec, na którym kończą bieg wszystkie kursy oraz posiadające wspólny kraniec z innymi liniami,
- preferowane są linie, które są obsługiwane przez typy autobusów przeznaczonych do wymiany oraz z jednym dominującym typem taboru,
- preferowane są linie, które są obsługiwane przez typy wielkościowe autobusów elektrycznych dostępnych na rynku – niższą ocenę otrzymały linie obsługiwane przez autobusy typu MEGA15,
- wyższą ocenę otrzymały linie obsługiwane przez brygady niekursujące na innych liniach w szczytach przewozowych,
- preferowano linie, na których po elektryfikacji nie wzrośnie liczba brygad w ruchu,
- preferowane są linie, które poruszają się odcinkami z priorytetami dla pojazdów transportu publicznego.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej elektryfikacji wybrano linie: 3, 7, 14, 15 i 25, natomiast częściowej elektryfikacji podlegać

będą linie 9, 11, 13 oraz 21. Założono, że uzupełniając autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały linie 5 i 18 w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na

autobusy na liniach całkowicie lub częściowo zelektryfikowanych.

Tab. 4.8 Wyniki analizy wielokryterialnej wyboru linii przeznaczonych do obsługi autobusy elektryczne akumulatorowe ładowanych ładowarkami plug-in i pantografami

Aspekt	3	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	21	25	28	80
Techniczno - eksploatacyjny	3,15	2,31	3,36	1,89	2,21	2,66	3,12	1,79	2,24	3,15	2,84	2,91	2,42	2,42	2,63	3,43	2,66	1,96
Społeczny	1,32	1,50	1,26	0,96	1,50	1,14	1,14	1,32	1,50	1,14	1,50	0,96	1,44	1,44	1,14	1,32	1,26	0,30
Suma ocen	4,47	3,81	4,62	2,85	3,71	3,80	4,26	3,11	3,74	4,29	4,34	3,87	3,86	3,86	3,77	4,75	3,92	2,26

Źródło: Opracowanie własne

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

- 2 ładowarki na pętli „Prószkowska - Politechnika”,
- 1 ładowarka na pętli „Pużaka”,
- 1 ładowarka na pętli „Wschodnia”,
- 1 ładowarka na pętli „Witosa - Wygonowa”.

Do zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na elektryfikowanych liniach niezbędnych będzie 5 stacji szybkiego ładowania, dedykowanych dla 28 autobusów elektrycznych w ruchu.

Należy wyraźnie zaznaczyć, iż elektryfikacja linii 3 i 7 jest uwarunkowana dostosowaniem przejazdu pod wiaduktem na ul. Luboszyckiej, który obecnie cechuje się ograniczeniem maksymalnej wysokości pojazdów do 3,0 m.

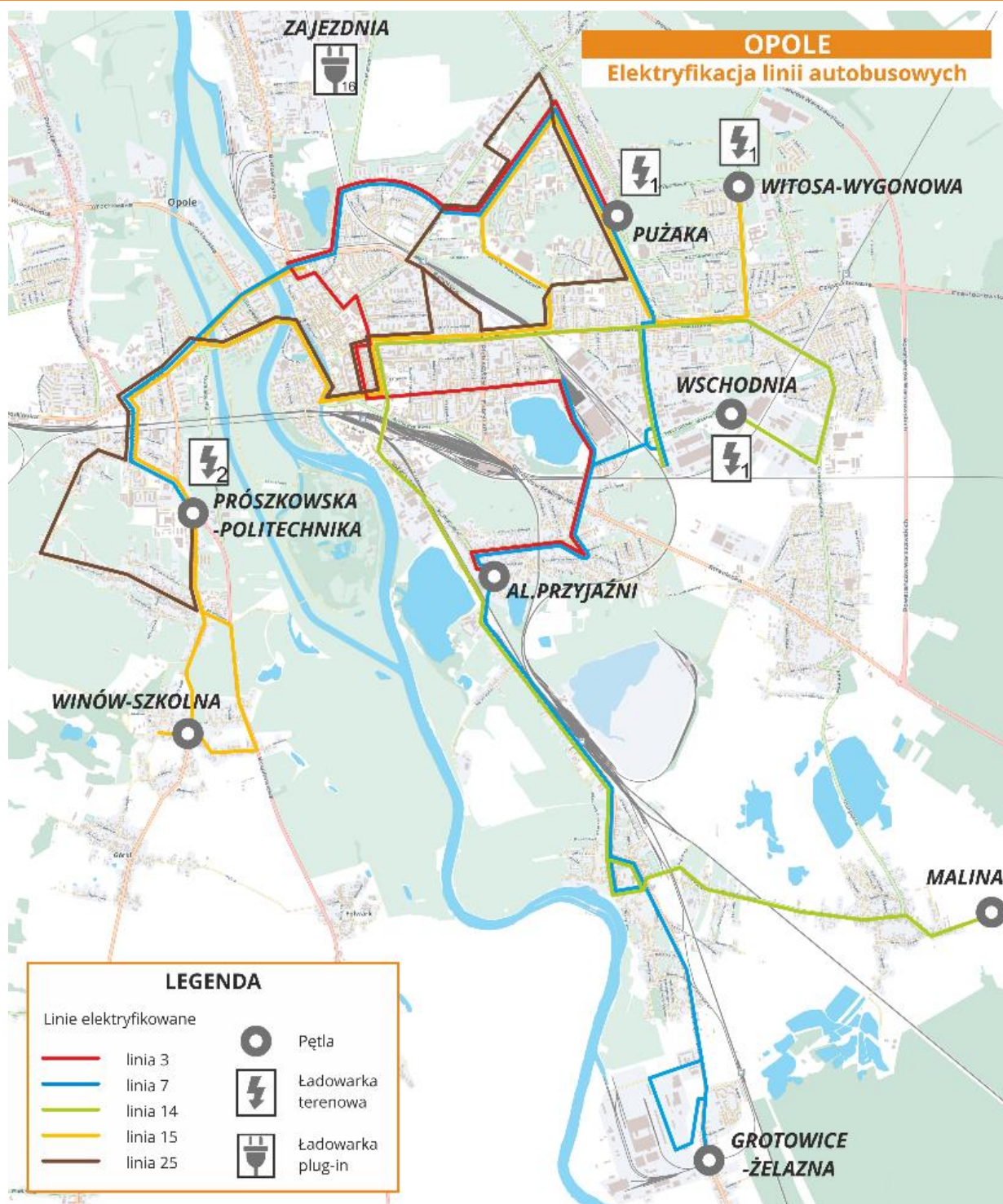
Jedną z wybranych linii do elektryfikacji jest linia 15, na której obecnie w dni robocze większość

kursów obsługiwana jest przez autobusy typu MEGA18, wyprodukowane w 2018 r. Uwzględniając istniejącą strukturę taboru MEGA18, elektryfikacja linii 15 powinna nastąpić w ostatniej kolejności.



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

Źródło: Zbiory własne



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

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 3, 7, 14, 15 oraz 25 obecnie obsługuje maksymalnie 25 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 3 sztuki z uwagi na konieczność wydłużenia wybranych postojów wyrównawczych na doładowanie pojazdów przy użyciu ładowarki

pantografowej. Liczba autobusów w ruchu w sztuki – z poziomu 80 brygad do 83 brygad w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie zatem o 3 dzień roboczy szkolny.

Tab. 4.9 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA 15	MEGA 18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe		3	37	5	10	55
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:			23		5	28
w tym na linii 3			7			
w tym na linii 7			4			
w tym na linii 14			4			
w tym na linii 15			4		5	
w tym na linii 25			4			
Przyrost liczby brygad w ruchu			2		1	3
Liczba brygad w ruchu		3	60	5	15	83

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 ładowarkę pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 101 pojazdów, w tym 31 autobusów o napędzie elektrycznym (31%). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych dla obecnego ilostanu operatora (31 sztuk stanowiących 31% spośród 101 użytkowanych pojazdów).

Tab. 4.10 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu

Wariant W3	MINI	MIDI	MAXI	MEGA 15	MEGA 18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe		3	51	5	11	70
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe			26		5	31
Stan taboru		3	77	5	16	101
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych		100%	73%	100%	91%	79%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych		%	88%	%	100%	90%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych		%	34%	%	31%	31%

Źródło: Opracowanie własne

4.3 Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów

4.3.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów

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

z podstacji o mocy 1-2 MW, rozmieszczonych od siebie w odległościach 2-4 km. Obecnie najbardziej popularnymi pojazdami w polskich systemach trolejbusowych są pojazdy produkcji krajowej w wersji 12 i 18 metrowej. W ostatnim czasie w Gdyni i w Lublinie dokonano zakupu trolejbusów z bateriami litowo-tytanowymi o mocy co najmniej 55 kWh, w celu obsługi odcinka bez sieci trakcyjnej. Baterie mają pozwolić na przejechanie odcinka o

długości 10-20 kilometrów. Wspomniane rozwiązanie daje możliwość obsługi obszarów, na których nie ma trolejbusowej sieci trakcyjnej. Kolejną zaletą jest możliwość awaryjnej zmiany trasy, podczas gdy występują utrudnienia na trasie linii trolejbusowej (remonty ulic i infrastruktury, wypadki drogowe, wyznaczone objazdy). Eliminuje to konieczność organizacji i ponoszenia kosztów na zastępczą komunikację autobusową w przypadku utrudnień.

4.3.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 r. w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup 15 sztuk trolejbusów klasy MEGA18. Trolejbusy będą posiadały klimatyzację, system monitoringu, biletomaty, bramki zliczające oraz port USB w przestrzeni pasażerskiej. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²⁵. W 2018 r., także w Lublinie, przeprowadzono postępowanie na zakup taboru – 10 szt. trolejbusów klasy MAXI. Wymogi dotyczące wyposażenia pojazdów były podobne, jak w postępowaniu przeprowadzonym w 2018 r.

Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 70 kWh, a koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 2,17 mln zł brutto²⁶. W Gdyni w 2018 r. zakupiono 14 sztuk trolejbusów MAXI z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 typu MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy trolejbus przegubowy kosztował 3,15 mln zł brutto²⁷. Zakupu nowego taboru dokonano także w trzecim systemie trolejbusowym – w Tychach, gdzie rozpisano przetarg na dostawę trzech pojazdów klasy MAXI z bateriami nie mniejszymi niż 55 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,29 mln zł brutto²⁸.

4.3.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową

W latach 2013-2015 w Lublinie wybudowano za 42 mln zł zajezdnię trolejbusową

na 100 trolejbusów i 25 pojazdów zaplecza technicznego²⁹. W ostatnim czasie dokonano

²⁵ <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obslugi-linii-komunikacji-miejskiej-15-szt-trolejbusow-przegubowych-mega-numer-sprawy-dz-381-516/> (dostęp: 10.07.2018)

²⁶ <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obslugi-linii-komunikacji-miejskiej-10-szt-trolejbusow-maxi-numer-referencyjny-dz-381-ue-118/> (dostęp: 10.07.2018)

obslugi-linii-komunikacji-miejskiej-10-szt-trolejbusow-maxi-numer-referencyjny-dz-381-ue-118/ (dostęp: 10.07.2018)

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

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

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

także rozbudowy sieci trakcyjnej. Budowa 2,5 km nowej traktacji (w jedną stronę), podstacji trolejbusowej, przyłączy zasilających na przystankach kosztowała 5,47 mln zł brutto (1,1 mln zł brutto za km)³⁰. W Tychach 1 km (w jedną stronę) traktacji, budowa jednej stacji

transformatorowo – prostownikowej, przebudowa sieci trakcyjnej na jednym skrzyżowaniu z połączeniem projektowanej sieci z istniejącą siecią kosztowała 8,73 mln zł brutto³¹.

4.3.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Opolu

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej powinien wynosić 30%. MZK Opole użytkuje 92 pojazdy (80 pojazdów w ruchu), przy czym park taborowy od 2022 r. zwiększy się do poziomu 101 pojazdów. Zatem MZK powinno posiadać 31 pojazdów zeroemisyjnych (28 w ruchu, zakładając ten sam udział). Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy zakłada się w stosunku 1 do 1. Najbardziej optymalny wariant uruchomienia traktacji trolejbusowej obejmowałby wymianę autobusów kursujących na liniach 5, 9, 11, 13, 15, 17, ponieważ tworzą one wiązki linii na możliwie długich wspólnych odcinkach trasy. Obecnie linie te w szczycie komunikacyjnym obsługiwane są przez łącznie 28 autobusów (18 pojazdów MAXI, 1 pojazd MEGA15 i 7 pojazdów MEGA18). Założono, że trasy wszystkich elektryfikowanych linii nie będą w całości pokryte siecią trakcyjną, gdyż przewidziano odcinkowe kursowanie trolejbusów z napędem pomocniczym. Na linii 5

trolejbusy mogłyby poruszać się z napędem bateryjnym między Pużaka-Pętla i Żytunia Pętla oraz od przystanku Partyzancka-Cmentarna do Wrzoski Pętla. Linie 9 i 13 mogą korzystać z sieci trakcyjnej między Witosy-Wygonowa i Partyzancka-Cmentarna, a linia 11 od Pużaka-Pętla do 1 Maja-Szkoła. Na linii 15 napęd bateryjny może być wykorzystywany od Wójtowa Wieś-Pętla do Winów-Szkolna, a na linii 17 od Witosy-Wygonowa do Częstochowska-Działki. Założono, że wyjazdy z zajezdni mogą odbywać się odcinkiem technicznym przez ul. Luboszycką, Chabrów i Okulickiego. Wprowadzenie trolejbusów wymagać będzie nieznacznych zmian przydziałów pojazdów do brygad, jako że na chwilę obecną stosowane są również służby łączące różne linie, także takie, na których nie jest możliwa obsługa traktacją trolejbusową. W analizowanym wariantcie łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Opolu docelowo może wynieść 55,8km (w tym 1,3 km odcinków jednokierunkowych).

Tab. 4.11 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1,80 mln zł	20	36 000 000 zł
MEGA18	2,05 mln zł	11	22 550 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

³⁰ <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczone/2016/2016-12-14-roboty-budowlane-przetarg-nieograniczony-na-budowe-traktacji-trolejbusowej-w-ul-j.-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al->

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

³¹

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

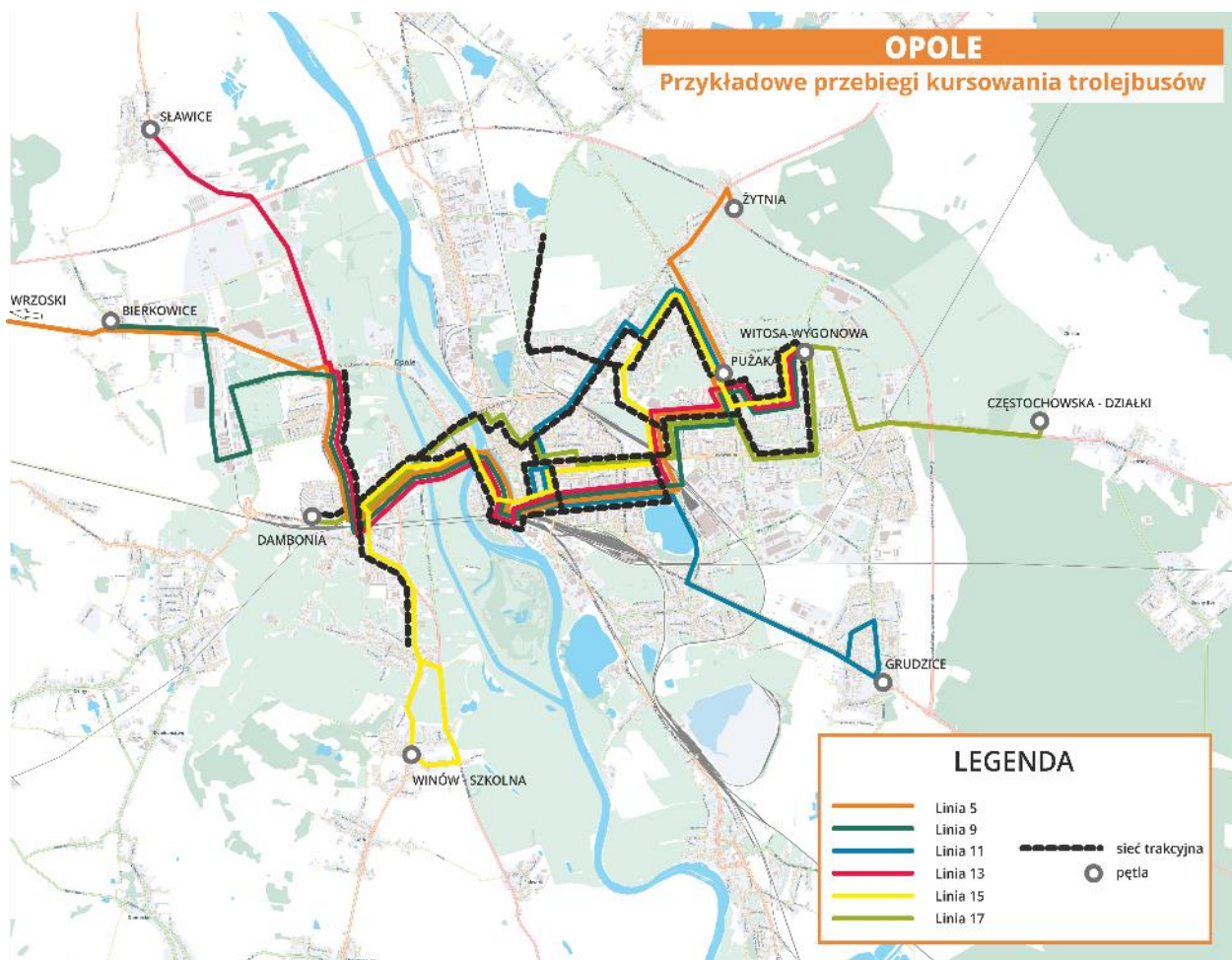
Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebnych będzie 31 trolejbusów (w ruchu 18 pojazdów MAXI i 11 pojazdów MEGA18 oraz 2 pojazdy rezerwowe typu MAXI. Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem komunikacji

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

Tab. 4.12 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	58,55 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	111,60 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	21,00 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	203,35 mln zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.6 Schemat analizowanej sieci trolejbusowej

Źródło: Opracowanie własne

4.4 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów zasilanych gazem CNG lub LNG

4.4.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów zasilanych gazem CNG

Sprężony gaz ziemny (CNG) jest użytkowany na szeroką skalę w transporcie od około 30 lat i obecnie jest najbardziej popularnym paliwem alternatywnym w komunikacji miejskiej. Autobusy zasilane CNG nie są zaliczane do pojazdów zeroemisyjnych, jednakże wprowadzenie pojazdów o takim napędzie pozwala na znaczne ograniczenie niskiej emisji pyłów – PM, tlenków azotu, eliminację związków siarki, a także redukcję hałasu emitowanego przez silnik. Dodatkowym atutem jest możliwość zamontowania osprzętu zaprojektowanego do spalania CNG do silnika spalinowego. Na system składają się reduktor, wtryskiwacze, sterownik oraz wysokociśnieniowy zbiornik do przechowywania gazu. Na rynku obecne są także mało popularne autobusy hybrydowe z silnikiem zasilanym sprężonym gazem ziemnym oraz pojazdy napędzane sprężonym biometanem.

Z doświadczeń operatorów komunikacji miejskiej, posiadających pojazdy zasilane CNG, wynika, że oszczędności w tankowaniu wynoszą około 10% względem oleju napędowego (oszczędności były jeszcze większe (o 36%) w latach 2007-2012, kiedy gaz ziemny nie był objęty akcyzą). W dniu 08.08.2018 r., została podpisana przez Prezydenta RP nowelizacja

ustawy o akcyzie i Prawie celnym, która przewiduje wprowadzenie zerowej stawki akcyzy na sprężony gaz ziemny (CNG).³². Operatorzy podkreślają również mniejszą złożoność silnika, która powoduje niższe koszty napraw oraz wysoki wskaźnik wykorzystania taboru. Zasięg pojazdów zasilanych CNG wynosi 350-400 km³³.

Do wdrożenia rozwiązania konieczna jest budowa infrastruktury do tankowania pojazdów, co wiąże się z dodatkowymi nakładami inwestycyjnymi oraz kosztami eksploatacji. Warto podkreślić, że przy podpisaniu długoterminowej umowy na dostawę gazu, dostawcy są skłonni partycypować lub nawet pokryć całość kosztów na budowę infrastruktury.

W pierwszym kwartale 2018 r. w polskich miastach jeździło 349 autobusów zasilanych gazem CNG, planowany jest zakup kolejnych 71. Na rynku polskim autobusy zasilane CNG oferują: AUTOSAN sp. z o.o., MAN Truck&Bus, Mercedes-Benz Polska Sp. z o.o., Scania Polska S.A., Solaris Bus & Coach S.A., Iveco Ltd., SOR Poland sp. z o.o.

4.4.2 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych i koszty inwestycyjne autobusów zasilanych gazem LNG

Skroplony gaz ziemny (LNG) zyskuje coraz większą popularność w transporcie, jednak

najszerze zastosowanie znajduje w transporcie ciężarowym niż w komunikacji miejskiej.

³² http://infobus.pl/zerowa-akcyza-na-cng-z-podpisem-prezydenta_more_107463.html (dostęp: 20.08.2018)

³³ Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej, PSPA, IGKM, Warszawa 2018

Autobusy zasilane LNG nie są zaliczane do pojazdów zeroemisyjnych, jednakże podobnie jak przy autobusach CNG, ich wprowadzenie pozwala na znaczne ograniczenie niskiej emisji pyłów, a także redukcję hałasu emitowanego przez silnik. Do wdrożenia rozwiązania konieczny jest transport cysternami oraz składowanie skroplonego gazu ziemnego, które wymaga kriogenicznych zbiorników zapewniające temperaturę -162°C . Rozwój tego segmentu autobusu w Polsce jest głównie ograniczony przez wysoki koszt budowy zbiorników, a także konieczność współpracy z dostawcą, który umożliwi tankowanie pojazdów. Wdrożenie systemu tankowania dla LNG pozwala na rozszerzenie go niewielkim kosztem o tankowanie pojazdów CNG.

Pojazdy zasilane LNG różnią się od autobusów zasilanych CNG jedynie pod względem przechowywania (posiadają lżejsze i znacznie mniejsze zbiorniki), tankowania (krótszy czas tankowania – podobny jak w przypadku oleju napędowego) i dostarczania paliwa. Pozwala to na wydłużenie zasięgu, który w przypadku autobusów LNG wynosi 500-550 km³⁴. Warto dodać, że podpisana przez Prezydenta RP nowelizacja ustawy o akcyzie i Prawie celnym, przewiduje też wprowadzenie zerowej stawki akcyzy na skroplony gaz ziemny (LNG).

W pierwszym kwartale 2018 r. w polskich miastach jeździło 47 autobusów (w Warszawie i Olsztynie) zasilanych gazem LNG. Koszt zakupu 35 autobusów MEGA18 z 10-letnim kontraktem na dostawę gazu wyniósł 114 mln zł³⁵.

4.4.3 Koszty inwestycyjne zakupu taboru zasilanego CNG

W 2017 roku w Tarnowie przeprowadzono przetarg na zakup 21 autobusów niskoemisyjnych napędzanych CNG klasy MAXI. Koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 1,27 mln zł brutto³⁶. W Kostrzynie Wielkopolskim zakup 4 autobusów klasy MAXI kosztował 5,34 mln zł brutto³⁷. W 2017 roku odbył się także przetarg w Przemyśle na 2 autobusy klasy MAXI. Wartość zamówienia wyniosła 2,38 mln zł brutto. W 2018 roku Miejskie Zakłady Autobusowe

w Warszawie podpisały umowę na dostawę 80 autobusów zasilanych CNG – w tym 30 klasy MAXI i 50 klasy MEGA18. Wartość zamówienia wyniosła 132,3 mln zł brutto³⁸. W Tychach w ostatnim czasie rozpisano przetarg na 10 pojazdów klasy MIDI. Koszt pojedynczego pojazdu w tym przetargu wyniósł 0,86 mln zł brutto³⁹.

³⁴ Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej, PSPA, IGKM, Warszawa 2018

³⁵ <http://www.elektroonline.pl/news/7897,Warszawa-inwestuje-w-autobusy-zasilane-pradem-i-LNG> (dostęp: 31.08.2018)

³⁶ <http://www.mpk.tarnow.pl/pl/przetargi/2017-08-08/dostawa-21-sztuk-fabrycznie-nowych-autobusow-niskopodlogowych-ekologicznych-niskoemisyjnych-zasilanych-gazem-ziemnym-sprezonym-cng->

[przeznaczonych-do-komunikacji-miejskiej-w-mpk-spolka-z-o-o-w-tarnowie](#) (dostęp: 30.07.2018)

³⁷ http://infobus.pl/solaris-z-umowa-w-kostrzynie-wielkopolskim-4-x-nowy-urbino-12-cng-more_100586.html (dostęp: 30.07.2018)

³⁸ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/mza-warszawa-wybiera-gazowe-autobusy-mana-58373.html> (dostęp: 30.07.2018)

³⁹ http://www.infobus.pl/pkm-tychy-wybral-gazowe-minibusy-od-mmj-more_106997.html (dostęp: 30.07.2018)

4.4.4 Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów napędzanych CNG

W 2016 roku w Częstochowie otwarto nową stację tankowania CNG. Przy rozstrzygnięciu postępowania na budowę stacji zakontraktowano dostawę gazu na ok. 16 mln m³. Łączny koszt dostaw i budowy wyniósł 52

mln zł⁴⁰. Według raportu Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych szacunkowy koszt utworzenia stacji CNG wynosi 300 tys. euro.

4.4.5 Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem CNG w Opolu

Wdrożenie autobusów zasilanych gazem CNG w Opolu wiązałoby się z budową nowej stacji (najbliższe stacje znajdują się we Wrocławiu i Zabrzu). Zaletą tych autobusów jest duży zasięg, który pozwala obsłużyć dowolną linię w całej sieci komunikacyjnej. Kwotę wyliczono przy założeniu, że w kolejnych latach aktualnie użytkowane autobusy byłyby tylko wymieniane na autobusy tankowane gazem ziemnym. Korzyścią przy wdrożeniu tego rozwiązania jest

także ograniczenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery względem autobusów o napędzie konwencjonalnym. Jednak warto dodać, że w myśl ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, autobusy CNG nie są zaliczane do pojazdów zeroemisyjnych. Ich wdrożenie nie pozwoli na wypełnienie wymogów ustawy, skutkując koniecznością wprowadzenia innych rozwiązań w celu jej spełnienia.

4.4.6 Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem LNG w Opolu

Wprowadzenie autobusów napędzanych LNG w Opolu, podobnie jak w przypadku autobusów napędzanych CNG wiązałoby się z budową nowej infrastruktury (zbiornik kriogeniczny, stanowisko tankowania). Zaletą tych autobusów jest także duży zasięg oraz ograniczenie emisji hałasu i szkodliwych gazów do atmosfery względem autobusów o napędzie konwencjonalnym. Autobusy LNG również nie są zaliczane do pojazdów zeroemisyjnych. Ich wdrożenie nie pozwoli na wypełnienie wymogów ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, skutkując koniecznością wprowadzenia innych rozwiązań w celu jej spełnienia.

Rozważając scenariusz oparty o wymianę taboru na autobusy spalinowe uzupełniane o autobusy inne niż zeroemisyjne, analizie poddano wprowadzenie autobusów zasilanych CNG/LNG. Przewidziano wprowadzenie 5 autobusów MEGA18 oraz 26 autobusów MAXI, co oznacza że łączna liczba autobusów zasilanych CNG/LNG stanowić będzie 30% floty do obsługi opolskiej komunikacji miejskiej od 2022 r. Wymianę pojazdów założono w stosunku 1 do 1 w odniesieniu do stanu autobusów konwencjonalnych od 2022 r. Jednostkowe ceny autobusów oraz koszt infrastruktury potrzebnej do obsługi pojazdów został oszacowany wykorzystując obecne ceny rynkowe. Na

⁴⁰<http://silesiainfotransport.pl/blog/2016/10/26/najnowocześniejsza-w-polsce-stacja-cng/> (dostęp: 30.07.2018)

potrzeby analizy przyjęto koszt netto autobusu 1,05 mln zł, natomiast autobusu MEGA18 jako MAXI zasilanego gazem ziemnym na poziomie 1,50 mln zł.

Tab. 4.13 Koszty wdrożenia autobusów zasilanych CNG/LNG

Wyszczególnienie	Wartość netto inwestycji
Zakup taboru CNG/ LNG	34,80 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów CNG/ LNG	1,00 mln zł
Stacja tankowania CNG	1,28 mln zł
Stacja tankowania LNG	1,66 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne - CNG	37,08 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne - LNG	37,46 mln zł

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 emisji spalin 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 MEGA15 – na potrzeby analizy przyjęto, że pojedynczy pojazd kosztuje 1,05 mln zł netto (zgodnie z relacją ceny autobusu typu MEGA15 do MAXI we wcześniejszych latach).

Tab. 4.14 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MAXI	26	0,95 mln zł	24 700 000
MEGA18	5	1,40 mln zł	7 000 000
Koszt całkowity inwestycji:			31 700 000

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 taboru i możliwość używania pojazdów na innych liniach,

■ społeczny

- liczba potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taboru,

- potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym,

■ dostępność technologiczna

- dostępność rozwiązania technologicznego w Polsce

■ środowiskowy

- emisja spalin,
- emisja hałasu,

■ ekonomiczno-finansowy

- koszt wprowadzenia rozwiązania.

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

Tab. 4.15 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 taboru	0,45		
2.1	Społeczny	liczbę potencjalnych pasażerów obsługiwanych linii wybranym typem taboru	0,70	1,00	0,1
2.2		potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym	0,30		
3.1	Dostępność technologiczna	dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	1,00	0,2

l.p.	Aspekt		Waga aspektów szczegółowych		Waga aspektu
			Częstkowa	Łączna	
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.

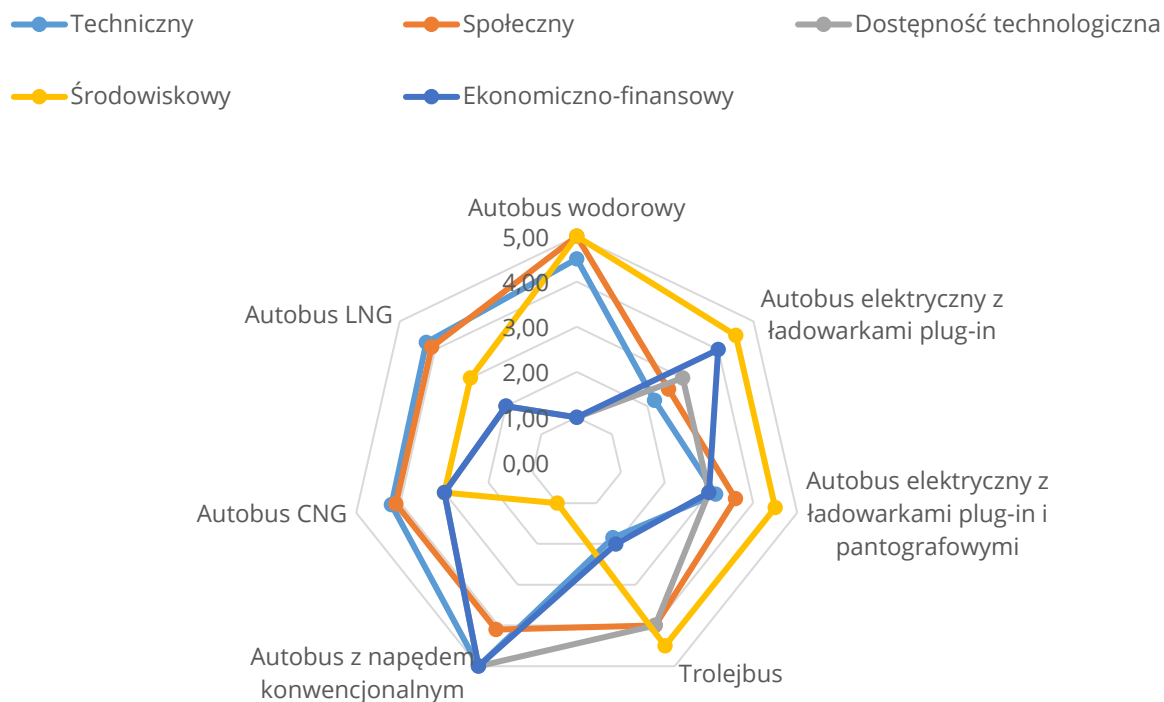
Tab. 4.16 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

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	Autobus CNG	Autobus LNG
łatwość wprowadzenia	3,00	4,00	3,00	2,00	5,00	3,00	2,00
zasięg	5,00	1,00	2,00	3,00	5,00	4,00	5,00
elastyczność zarządzania taboru	5,00	2,00	4,00	1,00	5,00	5,00	5,00
liczbę potencjalnych pasażerów obsługiwanych linii wybranym typem taboru	5,00	2,00	3,00	4,00	5,00	5,00	5,00
potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania	5,00	4,00	5,00	4,00	2,00	2,00	2,00
dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00	3,00	2,00
emisja spalin	5,00	4,00	4,00	4,00	1,00	3,00	3,00
emisja hałasu	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	3,00	3,00
koszt wprowadzenia	1,00	4,00	3,00	2,00	5,00	3,00	2,00

Źródło: Opracowanie własne

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

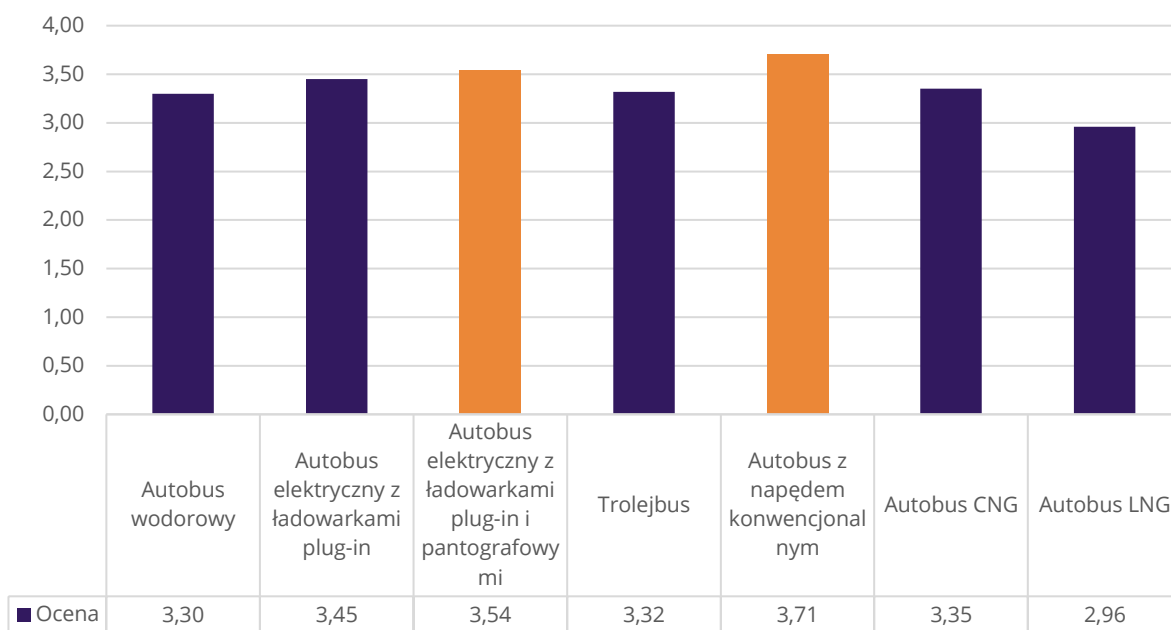
Ocena wariantów w poszczególnych aspektach



Rys. 4.7 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.8 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie ocen wyboru wariantów poprzez obliczenie iloczynu ocen wariantów w aspektach szczegółowych z wagami ocen aspektów. **Najlepszym wariantem z minimalną przewagą okazały się autobusy z napędem konwencjonalnym z oceną na poziomie 3,71. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 3,54. 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. 4.17 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w opolskiej komunikacji miejskiej.

W0	W1
Odnowa floty w oparciu o autobusy konwencjonalne	Wprowadzenie do eksploatacji 31 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych Całościowo elektryfikowane linie: 3, 7, 14, 15 i 25, Częściowo elektryfikowane linie: 9, 11, 13 oraz 21, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 5 i 18, Budowa 16 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 5 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania na pętli Prószkowska Politechnika (2 szt.), Pużaka (1 szt.), Witosa - Wygonowa (1 szt.) oraz Wschodnia (1 szt.) Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe

Źródło: Opracowanie własne

5 Analiza finansowa

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

5.1 Założenia i metodyka analizy finansowej

- Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji.
- Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego, danymi z dokumentacji technicznej, kosztorysów oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.
- Analiza została przeprowadzona na lata 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 2017 r. z usług opolskiej komunikacji miejskiej skorzystało łącznie 15,53 mln pasażerów⁴¹.
- Autobusy elektryczne akumulatorowe realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 15% do poziomu ok. 70 tys. wzkkm, kosztem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów.

5.2 Nakłady inwestycyjne

Koszty inwestycyjne zostały oszacowane w oparciu o analizę rynku oraz wiedzę ekspercką osób przeprowadzających analizę. Wszystkie nakłady inwestycyjne zostały podane w kwotach netto. Założono, że lata inwestycji będą zbieżne

z okresami przejściowymi w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych (inwestycje w roku poprzedzającym wejście kolejnego prognozy). Dodatkowo przyjęto założenie, że 1 ładowarka wolnego ładowania przypada na

⁴¹ Źródło: *Biuletyn IGKM „Komunikacja miejska w liczbach” za rok 2017*

2 autobusy (w przypadku nieparzystej liczby autobusów wartość zaokrąglono w górę). Większa liczba zakupionych autobusów wynika z ograniczonego zasięgu autobusów.

Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1

Wariant W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 5 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2020	11 000 000 zł
Budowa 3 ładowarek wolnego ładowania	2020	390 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Prószkowska Politechnika	2020	950 000 zł
Przygotowanie infrastruktury energetycznej na zajezdni (wykonanie odpowiedniego projektu infrastruktury, stacja trafo, wykonanie okablowania wraz z przepustami pod placami parkingowymi)	2020	600 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	13 200 000 zł
Budowa 3 ładowarek wolnego ładowania	2022	390 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowych razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Wschodnia Pętla oraz Prószkowska Politechnika	2022	1 550 000 zł
Zakup 10 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	22 000 000 zł
Budowa 5 ładowarek wolnego ładowania	2024	650 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Pużaka	2024	950 000 zł
Zakup 5 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m oraz 5 typu MEGA18 o długości 18 m	2027	25 000 000 zł
Budowa 5 ładowarek wolnego ładowania	2027	650 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Witosa Wygonowa	2027	950 000 zł
Suma:		78 280 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

Stopień elektryfikacji linii				
LINIE	2021 r.	2023 r.	2025 r.	2028 r.
3	BRAK	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
7	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA	PEŁNA
14	BRAK	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
15	BRAK	BRAK	BRAK	PEŁNA
25	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

5.3 Wartość nakładów odtworzeniowych

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

Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.3. Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatora stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2030 roku ich cena spadnie o 25% względem dzisiejszej. W Tab. 5.4 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w W0 i W1.

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych

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

Źródło: Opracowanie własne

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

Rok	2018	2019	2020	2021	2022
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	21 550 000,00	8 550 000,00	0,00	1 370 000,00	0,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	21 550 000,00	8 550 000,00	0,00	1 370 000,00	0,00
Różnica w zł	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Rok	2023	2024	2025	2026	2027
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	3 040 000,00	1 235 000,00	4 750 000,00	20 370 000,00	5 250 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	0,00	0,00	0,00	12 770 000,00	5 250 000,00
Różnica w zł	- 3 040 000,00	- 1 235 000,00	- 4 750 000,00	- 7 600 000,00	0,00

Rok	2028	2029	2030	2031	2032
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	22 690 000,00	42 185 000,00	0,00	1 370 000,00	0,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	13 300 000,00	42 200 000,00	4 560 000,00	1 370 000,00	5 700 000,00
Różnica w zł	-9 390 000,00	15 000,00	4 560 000,00	0,00	5 700 000,00

Rok	2033	2034	2035	2036	2037
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	3 040 000,00	1 235 000,00	4 750 000,00	20 370 000,00	5 250 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	0,00	0,00	18 050 000,00	12 770 000,00	18 450 000,00
Różnica w zł	- 3 040 000,00	- 1 235 000,00	13 300 000,00	- 7 600 000,00	13 200 000,00

Rok	2038	2039	2040	2041	2042
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	22 690 000,00	42 185 000,00	0,00	1 370 000,00	0,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	9 500 000,00	64 200 000,00	0,00	1 370 000,00	25 000 000,00
Różnica w zł	-13 190 000,00	22 015 000,00	0,00	0,00	25 000 000,00

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

Wyszczególnienie	Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2018-2042
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	233 250 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	265 960 000,00
Zmiana (W1 – W0)	32 710 000,00

Źródło: Opracowanie własne

5.4 Prognoza kosztów operacyjnych wariantów

Do kosztów operacyjnych zaliczono wszystkie koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów elektrycznych akumulatorowych w wariantach W1. Analizę przeprowadzono z podziałem na warianty oraz rozróżnieniem na poszczególne

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

Tab. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
Koszt zużycia materiałów i części zamiennych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr. Założono, że koszt ten jest niższy o 30% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych
Koszt zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszt zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszt zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiada mniej płynów eksploatacyjnych niż autobus o napędzie konwencjonalnym
Średnie spalanie ON	Na podstawie danych od przewoźnika. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od przewoźnika. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 01.10.2018	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 01.10.2018
Średnie zużycie energii	Nie dotyczy	Na podstawie doświadczeń innych operatorów. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.
Zużycie energii	Nie dotyczy	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh i według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika Tauron Sprzedaż oraz Dystrybucja
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr
Koszt napraw	Koszt napraw wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszt napraw wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%, dla infrastruktury energetycznej – 5%, dla stacji ładowania – 10%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale NR XXXI/565/16 RADY MIASTA OPOLA z dnia 29 września 2016 r.	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale NR XXXI/565/16 RADY MIASTA OPOLA z dnia 29 września 2016 r. w sprawie podatku od środków transportowych na terenie miasta Opola

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
	w sprawie podatku od środków transportowych na terenie miasta Opola	
Ubezpieczenia	Koszt ubezpieczenia oszacowano na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na pojazd	Koszt ubezpieczenia oszacowano na podstawie ksiąg rachunkowych z 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na pojazd
Koszt wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Nie dotyczy	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

5.5 Wartość rezydualna

W ostatnim roku analizy wyznaczono wartość rezydualną inwestycji jako wartość aktywów

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

Tab. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1

Wariant W1	
Wartość rezydualna w zł	33 800 000,00
Umorzenie środków trwałych w zł	113 930 000,00
Wartość netto środków trwałych w zł	147 730 000,00

Źródło: Opracowanie własne

5.6 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru

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

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,

- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

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

Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego

Kategoria	Wariant W1
FNPV/C	- 50 188 453,64
FRR/C	-20%

Źródło: Opracowanie własne

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

przyszłych przychodów nie pokrywa bieżącej wartości kosztów projektu.

Niewątpliwie największy wpływ na ujemną wartość wskaźnika FNPV/C mają znacznie wyższe wartości nakładów inwestycyjnych w W1,

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

Wielkość kosztów operacyjnych w wariantcie W1 będzie niższa, dzięki oszczędnościom wynikającym z niższych kosztów napraw, części zamiennych oraz przede wszystkim z tytułu niższych kosztów zużycia energii elektrycznej w porównaniu do kosztów zużycia oleju napędowego w autobusach spalinowych. Obliczono także lukę finansową jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik wyniósł 68% i oznacza najwyższy poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji w autobusy zeroemisyjne.

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż elektryfikacja komunikacji miejskiej w Opolu

zaplanowana w wariantcie W1 nie wpłynie na zaburzenie stabilności finansowej Miasta Opolu w całym okresie analizy. Nie zostanie przekroczony poziom:

- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określonego w art. 243 Ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych, po uwzględnieniu zobowiązań związku współtworzonego przez jednostkę samorządu terytorialnego oraz po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń, obliczonego w oparciu o plan 3 kwartałów roku poprzedzającego rok budżetowy,
- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określony w art. 243 ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych, po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń w oparciu o wykonanie roku poprzedzającego pierwszy rok prognozy (wskaźnik ustalony w oparciu o średnią arytmetyczną z 3 poprzednich lat).

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

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

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

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

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

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

Emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, wywołując silne i przewlekłe choroby nawet ze skutkiem śmiertelnym. Emisja cząstek stałych PM 2,5, PM 10 prowadzi do⁴²:

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

Emitowanie tlenków azotu wywołuje choroby ze skutkiem śmiertelnym oraz w szczególności choroby układu oddechowego i sercowo – naczyniowego. Wpływa negatywnie na zdrowie

dzieci, powodując astmę, białaczkę, ograniczony wzrost płuc.

Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

- 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.

Niemniej jednak, należy zaznaczyć, iż eksploatacja autobusów elektrycznych

akumulatorowych wiąże się z ograniczeniem niskiej emisji, która w niniejszym opracowaniu definiowana jest jako emisja lokalna.

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

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

Związek chemiczny	W0	W1	Zmiana
	Wielkość emisji	Wielkość emisji	
SO ₂	-	42,02	42,02
NO _x	435,64	383,68	- 51,96
PM 2,5	7,80	8,71	0,91
NHMC/NMVOC	112,76	87,50	- 25,27
CO ₂	163 659,27	175 044,98	11 385,71

Źródło: Opracowanie własne

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż w wyniku realizacji wariantu W1 redukcja emisji dotknie tlenki azotu NO_x (o 51,96 Mg) oraz metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 25,27 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 nieznaczniemu zwiększeniu.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że udział odnawialnych źródeł energii stale wzrasta, co warunkuje przede wszystkim Dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii (2009/28/WE), określająca udział ich udział w strukturze wytwarzania energii elektrycznej na poziomie 20% w 2020 r. Dlatego też przewiduje się, iż wskaźniki emisyjności dla pojazdów elektrycznych akumulatorowych w najbliższych latach ulegną poprawie.

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

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

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

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

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu 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 ciepłne, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,
- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla dwutlenku siarki SO₂, przewidywanych tylko

dla autobusów elektrycznych w wariantcie W1, które są wytwarzane podczas produkcji energii elektrycznej,

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

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

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA

z 2014 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2016 rok, wskaźniki emisyjności SO₂, NO_x, PM_{2,5} w Polsce obniżyły się w latach 2014 – 2016 odpowiednio o 46,3%, 19,0% i 15,6%. Dlatego też na potrzeby niniejszego dokumentu uwzględniono następujące wartości rzeczywiste z 2016 r. emisji

szkodliwych substancji przy produkcji energii elektrycznej w Polsce:

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

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

Związek chemiczny	W0	W1	W0	W1	Zmiana kosztów zewnętrznych w wyniku realizacji W1
	łączna emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w Mg]		łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w zł]		
SO ₂	-	42,02	- zł	4 776 769,74 zł	4 776 769,74 zł
NO _x	435,64	383,68	39 409 158,12 zł	33 353 114,08 zł	- 6 056 044,03 zł
PM 2,5	7,80	8,71	12 215 327,73 zł	9 754 016,25 zł	- 2 461 311,48 zł
NHMC/NMVOC	112,76	87,50	1 319 451,05 zł	993 444,30 zł	- 326 006,75 zł
CO ₂	163 659,27	175 044,98	34 066 059,89 zł	36 636 116,33 zł	2 570 056,44 zł
SUMA	164 215,47	175 566,88	87 009 996,79 zł	85 513 460,70 zł	- 1 496 536,09 zł

Źródło: Opracowanie własne

Największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na korzyść wariantu W1 przewidującego rozpoczęcie eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, można dostrzec w kosztach emisji tlenków azotu NO_x. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x wynosić będą ok. 6,1 mln zł.

Koszty emisji cząstek stałych PM 2,5 ulegną obniżeniu o ok. 2,5 mln zł, natomiast koszty emisji niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC zostaną ograniczone o ok. 0,3 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji wzrosną o ok.

2,6 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. 4,8 mln zł.

Podsumowując, realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 1,5 mln zł.

7.2 Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym

Hałasem określa się każdy dźwięk, który może doprowadzić do utraty słuchu, albo być szkodliwy dla zdrowia lub niebezpieczny z innych względów, zwykle o dużym natężeniu, niskiej częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak i psychiczny człowieka. Hałas powyżej 85 dB jest

w stanie uszkodzić słuch trwale, natomiast niższy poziom hałasu może oddziaływać w bardzo niekorzystny sposób na psychikę, zwiększać ciśnienie krwi, być źródłem powstawania stresu.

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

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 spalinowych⁴³,
- 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).

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

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

Zmonetyzowany hałas w zł		Zmiana kosztów emitowanego hałasu w zł
W0	W1	
65 996 108,51 zł	60 834 938,09 zł	- 5 161 170,43 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że są znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów elektrycznych w W1 w postaci ok.5,2 mln zł w okresie objętym analizą.

Redukcja pozwoli wyciszyć ogólny hałas generowany w ruchu miejskim przez publiczny

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

7.3 Inne korzyści zewnętrzne

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

autobusów elektrycznych akumulatorowych de facto nie powoduje powstawania lokalnej emisji do niższych warstw atmosfery, co stanowi istotną korzyść dla mieszkańców ośrodków miejskich, w których eksploatowane są pojazdy tego typu. Korzyść tą oszacowano na podstawie różnicy kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji przez autobusy spalinowe, liczoną między wariantem W1

⁴³ "Quieter buses socioeconomic effects", Koucky & Partners A.B, 2014.

(w którym część pracy eksploatacyjnej przez zeroemisyjne autobusy elektryczne autobusów spalinowych będzie wykonywana akumulatorowe) i wariantem W0.

Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2018-2042.

Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w zł		Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji w zł
W0	W1	
87 009 996,79 zł	64 373 463,85 zł	22 636 532,94 zł

Źródło: opracowanie własne

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

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

Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń na przestrzeni lat 2018-2042.

Przyrost poziomu kosztów wynagrodzeń w zł		Zmonetyzowane korzyści społeczne ze zwiększenia zatrudnienia w zł
W0	W1	
-	25 754 400,00 zł	25 754 400,00 zł

Źródło: opracowanie własne

7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

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

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

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

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

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

Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1. **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 ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych we flocie operatora komunikacji miejskiej w Opolu nie jest wymagane.**

Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z zakładanego w analizie poziomu 2 200 000 PLN netto do ok. 1 750 000 PLN netto, a typu MEGA18 z 2 800 000 PLN netto do ok. 2 200 000 PLN netto.

Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	Wartość
ENPV	- 12 368 215,14 zł
ERR (%)	-1%
B/C	0,77

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

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

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

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
		elektromobilności i paliwach alternatywnych.	
Ryzyko finansowe			
R7	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Zaprzestanie prowadzenia programów wspierających rozwój elektromobilności.	Opóźnienie w realizacji projektu lub zaprzestanie wdrażania ze względu na poszukiwanie innych źródeł finansowania lub ich brak.
R8	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Wzrost popytu na autobusy elektryczne i infrastrukturę do ładowania pojazdów oraz rosnący koszt usług budowlanych.	Opóźnienie w realizacji oraz zwiększenie kosztów projektu
R9	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach oraz cykle koniunkturalne	Opóźnienie w realizacji projektu oraz zwiększenie kosztów projektu
Ryzyko klimatyczne			
R10	Zmiana zasięgu autobusu podczas nadzwyczajnych upałów lub mrozów	Pomimo podanych danych eksploatacyjnych dotyczących zasięgu przez producentów taboru (około 160 km), występuje różnica w warunkach ekstremalnych. Pojemność akumulatorów w sezonie zimowym jest mniejsza względem miesięcy letnich, a zasięg jest obniżany przez dodatkowe zużycie energii na ogrzewanie, natomiast w sezonie letnim w związku z uruchamianą klimatyzacją.	Koszty sprowadzenia autobusu do bazy lub punktu ładowania, gdy zostanie przeszacowany zasięg autobusu.

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

Siła oddziaływania na projekt	
Opis	Wartość punktowa
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	Awaryjne stacji wolnego ładowania (ładowarek zajezdniowych)	Przeszkolenie pracowników, wpisanie wymogu minimalnego wskaźnika niezawodności urządzenia	średni

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
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 autobusu 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 opolskiej komunikacji miejskiej powinien spełniać minimalne wymagania określone w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla miasta Opolu. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, nowe pojazdy powinny posiadać:

- niską podłogę,
- rampę dla wózków,
- miejsce na wózek inwalidzki/dziecięcy,
- klimatyzację w części pasażerskiej,
- tapicerka, siedzenia oraz podłoga wykonane z łatwych do czyszczenia materiałów i odpornych na wandalizm,
- elektroniczny wyświetlacz przedni z kierunkiem jazdy i oznaczeniem linii,
- elektroniczny wyświetlacz boczny z prawej strony pojazdu z kierunkiem jazdy i oznaczeniem linii,
- elektroniczny wyświetlacz z tyłu pojazdu z oznaczeniem linii,
- tablice wewnętrzne (numer linii, kierunek, wykaz przystanków lub nazwa kolejnego przystanku),
- głosowe zapowiadanie przystanków,
- zewnętrzne zapowiadanie oznaczenia linii i kierunku jazdy,
- system automatycznej kontroli punktualności z wyświetlaniem w Internecie położenia pojazdu,
- aktualny schemat sieci komunikacji miejskiej organizowanej przez Miasto Opole,
- pojemniki na kolportaż rozkładów jazdy oraz innych informacji według jednolitego wzoru,
- jednolite barwy taboru,
- Internet bezprzewodowy,

Pojazdy wprowadzane do eksploatacji jako autobusy używane, powinny spełniać co

najmniej normę emisji spalin EURO 6. Przy założeniu o wdrażaniu autobusów używanych w wieku około 5 lat do momentu uzyskania 10 lat od produkcji, założenie to zostanie spełnione – począwszy od 2019 r. autobusy 10-letnie będą spełniały normę EURO 5. Autobusy nabywane jako używane będą kierowane wyłącznie do obsługi zadań, których stopień wykorzystania kształtuje się na niskim poziomie, znacząco poniżej średniej dla wszystkich eksploatowanych typów autobusów.

Warto nadmienić, iż struktura wielkościowa taboru nie powinna ulec znaczącym zmianom, gdyż nowe autobusy powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane pojazdy 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. Miasto Opole, 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. **Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z zakładanego w analizie poziomu 2 200 000 PLN netto do ok. 1 750 000 PLN netto, a typu MEGA18 z 2 800 000 PLN netto do ok. 2 200 000 PLN netto.**

Niezależnie od wyników niniejszej analizy, Miasto Opole 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 Opolu.

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 międzygminnego, których obszar liczy łącznie co najmniej 80 000 mieszkańców mają obowiązek sporządzenia planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 roku w sprawie szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w paragrafie 4 określa

szczegółowo zawartość planu transportowego. Wymagania zostały przedstawione w poniższej tabeli razem ze wskazaniami dotyczącymi konieczności aktualizacji planu.

Wyniki niniejszej analizy kosztów i korzyści wskazują, że wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Opolu nie jest zasadne, niemniej jednak przewidziano aktualizację planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego.

Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego

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

Zakres	Konieczność aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	Dotyczy rozdziału 12.: <i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii miejskiego zakładu komunikacyjnego w Opolu, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne:</i> <i>całościowo elektryfikowane linie: 3, 7, 14, 15 i 25</i> <i>częściowo elektryfikowane linie: 9, 11, 13 oraz 21</i> <i>uzupełniając elektryfikowane linie: 5 i 18</i> <i>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i>
geograficzne położenie stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zwanej dalej „infrastrukturą ładowania”	W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana: ■ na terenie zajezdni Miejskiego Zakładu Komunikacyjnego Sp. z o.o., ■ przy pętli autobusowej Prószkowska Politechnika (2 szt.), ■ przy pętli autobusowej Pużaka (1 szt.), ■ przy pętli autobusowej Witosa Wygonowa (1 szt.), ■ przy pętli autobusowej Wschodnia (1 szt.).
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalane z dostawcą energii.
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

11 Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

W celu zapewnienia finansowania inwestycji możliwe jest pozyskanie środków ze źródeł zewnętrznych, takich jak programy krajowe czy unijne. Wskaźnik luki finansowej wyniósł 68%, co oznacza, że tyle może wynieść najwyższy poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji w autobusy zeroemisyjne.

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.



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 będą środki w wysokości po około 1 mld zł rocznie.

Przewiduje się, że w najbliższej perspektywie uruchomione zostaną nowe instrumenty finansowe, których celem będzie rozwój zeroemisyjnego transportu publicznego.

Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017	13
Tab. 3.2 Przebieg tras linii komunikacji miejskiej w Opolu- stan na dzień 12.09.2018 r.	14
Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na 12.09.2018)	20
Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na dzień 12.09.2018)	21
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 12.09.2018)	22
Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2021 roku	22
Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 roku	23
Tab. 3.8 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 roku	23
Tab. 3.9 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 roku	23
Tab. 3.10 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz roczna emisja gazów i substancji szkodliwych (stan na dzień 12.09.2018)	24
Tab. 3.11 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez Operatora (stan na dzień 12.09.2018)	25
Tab. 3.12 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu (stan na dzień 12.09.2018)	29
Tab. 3.13 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny (stan na dzień 12.09.2018)	33
Tab. 3.14 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów	33
Tab. 3.15 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny	34
Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie	36
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	36
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	38
Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym	39
Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	41
Tab. 4.6 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla roku 2028)	42
Tab. 4.7 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	42
Tab. 4.8 Wyniki analizy wielokryterialnej wyboru linii przeznaczonych do obsługi autobusy elektryczne akumulatorowe ładowanych ładowarkami plug-in i pantografami	45
Tab. 4.9 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową	47
Tab. 4.10 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu	47
Tab. 4.11 Koszty netto zakupu trolejbusów	49
Tab. 4.12 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów	50
Tab. 4.13 Koszty wdrożenia autobusów zasilanych CNG/LNG	54
Tab. 4.14 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym	54
Tab. 4.15 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom	55
Tab. 4.16 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych	56
Tab. 4.17 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w opolskiej komunikacji miejskiej	58
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1	60

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych	60
Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych.....	61
Tab. 5.4 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	61
Tab. 5.5 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	62
Tab. 5.6 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	63
Tab. 5.7 Wartość rezydualna wariantu W1	64
Tab. 5.8 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego.....	64
Tab. 6.1 Różnice emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery dla wariantu W1 w stosunku do wariantu W0 [w Mg]	67
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2018-2042	69
Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu dla wariantu W0 oraz wariantu W1 na przestrzeni lat 2018-2042	70
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2018-2042.....	71
Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń na przestrzeni lat 2018-2042.	71
Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej.....	72
Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	72
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki.....	73
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa	74
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt.....	74
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka	75
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	75
Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego	79

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	6
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego	8
Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie	10
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	10
Rys. 2.4 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Krakowie.....	11
Rys. 2.5 Autobus na ogniwa wodorowe polskiej konstrukcji	11
Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2017.....	14
Rys. 3.2 MAN Lion's City A26 w barwach MZK Opole	20
Rys. 3.3 Struktura właścicielska pojazdów.....	21
Rys. 3.4 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne (linie N5 i N13 kursują tylko w piątki).....	27
Rys. 3.5 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze wakacyjne (linie N5 i N13 kursują tylko w piątki).....	27
Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty	27
Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele i święta	28
Rys. 3.8 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele niehandlową	28
Rys. 3.9 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w wybrane święta	28
Rys. 3.10 Autobus typu MEGA18 obsługujący linię podstawową nr 15	29
Rys. 3.11 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy szkolny	30
Rys. 3.12 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy wakacyjny	30
Rys. 3.13 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w sobotę	31
Rys. 3.14 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę i święta	31
Rys. 3.15 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę niehandlową	31
Rys. 3.16 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w święta (25.12, 01.01, I dzień Wielkanocy)	32
Rys. 4.1 Koszty produkcji autobusu o napędzie wodorowym.....	38
Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 18 electric.....	41
Rys. 4.3 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w barwach PKM Jaworzno ..	43
Rys. 4.4 Ładowarka pantografowa i autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w malowaniu ZTM Warszawa	45
Rys. 4.5 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek.....	46
Rys. 4.6 Schemat analizowanej sieci trolejbusowej	50
Rys. 4.7 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych	57
Rys. 4.8 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK	57
Rys. 7.1 Dynamiczna informacja pasażerska z wyszczególnieniem pojazdów elektrycznych	72
Rys. 11.1 Zeroemisyjny autobus Solaris Urbino electric	81

Załączniki

Załącznik 1 Liczba wozokilometrów liniowych i technicznych według typu dnia

Linia	Robocze szkolne			Roboczy wakacyjny			Sobota		
	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite
3	64,01	1275,2	1339,21	68,0	1289,9	1357,9	42,8	969,0	1011,8
5	71,15	962,95	1034,1	65,0	941,9	1006,9	77,5	980,7	1058,2
7	28,7	944,46	973,16	30,0	759,2	789,2	13,3	379,0	392,2
8	24,34	1309,96	1334,36	9,7	1053,9	1063,6	7,0	554,4	561,4
9	57,3	531,15	588,45	41,0	537,1	578,1	20,6	385,4	406,0
10	188,25	1858,55	2046,8	172,1	1761,9	1934,0	162,8	1106,3	1269,1
11	35	894	929	53,4	603,5	656,9	15,0	430,0	445,0
12	130,5	1226,79	1357,29	82,5	904,0	986,5	88,5	1049,7	1138,2
13	81,8	768,8	850,6	82,9	762,3	845,2	59,2	607,8	667,0
14	43,3	981,5	1024,8	56,8	904,1	960,9	23,0	514,5	537,5
15	142,2	1278,75	1420,95	50,8	1046,8	1097,6	48,1	956,3	1004,4
16	12	723,9	735,9	12,0	723,9	735,9	6,0	403,7	409,7
17	157,8	1062,1	1219,9	54,8	854,7	909,5	28,1	785,6	813,6
18	34,1	471,65	505,75	27,2	468,8	496,0	33,4	413,3	446,6
21	88,43	1055	1143,43	73,7	1050,8	1124,5	49,0	732,9	781,9
25	58,6	767,4	826	54,2	741,4	795,6	11,9	208,0	219,9
28	33	496,75	529,75	33,1	496,8	529,9	41,8	416,7	458,5
80	6,1	76	82,1	21,7	76,0	97,7	38,7	159,9	198,6
N1	32,4	159,9	192,3	32,4	159,9	192,3			
N13	4,5	38,5	43	4,5	38,5	43,0	4,5	38,5	43,0
N15	6,4	37,3	43,7	6,4	37,3	43,7	12,8	37,3	50,1
N2	14,8	195,25	210,05	14,8	195,3	210,1	14,8	195,3	210,1
N5	5	53,7	58,7	5,0	53,7	58,7	5,0	53,7	58,7

Linia	Niedziela i święta			Niedziela niehandlowa			Święta		
	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite
3	37,8	767,8	805,6	37,8	767,8	805,6	15,0	261,8	276,8
5	86,4	959,35	1045,75	86,1	911,7	997,8	19,2	426,1	445,3
7	25,1	355,3	380,3	25,1	355,3	380,3			
8	3,5	521,8	525,3	3,5	509,5	513,0	0,1	232,9	233,0
9	1,0	309,2	310,2	1,0	309,2	310,2			
10	128,8	1053,4	1182,2	131,2	993,1	1124,3	14,3	260,9	275,2
11	10,0	411,5	421,5	10,0	411,5	421,5	15,0	250,5	265,5
12	75,8	1037,4	1113,2	95,1	1015,4	1110,5	15,3	203,3	218,6
13	62,3	544,3	606,6	62,3	544,3	606,6	26,6	353,4	380,0
14	20,5	514,5	535,0	20,5	514,5	535,0	8,0	146,3	154,3
15	34,9	929,3	964,2	34,9	929,3	964,2	24,6	371,4	396,0
16	6,0	362,0	368,0	6,0	362,0	368,0	6,0	195,0	201,0

Linia	Niedziela i święta			Niedziela niehandlowa			Święta		
	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite
17	28,9	714,5	743,4	28,9	714,5	743,4	40,2	293,2	333,4
18	27,2	413,3	440,5	27,2	383,3	410,5			
21	54,3	697,9	752,2	54,3	697,9	752,2	9,7	191,8	201,5
25	13,0	211,6	224,6	13,0	211,6	224,6	11,9	130,0	141,9
28	45,7	416,7	462,4	45,7	385,5	431,2			
80									
N1	32,4	159,9	192,3	32,4	159,9	192,3	32,4	159,9	192,3
N13									
N15	6,4	37,3	43,7	6,4	37,3	43,7	6,4	37,3	43,7
N2	14,8	195,3	210,1	14,8	195,3	210,1	10,1	154,0	164,1
N5									

Załącznik 2 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach

Linia / dzień tygodnia	Roboczy szkolny		Roboczy wakacyjny		Sobota	
	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.
N1	22,3	26,2	22,3	26,2	22,6	26,3
N2	21,5	28,8	21,5	29,7	21,7	28,7
N5	21,3	29,4	21,3	29,4	21,3	29,4
N13	19,8	24,8	19,8	25,8	17,1	24,8
N15	16,6	26,2	16,6	26,2	17,5	26,6
3	14,4	20	14,4	20,6	15,6	23,2
5	17,7	23,9	17,8	24,2	17,3	24,5
7	18,2	23,2	19	23,9	19,4	24,6
8	22,7	27,3	23,9	28,3	24,8	29,2
9	17,3	21,9	17	22,3	17	22,8
10	17,9	23,1	18,2	23,3	18,1	24,8
11	17,3	21,9	16	22,4	17,6	23,9
12	20,3	24,7	20,8	25,3	19,8	25,5
13	16,5	22,3	16,8	22,6	17,4	23,4
14	16,4	23,5	17,6	24,3	16,4	24,4
15	15,6	20,2	15,6	20,5	17	21,7
16	20,9	25,3	20,9	25,8	22,3	26,7
17	15,8	20,5	15,8	20,7	15,7	20,9
18	15,2	21,5	15,8	21,9	16,7	21,9
21	19,4	24,3	20	24,9	19,2	25,3
25	15,6	19,6	16	19,9	16,8	21,1
28	16,9	23,7	17,1	24,1	16,5	24,3
80	23,1	27,8	20,2	28,5	0	0
RAZEM:	18,5	24,3	18,5	24,4	18,5	24,7

Linia / dzień tygodnia	Niedziela i święta		Niedziela i święta		święta (25.12 i 1.01)	
	Prędkość ekspl.	Prędkość ekspl.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.
N1	22,3	22,3	22,3	26,2	22,3	27,5
N2	21,5	21,5	21,5	28,7	20,4	29,7
N5	0	0	0	0	0	0
N13	0	0	0	0	0	0
N15	16,6	16,6	16,6	26,2	16,6	26,2
3	17,1	17,1	17,1	23,6	16,7	23
5	17,5	17,5	16,7	24,9	20,4	24,8
7	18,2	18,2	18,2	24,6	0	0
8	24,6	24,6	24,6	29,2	23,6	26,5
9	16,5	16,5	16,5	22,6	0	0
10	17,5	17,5	16,7	24,4	20,8	24,6

Linia / dzień tygodnia	Niedziela i święta		Niedziela i święta		święta (25.12 i 1.01)	
	Prędkość ekspl.	Prędkość ekspl.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.	Prędkość ekspl.	Prędkość kom.
11	19,6	19,6	19,6	23,8	16,5	23,3
12	19,8	19,8	19,4	25,6	16,2	24,5
13	16,9	16,9	16,9	23,7	15,9	23
14	15,8	15,8	15,8	24,1	15,9	23,1
15	16,6	16,6	16,6	21,7	15,1	21,6
16	21,9	21,9	21,9	26,6	21,7	26,5
17	15,8	15,8	15,8	20,8	13,5	20,7
18	16,9	16,9	15,9	21,4	0	0
21	18,9	18,9	18,9	25,3	22,6	25,1
25	17,2	17,2	17,2	21,4	14,4	21,3
28	16,2	16,2	15,2	23,8	0	0
80	0	0	0	0	0	0
RAZEM:	18,4	18,4	18,2	24,4	18,3	24,5