

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



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

Wrocław - Opole  
2021

 **TRAKO**  
TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE



Dokument przygotowany przez:

**TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE**

Szamborski i Szelukowski S.J. ©

ul. Jaracza 71/9, 50-305 Wrocław,

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

[www.trako.com.pl](http://www.trako.com.pl)

## Spis treści

1	Cel analizy .....	6
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć .....	7
2	Uwarunkowania techniczne i prawne .....	9
2.1	Uwarunkowania prawne .....	9
2.2	Uwarunkowania techniczne .....	10
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej .....	13
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej .....	13
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych .....	13
3.1.2	Obecny układ sieci .....	13
3.1.3	Koszty eksploatacyjne .....	20
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy .....	21
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej .....	22
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane .....	22
3.2.2	Normy emisji spalin .....	23
3.2.3	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru .....	23
3.2.4	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych .....	25
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych .....	26
3.3.1	Wskaźnik wykorzystania taboru .....	26
3.3.2	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzkm przez brygady .....	26
3.3.3	Analiza rozkładów jazdy .....	27
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych .....	29
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym .....	29
4.1.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym .....	30
4.1.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru .....	31
4.1.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów .....	32
4.1.4	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Opolu .....	33
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym .....	33
4.2.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym .....	33
4.2.2	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in .....	35

4.2.3	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in.....	36
4.2.4	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami typu „plug-in” i za pomocą pantografu .....	36
4.2.5	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi .....	37
4.3	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów .....	41
4.3.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów.....	41
4.3.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru .....	42
4.3.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	43
4.3.4	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Opolu .....	43
4.4	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów zasilanych gazem CNG lub LNG .....	45
4.4.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów zasilanych gazem CNG ...	45
4.4.2	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych i koszty inwestycyjne autobusów zasilanych gazem LNG.....	46
4.4.3	Koszty inwestycyjne zakupu taboru zasilanego CNG.....	47
4.4.4	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów napędzanych CNG.....	47
4.4.5	Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem CNG w Opolu .....	47
4.4.6	Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem LNG w Opolu .....	48
4.5	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne .....	49
4.6	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru .....	49
5	Analiza finansowa.....	54
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej .....	54
5.2	Nakłady inwestycyjne .....	54
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych .....	56
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych .....	57
5.5	Wartość rezydualna .....	61
5.6	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru.....	61
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi .....	63
7	Analiza społeczno-ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji .....	66
7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym .....	66
7.2	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym .....	68



---

7.3	Inne korzyści zewnętrzne .....	70
7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej .....	70
7.5	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej.....	72
8	Analiza ryzyka .....	73
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru.....	79
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania.....	81
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych .....	83

## 1 Cel analizy

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

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U. z 2021 r., poz. 1371),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.),
- Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. z 2021 r., poz. 247 z późn. zm.).

Ponadto opracowanie sporządzono zgodnie z niżej wymienionymi dokumentami:

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

inwestycyjnych, w tym projektów generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020”,

- „Zasady opracowywania wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej. Praktyczny przewodnik dla samorządów”, PTC Public Transport Consulting Marcin Gromadzki, 2018 r.



**Rys. 1.1** Autobus elektryczny akumulatorowy w Hamburgu

Źródło: Zbiory własne

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

Następnie przeprowadzono analizę strategiczną wyboru najbardziej korzystnego typu autobusów zeroemisyjnych, uwzględniając koszty wdrożenia danego rozwiązania oraz parametry eksploatacyjne. Dla wybranego typu autobusu opracowana została szczegółowa analiza finansowa i ekonomiczna, uwzględniająca potencjalne korzyści społeczne

i środowiskowe, która została zestawiona z alternatywnym wariantem bazującym na odtwarzaniu floty w oparciu o obecnie eksploatowane autobusy spalinowe i hybrydowe. W końcowej części opracowania przedstawiono analizę ryzyka, rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru komunikacji miejskiej w Opolu oraz wskazano potencjalne źródła finansowania inwestycji w tabor zeroemisyjny.



Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern

Źródło: Zbiory własne

## 1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- **AKK** – analiza kosztów i korzyści,
- **BCR, B/C** – (ang. benefit cost ratio) wskaźnik korzyści do kosztów,
- **Brygada** – zadanie w rozkładzie jazdy zaplanowane do realizacji przez 1 autobus w ciągu dnia (zamiennie stosowanym określeniem jest kursówka),
- **CF** – (ang. conversion factor) wskaźnik konwersji,
- **CNG** – (ang. compressed natural gas) sprężony gaz ziemny,
- **ENPV** – (ang. economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto,
- **ERR** – (ang. economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu,
- **FNPV** – (ang. financial net present value) finansowa wartość bieżąca netto,
- **FNPV/c** – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji,
- **FRPA** – Fundusz rozwoju przewozów autobusowych o charakterze użyteczności publicznej,
- **FRR/c** – (ang. financial internal rate of return on investment) finansowa stopa zwrotu z inwestycji,
- **HVAC** – (ang. Heating, Ventilation, Air Conditioning) ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja,
- **IMC** – (ang. In Motion Charging) ładowanie w trakcie jazdy pojazdu,
- **LNG** – (ang. liquefied natural gas) ciekły gaz ziemny,
- **LPG** – (ang. liquefied petroleum gas) ciekła mieszanina propanu i butanu,
- **LTO** – (ang. lithium-titanate-oxide) akumulatory litowo-jonowe o elektrodzie z tytanianu litu,
- **MCA** – (ang. Multivariate Comparative Analysis) wielokryterialna analiza porównawcza,
- **MINI** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 6 - 8 metrów,
- **MIDI** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 - 10 metrów,
- **MAXI** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 12 metrów,
- **MEGA15** – autobus jednoczłonowy o długości ok. 15 metrów,
- **MEGA18** – autobus dwuczłonowy o długości ok. 18 metrów,
- **MZK** – Miejski Zakład Komunikacyjny sp. z o.o. w Opolu,
- **NMC** – (ang. akumulatory litowo-jonowe o elektrodzie z niklu-manganu-kobaltu),
- **ON** – olej napędowy,
- **Opp-charge** – otwarty interfejs pomiędzy stacjami ładowania i pojazdami elektrycznymi,

- **Postój wyrównawczy** – przerwa międzykursowa zaplanowana w rozkładzie jazdy na pętli,
- **Praca eksploatacyjna** – liczba wykonywanych wozokilometrów przez środki transportu,
- **Prędkość eksploatacyjna** – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich i długości przerw między kursowych,
- **Prędkość komunikacyjna** – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich,
- **uepa** – Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r., poz. 110),
- **W0** – wariant bazowy,
- **W1** – wariant inwestycyjny,
- **Wariant podstawowy trasy** – wariant trasy danej linii komunikacyjnej, na którym realizowanych jest najwięcej kursów,
- **Wartość rezydualna** - wartość środków trwałych netto uzyskanych na etapie realizacji projektu lub w okresie jego eksploatacji, wynikająca z nakładów inwestycyjnych na realizację projektu oraz nakładów odtworzeniowych, ustalona na koniec ostatniego roku okresu odniesienia przyjętego do analiz,
- **Wozogodzina** – jednostka miary czasu zaangażowania środka transportu w wykonanie zaplanowanego rozkładu jazdy lub harmonogramu,
- **Wozokilometr liniowy** – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach przewozów regularnych, na kursach ogólnodostępnych dla pasażerów, które są prezentowane w rozkładach jazdy,
- **Wozokilometr techniczny** - długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach kursów dojazdowych z zajezdni do przystanków krańcowych, kursów zjazdowych z przystanków krańcowych do zajezdni,
- **Wzkm** – wozokilometr,
- **Ve** – prędkość eksploatacyjna (uwzględnia postoje na pętlach końcowych),
- **Vk** – prędkość komunikacyjna (wynikająca wyłącznie z realizacji przewozów).



## 2 Uwarunkowania techniczne i prawne

### 2.1 Uwarunkowania prawne

Rozwój elektromobilności w Polsce wspierany jest przez Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.), której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w ustawie definicja autobusu zeroemisyjnego precyzuje ten typ pojazdu jako autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.) oraz trolejbus<sup>1</sup>. Analizując ustalenia Ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, w której wskazano, że do grona tych substancji należą m.in. tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), benzo(a)piren, to za autobusy zeroemisyjne można uznać wyłącznie:

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

Pojazdy te nie emitują gazów cieplarnianych oraz innych szkodliwych dla środowiska substancji. Kryterium autobusu zeroemisyjnego nie spełniają zatem autobusy spalinowe, autobusy gazowe (napędzane CNG, LNG, LPG, biometanem), autobusy hybrydowe, autobusy

hybrydowo – elektryczne oraz autobusy gazowo - elektryczne.



**Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego**

*Źródło: Zbiory własne*

Zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, wdrażanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych będzie najszybciej następowało w miastach średnich i dużych, gdyż każda jednostka samorządu terytorialnego licząca co najmniej 50 000 mieszkańców i organizująca komunikację miejską, począwszy od 1 stycznia 2028 r. będzie świadczyć usługi lub zawierać umowy o świadczenie usług przewozu o charakterze użyteczności publicznej wyłącznie z podmiotami posiadającymi co najmniej 30% autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanej na rzecz tej jednostki samorządu terytorialnego<sup>2</sup>. Osiągnięcie udziału na poziomie 30% założono etapami<sup>3</sup>:

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

Wskazane wymagane minimalne udziały uznaje się za odnoszące się wprost do sumarycznej

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

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

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

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

Każda z wymienionych w art. 36 jednostek samorządu terytorialnego, sporządza co 36 miesięcy analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, przy czym pierwszą analizę należało opracować w terminie do 31 grudnia 2018 r.<sup>4</sup>

Miasto Opole z liczbą mieszkańców 127 839<sup>5</sup>, pełniące funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest jednostką samorządu terytorialnego ustawowo zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

Analizy kosztów i korzyści związanych z eksploatacją autobusów zeroemisyjnych poddawane są konsultacjom społecznym, zgodnie z zapisami Rozdziałów 1 i 3 w Dziale III Ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na

## 2.2 Uwarunkowania techniczne

W ramach niniejszego rozdziału zostały przeanalizowane uwarunkowania techniczne autobusów elektrycznych akumulatorowych ładowanych ładowarkami plug-in, pantografowymi i indukcyjnymi, autobusów

środowisko (t.j. Dz. U. z 2021 r., poz. 247 z późn. zm.).

**Dokument ten zostanie poddany pod konsultacje społeczne.**

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

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

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

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

wyposażonych w wodorowe ogniwa paliwowe oraz trolejbusów wyposażonych w akumulatory ładowane z sieci trolejbusowej.

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

<sup>5</sup> Dane według stanu na dzień 31.12.2020 r., źródło: <https://bdl.stat.gov.pl>, dostęp 29.06.2021 r.

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



**Rys. 2.2** *Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie*

Źródło: Zbiory własne

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

- podnoszonych, które są montowane na dachach autobusów i na czas ładowania

unoszone są podczas postoju pod ładowarką,

- odwróconych, opuszczanych z masztu pantografowego do strefy gniazda ładowania, ulokowanego na dachu autobusu.

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



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

Źródło: Zbiory własne

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

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

Dzięki nieustannemu rozwojowi technologii oraz częściej producenci autobusów elektrycznych deklarują dostawy pojazdów z pakietami akumulatorów o dużej pojemności energii

użytkowej, gwarantujących dłuższy zasięg nawet do ok. 250 km na 1 ładowaniu, które nie będzie wymagał szybkiego doładowywania z ładowarek pantografowych.

Główni europejscy producenci taboru dla transportu publicznego oferują autobusy elektryczne akumulatorowe o klasach wielkościowych MINI, MIDI, MAXI, MEGA15 MEGA18.

Autobusy napędzane wodorem – poruszają się dzięki silnikom elektrycznym zasilanym prądem wytwarzanym z czystego wodoru w ogniwach paliwowych. Pojazdy te stanowią stosunkowo nowe rozwiązanie w branży transportu publicznego, z którym związane są duże nadzieje wynikające z przewidywanego zasięgu kursowania na poziomie nawet do 450 km dziennie na 1 tankowaniu autobusu.



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

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

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

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



## 3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

### 3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

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

Obecnie obowiązująca umowa pomiędzy organizatorem, a operatorem (Miejski Zakład Komunikacyjny sp. z o.o. 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 dnia 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 niemieszcząca się w tym zakresie). Plan operacyjny określa również przyporządkowanie odpowiednich klas pojemnościowych taboru do obsługi poszczególnych linii komunikacyjnych.

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, uchwyty, foteli itp.).

#### 3.1.2 Obecny układ sieci

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

■ według kryterium przestrzennego:

- 18 linii miejskich wewnątrz Opola<sup>6</sup>: 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 21, 25, 28, N1, N2, N5, N13, N15,
- 3 linie podmiejskie: 8, 16, 80,

<sup>6</sup> Pominęto sytuację jednego przystanku/pętli przystanki w okolicy granicy miasta Opole: Witosa Centrum Handlowe (Zawada, gm.

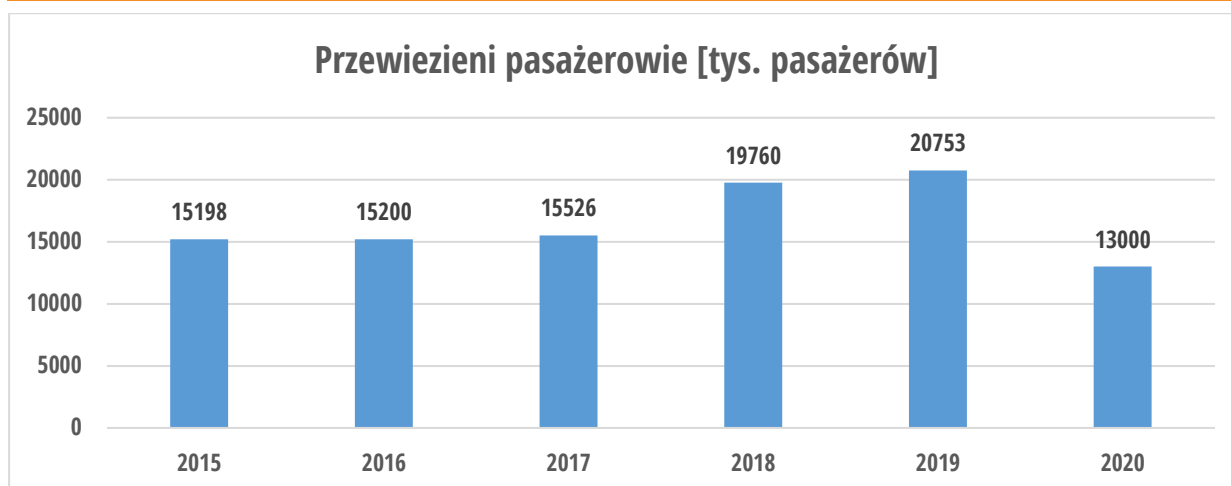
Turawa, 10 i 18), Częstochowska – Działki Pętla (Lędziny, gm. Chrzastowice, 17), Grotowice – Pętla (Przywory, gm. Tarnów Opolski, 8, 12, N2), Luboszycka – skrzyżowanie (Kępa, gm. Łubniany, 21)

- 2 linie miejsko-podmiejskie: 10, 15;
  - 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:
    - 20 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 nocy 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.
- Oprócz regularnych linii w okresie wzmożonego zapotrzebowania mogą być uruchamiane linie okazjonalne, np. na okres Wszystkich Świętych.
- Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Miasta Opole, pełniącego funkcję jej organizatora oraz gmin Dąbrowa, Komprachcice, Łubniany i Prószków na mocy stosownych porozumień międzygminnych.
- Polityka transportowa miasta prowadzącą do poprawy atrakcyjności systemu komunikacji publicznej oraz objęcie siecią komunikacji miejskiej wszystkich sołectw włączonych w 2017 r. do granic Opola przejawiała się systematycznym wzrostem wielkości podaży usług świadczonych przez MZK Sp. z o.o. W Tab. 3.1 przedstawiono wielkość pracy eksploatacyjnej w opolskiej komunikacji miejskiej, z istotnym wzrostem w latach 2015 – 2019, który został wyhamowany przez skutki epidemii COVID-19 trwającej nieprzerwanie od marca 2020 r., kiedy po raz pierwszy od wielu lat liczba wozokilometrów uległa obniżeniu.

**Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrów w latach 2015-2021**

Rok	Wozokilometry w tys. wzk	Dynamika r/r
2015	4 929,0	
2016	5 106,0	+3,6%
2017	5 773,0	+13,1%
2018	5 886,8	+ 2,0 %
2019	5 901,2	+ 0,2%
2020	5 663,3	- 4,0%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Biuletynu IGKM „Komunikacja miejska w liczbach” za lata 2015-2018 oraz danych Zamawiającego.



Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2020

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

W Tab. 3.2 zestawiono przebiegi tras oraz podstawowe parametry linii obsługiwanych przez MZK Opole.

Najkrótszymi liniami są „80” i „N13” o długości poniżej 10 km. Obie linie wykonują dziennie wyłącznie kilka kursów – linia 80 kursuje zgodnie

z zapotrzebowaniem Komprachcice, linia N13 jest linią nocną kursującą wyłącznie w noc z piątku na sobotę i z soboty na niedzielę. Do najdłuższych połączeń w sieci należą linie 8 i 21, obsługujące obszary poza zwartą zabudową miejską (linia 21 od dnia 01.01.2017 r. utraciła status podmiejskiej na skutek rozszerzenia granic Miasta Opole).

Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Opolu (stan na dzień 23.06.2021 r.)<sup>7</sup>

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
3	PUŻAKA-PĘTLA – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – L. Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – H. Sienkiewicza – Oleska – S. Żeromskiego – pl. M. Kopernika – W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja (powrót 1 Maja – W. Reymonta) – T. Rejtana – Mieszka I – Jagiellonów – J. Ostroroga – K. Wielkiego – Jagiellonów – al. Przyjaźni – AL. PRZYJAŹNI-PĘTLA Wybrane kursy skrócone skrzyżowania 1 Maja / T. Rejtana (REJTANA-PĘTLA).	11,10	miejska	podstawowa

<sup>7</sup> Nie uwzględnia zmian związanych z remontami i przebudowami (np. węzły Opole Wschodnie i Opole Zachodnie). Pominięto warianty związane z liniowymi kursami dojazdowymi.

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
5	<p>ŻYTANIA-PĘTLA – Żytńia – Oleska – Wiejska – Tarnopolska – K. Pużaka – PUŻAKA-PĘTLA – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – R. Horoszkiewicza – Ozimska – T. Rejtana – 1 Maja – W. Korfantego – Piastowska – pl. J. Piłsudskiego – S. Spychalskiego – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – Cmentarna – CMENTARZ-PĘTLA – Wrocławska – WROCŁAWSKA-CENTRUM HANDLOWE – Wrocławska – WRZOSKI-PĘTLA</p> <p>Wybrane kursy skrócone do PUŻAKA-PĘTLA, CMENTARZ-PĘTLA, WROCŁAWSKA-CENTRUM HANDLOWE, wybrane kursy z pominięciem Centrum Handlowego</p>	20,19	miejska	uzupełniająca (tworzy wiązkę 5+9+13)
7	<p>ZŁOTA-DWORZEC GROTOVICE-PĘTLA – Złota – Oświęcimska – W. Gorzołki – ks. J. Popiełuszki (powrót ks. J. Popiełuszki – Oświęcimska) – al. Przyjaźni – Jagiellonów – K. Wielkiego – J. Ostroroga – Jagiellonów - Mieszka I – Wschodnia – Głogowska – GŁOGOWSKA-PĘTLA – Głogowska – Ozimska – Wiejska – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – L. Okulickiego – Chabrów – Luboszycka - Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Wojska Polskiego – W. Wróblewskiego – Prószkowska – PRÓSZKOWSKA-POLITECHNIKA</p> <p>Wybrane kursy skrócone PUŻAKA-PĘTLA – PRÓSZKOWSKA-POLITECHNIKA lub PRÓSZKOWSKA-POLITECHNIKA – GŁOGOWSKA-PĘTLA lub przez Metalchem</p>	18,98	miejska	uzupełniająca (tworzy wiązkę 7+18+28)
8	<p>Przywory: GROTOVICE-PĘTLA – Opole: Oświęcimska – W. Gorzołki – ks. J. Popiełuszki (powrót ks. J. Popiełuszki – Oświęcimska) – al. Przyjaźni – Marka z Jemielnicy – J. Walecki – A. Struga – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja – W. Reymonta) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – H. Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Centralna – Nyska – Osiny: Opolska – Komprachcice: Opolska - Niemodlińska – Kolejowa – Ochodzka – Ochodze: Opolska – Myśliwska – OCHODZE-PĘTLA – Myśliwska – Opolska – Komprachcice: Ochodzka – Kolejowa – Niemodlińska – Polska Nowa Wieś: Lipowa – POLSKA NOWA WIEŚ-CENTRUM – Lipowa – Wawelno: Nowowiejska – Opolska – WAWELNO-PĘTLA (powrót z pominięciem miejscowości Ochodze)</p> <p>Wybrane kursy skrócone do Polskiej Nowej Wsi lub Ochódz, skierowane przez Metalchem lub Domecko lub z odwróconą kolejnością obsługi miejscowości (Ochodze obsługiwane na kursach w kierunku Opola)</p>	26,77	podmiejska	uzupełniająca (tworzy wiązkę 8+12)
9	<p>WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA – al. W. Witosa – al. „Solidarności” – Koszalińska – Tarnopolska – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – R. Horoszkiewicza – Ozimska – T. Rejtana – 1 Maja – W. Korfantego – Piastowska – pl. J. Piłsudskiego – S. Spychalskiego – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – Cmentarna – CMENTARZ-PĘTLA – Wrocławska – BIERKOWICE-PĘTLA</p>	14,46	miejska	dodatkowa (tworzy wiązkę 5+9+13)



Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
10	<p>Zawada: WITOSA-CENTRUM HANDLOWE – Dębowa – Opole: al. W. Witosa – Częstochowska – Ozimska – Wiejska – K. Sosnkowskiego – R. Horoszkiewicza – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja – W. Reymonta – Ozimska) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – H. Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Budowlanych – J. Sobieskiego – W. Jagiełły – Wolności – CZARNOWĄSY-PĘTLA</p> <p>Wybrane kursy wydłużone do DROBIARSKA-CZĘSTOCHOWSKA-PĘTLA, BRZEZIE-ELEKTROWNIA, ŚWIERKLE-PĘTLA lub BRYNICA-CENTRUM, wybrane kursy skrócone do WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA, WRÓBLIN-PĘTLA lub KOŁŁĄTAJA-1 MAJA-DWORZEC GŁÓWNY, wybrane kursy przez Wróblin, Brzezie Elektrownia lub Kępską MZK</p>	17,58	miejsko-podmiejska	podstawowa
11	<p>GRUDZICE-PĘTLA – Strzelecka – G. Morcinka – Prosta – B. Leśmiana – Strzelecka (powrót z pominięciem ulic Morcinka, Prostej i Leśmiana) – J. i R. Kowalczyków – Mieszka I – T. Rejtana – 1 Maja – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja) – pl. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – S. Mikołajczyka – K. Sosnkowskiego – K. Pużaka – PUŻAKA-PĘTLA</p>	11,18	miejska	uzupełniająca
12	<p>Przywory: GROTOWICE-PĘTLA – Opole: Oświęcimska – W. Gorzołki – ks. J. Popiełuszki (powrót ks. J. Popiełuszki – Oświęcimska) – al. Przyjaźni – Marka z Jemielnicy – J. Walecki – A. Struga – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja – W. Reymonta) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – H. Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – 10 Sudeckiej Dywizji Zmechanizowanej – Wspólna – Wrocławska – WROCŁAWSKA-CENTRUM HANDLOWE</p> <p>Wybrane kursy wydłużone do Północnej przez Technologiczną, skrócone do Dambonia lub Wrocławskiej, skierowane przez Metalchem lub z pominięciem WROCŁAWSKA-CENTRUM HANDLOWE</p>	18,68	miejska	uzupełniająca (tworzy wiązkę 8+12)
13	<p>WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA – al. W. Witosa – al. „Solidarności” – Koszalińska – Tarnopolska – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – R. Horoszkiewicza – Ozimska – T. Rejtana – 1 Maja – W. Korfantego – Piastowska – pl. J. Piłsudskiego – S. Spychalskiego – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – Partyzancka – Opolska – SŁAWICE-PĘTLA</p> <p>Wybrane kursy z wjazdem na Cmentarną lub Północną</p>	14,89	miejska	uzupełniająca (tworzy wiązkę 5+9+13)

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
14	<b>MALINA-PĘTLA</b> – L. Teligi – o. E. Frankiewicza – R. Traugutta – W. Gorzołki – ks. J. Popiełuszki (powrót ks. J. Popiełuszki – Oświęcimska – W. Gorzołki) – al. Przyjaźni – Marka z Jemielnicy – J. Walecki – A. Struga – W. Reymonta – Ozimska (powrót Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja – W. Reymonta) – Częstochowska – Tysiąclecia – Grudzicka – Wschodnia – <b>WSCHODNIA-PĘTLA</b> Wybrane kursy wydłużone do <b>WSCHODNIA-23</b> lub z wjazdem przez Głogowską do <b>GŁOGOWSKA-PĘTLA</b>	14,63	miejska	uzupełniająca
15	<b>WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA</b> – al. W. Witosa – al. „Solidarności” – Wiejska – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – R. Horoszkiewicza – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja (powrót 1 Maja – W. Reymonta – Ozimska) – W. Korfantego – Piastowska – pl. J. Piłsudskiego – S. Spychalskiego – Niemodlińska – Wojska Polskiego – W. Wróblewskiego – Prószkowska – <b>WÓJTOWA WIEŚ-PĘTLA</b> Wybrane kursy wydłużone do Winowa lub Górek	13,35	miejsko-podmiejska	podstawowa (tworzy wiązkę 15+25)
16	Opole: <b>AL. PRZYJAŹNI-PĘTLA</b> – al. Przyjaźni – Jagiellonów – K. Wielkiego – J. Ostroroga – Jagiellonów – Mieszka I – T. Rejtana – 1 Maja – W. Reymonta (W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – H. Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – Mechnice: Niemodlińska – Chróścina: Niemodlińska – Wawelno: Opolska – <b>WAWELNO-Pętla</b>	19,93	podmiejska	dodatkowa
17	<b>DAMBONIA-PĘTLA</b> – Niemodlińska – Nysy Łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – H. Sienkiewicza – Oleska – S. Żeromskiego – pl. M. Kopernika – W. Reymonta – Ozimska – R. Horoszkiewicza – K. Sosnkowskiego – Wiejska – Ozimska – Częstochowska – al. W. Witosa – Wygonowa – Górna – Częstochowska – <b>CZĘSTOCHOWSKA-PĘTLA</b> Wybrane kursy wydłużone do <b>CZĘSTOCHOWSKA-DZIAŁKI PĘTLA</b> lub <b>CHMIELOWICE-PĘTLA</b>	11,28	miejska	podstawowa
18	Zawada: <b>WITOSA-CENTRUM HANDLOWE</b> – Dębowa – Opole: al. W. Witosa – Częstochowska – Ozimska – Wiejska – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – L. Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – Cmentarna – <b>CMENTARZ-PĘTLA</b> – Wrocławska – <b>WROCŁAWSKA-CENTRUM HANDLOWE</b> Wybrane kursy wydłużone do Północnej przez Technologiczną, wybrane kursy skrócone do <b>WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA</b> , <b>CMENTARZ-PĘTLA</b> lub <b>DAMBONIA-PĘTLA</b> , wybrane kursy przez Głogowską	14,85	miejska	dodatkowa (tworzy wiązkę 7+18+28)

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
21	Opole: WSCHODNIA-PĘTLA - Wschodnia – Grudzicka – Tysiąclecia – Częstochowska – Ozimska – Głogowska – GŁOGOWSKA-PĘTLA – Głogowska – Wschodnia – T. Rejtana – 1 Maja – Fabryczna – Armii Krajowej – 1 Maja – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – H. Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Luboszycka – Kępa: Opolska – Opole: Krzanowicka – W. Jagiełły – JAGIEŁŁY-SZKOŁA – W. Jagiełły – Namysłowska – Wałowa – Pelargonii – Bławatków – Norweska (powrót Norweska – Namysłowska – Wałowa – Pelargonii – Bławatków – W. Jagiełły) – Elektrowniana – BRZEZIE-ELEKTROWNIA – Elektrowniana – Norweska – Dobrzeńska – BRZEZIE-PĘTLA Wybrane kursy skrócone do Działkowej MZK lub Czarnowąs, wybrane kursy z 1 Maja-Szkoła lub z wjazdem na Działkową, z pominięciem Elektrowni lub os. Borki	26,60	miejska	uzupełniająca
25	Linia jednokierunkowa PRÓSZKOWSKA-POLITECHNIKA-PĘTLA – Prószkowska – J. Kwoczka – S. Wasylewskiego – Stawowa – W. Wróblewskiego – Wojska Polskiego – Niemodlińska – S. Spychalskiego – pl. J. Piłsudskiego – Piastowska – W. Korfatego – 1 Maja – W. Reymonta – Ozimska – Katowicka – Bohaterów Monte Cassino - Ozimska – R. Horoszkiewiczza – K. Sosnkowskiego – Wiejska – K. Pużaka – Oleska – S. Mikołajczyka – K. Sosnkowskiego – L. Okulickiego – Oleska – Bohaterów Monte Cassino – Katowicka – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja – W. Korfatego – Piastowska – pl. J. Piłsudskiego – S. Spychalskiego – Niemodlińska – Wojska Polskiego – W. Wróblewskiego – Stawowa – S. Wasylewskiego – J. Kwoczka – Prószkowska – PRÓSZKOWSKA-POLITECHNIKA-PĘTLA	27,80	miejska	uzupełniająca (tworzy wiązkę 15+25)
28	GRUDZICE-PĘTLA – Strzelecka – G. Morcinka – Grudzicka – Tysiąclecia – al. W. Witosa – Tarnopolska – Wiejska – K. Sosnkowskiego – L. Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – Cmentarna – CMENTARZ-PĘTLA – Wrocławska – WROCŁAWSKA-CENTRUM HANDLOWE Wybrane kursy skrócone do CMENTARZ-PĘTLA	16,03	miejska	dodatkowa (tworzy wiązkę 7+18+28)
80	Opole: DAMBONIA-PĘTLA – Niemodlińska – Centralna – Nyska – Dworcowa – Sienna – Dziekaństwo: Opolska – Domecko: Opolska – Zamkowa – Jaškowska – PUCNIK-PĘTLA Wybrane kursy wydłużone z/do NYSY ŁUŻYCKIEJ-RONDO	8,45	podmiejska	dodatkowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
N1	WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA – al. W. Witosa – Częstochowska – Ozimska – Wiejska – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – L. Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – DZIAŁKOWA-MZK – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – H. Sienkiewicza – Oleska – S. Żeromskiego – pl. M. Kopernika – W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja (powrót 1 Maja – W. Reymonta) – W. Korfantego – Piastowska – pl. J. Piłsudskiego – S. Spychalskiego – Niemodlińska – DAMBONIA-PĘTLA Wybrane kursy omijają Działkową lub wydłużone do Żerkowic przez Chmielowice	15,45	miejska	dotatkowa
N2	Przywory: GROTOWICE-PĘTLA – Opole: Oświęcimska – W. Gorzołki – ks. J. Popiełuszki (powrót ks. J. Popiełuszki – Oświęcimska) – al. Przyjaźni – Jagiellonów – K. Wielkiego – J. Ostroroga – Jagiellonów - Mieszka I – T. Rejtana – 1 Maja – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – Charbów – Luboszycka – Działkowa – Luboszycka – Kępska – Budowlanych – BUDOWLANYCH-OBWODNICA Wybrane kursy wydłużone do CZARNOWĄSY-PĘTLA	19,71	miejska	dotatkowa
N5	1 MAJA-DWORZEC GŁÓWNY – 1 Maja – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – KOŁŁĄTAJA-DWORZEC GŁÓWNY) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – H. Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – 10 Sudeckiej Dywizji Zmechanizowanej – Wspólna – Wrocławska – WROCŁAWSKA-WSPÓLNA – Wrocławska – WRZOSKI-PĘTLA	12,48	miejska	dotatkowa
N13	1 MAJA-DWORZEC GŁÓWNY – 1 Maja – W. Reymonta (powrót W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – KOŁŁĄTAJA-DWORZEC GŁÓWNY) – pl. M. Kopernika – S. Żeromskiego – Oleska – H. Sienkiewicza – Sądowa – Książąt Opolskich – Nysy Łużyckiej – Niemodlińska – ks. B. Domańskiego – Partyzancka – Opolska – SŁAWICE-PĘTLA	9,53	miejska	dotatkowa
N15	WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA – al. W. Witosa – al. „Solidarności” – Wiejska – K. Pużaka – K. Sosnkowskiego – L. Okulickiego – Chabrów – Luboszycka – Nysy Łużyckiej – Książąt Opolskich – Sądowa – H. Sienkiewicza – Oleska – S. Żeromskiego – pl. M. Kopernika – W. Reymonta – Ozimska – ks. H. Kołłątaja – 1 Maja (powrót 1 Maja – W. Reymonta) – W. Korfantego – Piastowska – pl. J. Piłsudskiego – S. Spychalskiego – Niemodlińska – Wojska Polskiego – W. Wróblewskiego – Prószkowska – Szkolna – WINÓW-SZKOLNA (powrót WINÓW-SZKOLNA – Szkolna – Odrodzenia – Prószkowska)	18,65	miejska	dotatkowa

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK sp. z o.o. w Opolu

### 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 tą 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 dodatnich 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. Opole posiada własny plan transportowy (Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla miasta Opola) będący aktem prawa miejscowego, gwarantujący realizację przewozów o charakterze użyteczności publicznej na terenie Miasta Opole oraz gmin posiadających odpowiednie porozumienia w

sprawie organizacji lokalnego transportu zbiorowego. Komunikacja miejska w Opolu została opisana w Planie gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Opola, który zawiera ocenę aktualnego stanu środowiska oraz opis przedsięwzięć pozwalających na ograniczenie nadmiernego zużycia ciepła, energii elektrycznej i paliw gazowych. Realizację przewozów gwarantuje wieloletnia współpraca z operatorem komunikacji miejskiej (obecnie obowiązuje umowa do 31.12.2023 r.).

## 3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

*Analizy w niniejszym rozdziale zostały wykonane według stanu na dzień 1 lipca 2021 r.*

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

W ostatnich 3 latach zakupiono łącznie 61 nowych autobusów przeznaczonych do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Opolu w ramach projektu: „Czysta komunikacja publiczna - zwiększenie mobilności mieszkańców Aglomeracji Opolskiej oraz modernizacja infrastruktury towarzyszącej transportowi publicznemu - etap I”. Przedsięwzięcie uzyskało dofinansowanie w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko.



**Rys. 3.2** Autobus typu MEGA15 w Opolu

Źródło: Zbiory własne

W maju 2018 r. dostarczono do Opolu 28 klimatyzowanych pojazdów – 15 sztuk przegubowych MAN Lion’s City G oraz 13 sztuk MAN Lion’s City klasy MAXI z normą spalania EURO 6, ładowarkami USB oraz internetem LTE. W tym samym czasie odbyło się postępowanie (zakończone umową zawartą 14.08.2018 r.) na 23 pojazdy – 20 autobusów klasy MAXI oraz 3 pojazdy klasy MIDI, dostarczone przez MAN

Bus Sp. z o.o. W ramach projektu w 2020 r. zrealizowana została także trzecia dostawa – 10 autobusów klasy MAXI Solaris Urbino12 oraz specjalistycznego holownika.

Obecnie w trakcie realizacji wykonywane jest pierwsze zamówienie Miasta Opolu na autobusy elektryczne akumulatorowe. W wyniku przeprowadzonego przetargu nieograniczonego, w dniu 26.03.2021 r. Miasto Opole zawarło umowę z Solaris Bus & Coach Sp. z o.o. na dostawę 5 sztuk autobusów elektrycznych typu MAXI, która nastąpi w 2022 r. Nabyte autobusy będą obsługiwały linię 25 oraz wybrane kursy linii 15 i będą przystosowane zarówno do ładowania typu plug-in z ładowarek na terenie zajezdni MZK, jak i również do szybkiego doładowywania z ładowarki pantografowej zaplanowanej na krańcu Prószkowska – Politechnika – Pętla. Zakup autobusów oraz budowa infrastruktury ładowania na potrzeby elektryfikacji linii 25 realizowane są w ramach projektu pn. „Elektromobilne Opole”, który jako jeden z najwyższej ocenionych w konkursie Centrum Unijnych Projektów Transportowych uzyskał 85% dofinansowania wydatków kwalifikowanych ze środków Unii Europejskiej z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko. Wartość całego projektu związanego z zakupem 5 szt. autobusów elektrycznych wynosi 20 194 648,99 zł<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> <https://www.opole.pl/dla-mieszkanca/elektromobilne-opole>, dostęp 01.07.2021 r.

**Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na dzień 01.07.2021 r.)**

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2018	MAN Lion's City G A23	MEGA18	15	2018	EURO 6
	MAN Lion's City A37	MAXI	13	2018	EURO 6
	MAN Lion's City A37	MAXI	20	2018 – 2019	EURO 6
	MAN Lion's City A47	MIDI	3	2019	EURO 6
2020	Solaris Urbino 12	MAXI	10	2020	EURO 6
2021	Solaris Urbino 12 Electric	MAXI	5	2022	Brak (elektryczny)

Źródło: Opracowanie własne

### 3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby obsługi opolskiej komunikacji miejskiej eksploatowanych jest 107 pojazdów. Wszystkie posiadają silniki spalinowe zasilane olejem napędowym oraz są pojazdami niskopodłogowymi. Największym udziałem cechują się pojazdy o najwyższej normie spalania EURO 6 – 66 pojazdy (62%), co warto podkreślić, także pojazdy tej normy spalania stanowią większość w rozdzieleniu na

poszczególne typy taboru. Kolejną liczną grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 5, które stanowią 25% całego taboru. We flocie użytkowanej przez MZK Opole znajduje się także 8 pojazdów spełniających standard EURO 4, 5 pojazdów EURO 2 oraz 1 pojazd EURO 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 01.07.2021 r.)**

Paliwo i Norma spalania / typ pojazdu	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
ON EURO 2		5			5
ON EURO 3				1	1
ON EURO 4		8			8
ON EURO 5		27			27
ON EURO 6	3	43	5	15	66
<b>Liczba pojazdów</b>	<b>3</b>	<b>83</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>107</b>

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 ok. 6 lat (mediana jest znacząco niższa i wynosi 3 lata, co związane jest z niedawnym odnowieniem ponad połowy floty). Najstarsze pojazdy wyprodukowano w 2001 i 2002 r. – MAN NL 222 klasy MAXI i normie spalania EURO 2, a najmłodsze autobusy w 2020 r. – 10 szt. Solaris Urbino 12 klasy MAXI.

Pojazdy w wieku 2-4 lat stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – aż 47,7% (wszystkie klasy MIDI, prawie wszystkie klasy MEGA18 oraz najliczniejsza grupa wiekowa klasy MAXI). Kolejnymi grupami są pojazdy w wieku 8-10 lat – stanowią one 19,6% wszystkich autobusów. 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 01.07.2021 r.)**

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT		10			10
2-4 LATA	3	33		15	51
4-6 LAT					
6-8 LAT			5		5
8-10 LAT		21			21
10-15 LAT		13			13
15 LAT I WIĘCEJ		6		1	7
SUMA	3	83	5	15	107

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:

- wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego, wskazujące na maksymalnie 10-letni okres eksploatacji autobusu, które będą wprowadzane stopniowo.

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

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

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 3 LAT			15		1	16
3-4 LATA		3	30			33
5-6 LAT			13		15	28
7-8 LAT				3		3
9-10 LAT			16	2		18
11-12 LAT			7			7
13-14 LAT			1			1
15 LAT I WIĘCEJ			1			1
SUMA		3	83	5	16	108

Źródło: Opracowanie własne

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

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 3 LAT			8			8
3-4 LATA			6		1	7
5-6 LAT		3	30			33
7-8 LAT			13		15	28
9-10 LAT				3		3
11-12 LAT			16	2		18
13-14 LAT			10			10
15 LAT I WIĘCEJ						
SUMA		3	83	5	16	107

Źródło: Opracowanie własne



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

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 3 LAT			10			10
3-4 LATA			2			2
5-6 LAT			12			12
7-8 LAT			10		1	11
9-10 LAT		3	33		15	51
11-12 LAT						
13-14 LAT				5		5
15 LAT I WIĘCEJ			16			16
<b>SUMA</b>		<b>3</b>	<b>83</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>107</b>

Źródło: Opracowanie własne

### 3.2.4 Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych

Wielkość emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji wynika ze zużycia paliwa przez pojazdy, ich norm spalania, jak również przejechanego dystansu. W celu oszacowania emisji gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym przyjęto średnie zużycie oleju napędowego dla każdej grupy, która składa się z autobusów o jednakowej marce, klasie oraz normie spalania. Na ich podstawie oszacowano emisję gazów cieplarnianych (tj. dwutlenku węgla CO<sub>2</sub>) i substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO<sub>x</sub> i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w kolejnej tabeli.

**Tab. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 13.08.2021 r.)**

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g	NO <sub>x</sub> w g	PM w g	CO <sub>2</sub> w kg
<b>EURO 2</b>				
MAN NL 263	102 744,18	653 826,60	14 010,57	24 271,72
<b>EURO 3</b>				
MAN LION'S CITY G	53 016,15	401 637,50	8 032,75	20 873,74
<b>EURO 4</b>				
MAN LION'S CITY	205 363,69	1 562 549,82	8 928,86	116 011,73
MAN NL 263	38 064,06	289 617,83	1 654,96	21 502,72
SCANIA OMNACITY	283 570,34	2 157 600,42	12 329,15	160 191,35
<b>EURO 5</b>				
MAN LION'S CITY A21	3 085 289,75	13 414 303,27	134 143,03	1 742 907,01
<b>EURO 6</b>				
MAN LION'S CITY A37	1 133 557,81	3 487 870,18	87 196,75	2 265 877,42
MAN LION'S CITY A47	69 408,47	213 564,53	5 339,11	138 741,13
MAN LION'S CITY G A23	481 947,50	1 482 915,38	37 072,88	963 368,56
MAN LION'S CITY L A26	221 181,33	680 557,93	17 013,95	442 121,06
SOLARIS URBINO 12	217 209,08	668 335,63	16 708,39	434 180,90
<b>roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich pojazdów w komunikacji miejskiej:</b>	<b>5 891 352,36</b>	<b>25 012 779,09</b>	<b>342 430,40</b>	<b>6 330 047,35</b>

Źródło: Opracowanie własne

### 3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne sieci linii komunikacji miejskiej w Opolu. System został przeanalizowany pod względem liczby wozokilometrów liniowych według typu dnia i wskaźników wykorzystania taboru. Następnie przedstawiono dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady. W końcowej części rozdziału wykonana została analiza rozkładów jazdy z weryfikacją długości postojów wyrównawczych. Wszystkie linie komunikacyjne wykonują pracę eksploatacyjną łącznie z przejazdami technicznymi w podstawowe typy dni na poziomie:

- dzień roboczy szkolny – 19 131,0 wzk, m

#### 3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

MZK dysponuje 107 autobusami, z czego do obsługi linii komunikacji miejskiej eksploatowanych jest:

- w dni robocze szkolne 80 autobusów – 74,8% taboru,

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

Wszystkie brygady wykorzystywane do realizacji przewozów w ramach komunikacji miejskiej w dzień roboczy szkolny wykonują łącznie 18 804,39 wzk, m. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie na dystansie o długości 59,95 km (MAXI), zaś najdłuższe zadanie ma przebieg o długości 390,33 km (MEGA15). Przeciętna długość pracy eksploatacyjnej brygady w całej sieci wynosi 235,05 km. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

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

Równanie 1 Współczynnik zmienności

gdzie:

**s** – odchylenie standardowe

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

Cała sieć charakteryzuje się przeciętnym zróżnicowaniem przebiegów brygad na poziomie 32,57%, wynikającym z dużego udziału taboru MAXI charakteryzującego się najwyższym współczynnikiem zmienności osiągającym wartość 33,12%, podczas gdy mniej liczne typy osiągają niższe wartości (najmniejsza dla pojazdów MIDI 11,14%).

- dzień roboczy feryjny – wakacyjny – 17 185,3 wzk, m
- sobota – 12 520,1 wzk, m
- niedziela bez handlu – 11 472,8 wzk, m
- główne święto – 4 047,0 wzk, m

Najwięcej kilometrów realizowanych jest na linii 10, która łączy osiedla na wschodzie (Malinka, Kolonia Goślawicka) i północy Opola (Wróblin, Czarnowąsy, Świerkle) przez Os. Armii Krajowej, Śródmieście, Dworzec Główny, Stare Miasto oraz przemysłowy Zakrzów, dodatkowo linia wykonuje kursy obsługujące elektrownię Brzeziny oraz kursy podmiejskie do Brynicy. Najmniejszą pracą eksploatacyjną, charakteryzuje się linia 80 oraz nocne N1, N2, N5, N13, N15, funkcjonujące wyłącznie w wybranych okresach dnia.

- w dni robocze wakacyjne 68 autobusów – 63,6% taboru,
- w soboty 49 autobusów – 45,8% taboru,
- w niedziele bez handlu i niedziele handlowe 46 autobusów – 43,0% taboru,
- w główne święta 21 autobusów – 19,6% taboru.

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

Parametr / typ taboru	MINI	MIDI	MAXI	MEGA 15	MEGA 18	Cała sieć
liczba brygad		4	55	6	15	80
minimalna długość [km]		136,16	59,95	224,94	112,76	59,95
maksymalna długość [km]		186,93	358,81	390,33	296,66	390,33
przeciętna długość [km]		162,05	241,63	291,46	207,85	235,05
odch. standardowe		18,06	80,02	56,45	53,20	76,56
wsp. zmienności		11,14%	33,12%	19,37%	25,60%	32,57%
suma wzkm		648,19	13 289,74	1 748,75	3 117,71	18 804,39

Źródło: Opracowanie własne

### 3.3.3 Analiza rozkładów jazdy

Ze względu na ograniczenia techniczne wynikające z zmniejszonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych (względem napędzanych w sposób konwencjonalny) wykonano pogłębioną analizę rozkładów jazdy. Analiza posłużyła do wskazania linii lub brygad, które mogłyby zostać obsłużone przez autobusy zeroemisyjne. Zdiagnozowano również najczęściej występujące długości przerw

międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych, warunkujących liczbę autobusów niezbędnych do obsługi linii po elektryfikacji. Szczegółową analizę rozkładów jazdy dla każdego wariantu dokonano w następnym rozdziale. W Tab. 3.11 zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

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

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	0	4	55	6	15	80
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	0	4	55	6	15	80
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	0	3	83	5	16	107
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	0%	133%	66%	120%	94%	75%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Udział pojazdów zeroemisyjnych	0%	0%	0%	0%	0%	0%

W przypadku pojazdów MIDI wskaźnik jest większy od 100% ze względu na wykorzystywanie pojazdów tego typu zarówno do obsługi zadań nocnych jak i dziennego, w przypadku pojazdów MEGA jest dopasowanie MEGA15/MEGA18 w zależności od zapotrzebowania

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnej tabeli przedstawiono najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. Krańce podstawowe są głównymi wariantami linii w systemach informacji pasażerskiej. Długości postojów na wszystkich innych przystankach krańcowych są przedstawione w kolumnie „krańce wariantowe”. Wskazane interwały są modułowymi częstotliwościami kursowania lub

uśrednionymi odstępami między kolejnymi kursami. Przy braku powtarzalnych interwałów rozumianych jako częstotliwości kursowania, zdefiniowany został przedział z występującymi odstępami lub liczba par kursów (np. „p1” oznacza 1 parę). Z analizy wyłączone zostały dedykowane przerwy posiłkowe, które nie są zaplanowane jako powtarzalne postoje wyrównawcze.

Tab. 3.12 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Krańiec 1	Krańiec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Krańiec 1	Krańiec 2	Krańce wariantowe
3	Pużaka	Al. Przyjaźni	15	10	8	24	15	14	4	-
5	Wrzoski	Żytnia	30	12	5	20/34	60	18	11	-
7	Prószkowska-Politechnika	Złota-Dworzec Grotowice	30	7-10	5	2	30	7-14	7	3
8	Grotowice	Polska Nowa Wieś	60	10	18	12	30	18-20	8-34	6
9	Witosa-Wygonowa	Bierkowice	60	11	25	-	60	6	-	4-12
10	Witosa-Centrum Handlowe	Czarnowąsy	30	14-20	3-26	16-23	15	3-11	5	2-14
11	Pużaka	Grudzice	30	16	2	-	30	16	1	-
12	Wrocławska-Centrum Handlowe	Grotowice	60	28	10	-	30	18	19	8
13	Witosa-Wygonowa	Sławice	60	11	26	-	30	18	21-31	-
14	Malina	Wschodnia	30	12	31	-	30	20	20	17
15	Witosa-Wygonowa	Winów-Szkolna	30	7	19	27	15	11	7	18
16	Al. Przyjaźni	Wawelno	60	4	17	-	60	9	10	-
17	Dambonia	Częstochowska	30	37	10	2-22	15	10	3	10-26
18	Witosa-Centrum Handlowe	Wrocławska-Centrum Handlowe	60	8	26	-	60	2	-	24
21	Wschodnia	Brzezie	60	19	27	24	30	5	7	7
25	Prószkowska-Politechnika	-	30	38	-	-	30	31	-	-
28	Wrocławska-Centrum Handlowe	Grudzice	60	26	12	-	60	30	17	-
80	Dambonia	Pucnik	-	-	-	-	p1	4	4	-

Pominięto linie nocne. Dla czytelności w nazwach pętli pominięto dopisek Pętla

Źródło: Opracowanie własne

## 4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W niniejszym rozdziale 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.

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

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

Pod koniec rozdziału przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania dwóch wariantów do dalszych analiz kosztów i korzyści wynikających z ich wdrożenia. Obecnie w trakcie realizacji jest dostawa 5 pojazdów elektrycznych.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych, w sieci komunikacji miejskiej w Opolu 107 pojazdach, teoretycznie wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi<sup>9</sup>:

- 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. – 32 pojazdy (tj. udział na poziomie 30%).

wyzwaniem infrastrukturalnym i technologicznym jest budowa scentralizowanej stacji tankowania wodoru (HRS), która umiejscowiona może być np. na terenie zajezdni autobusowej.

Pod względem prawnym, w związku z względnie małą liczbą systemów, ale cały czas rozwijaną, normy prawne nie są jeszcze tak dopracowane jak w przypadku innych paliw. W 2020 roku powołano europejskie konsorcjum („StasHH”), w ramach którego firmy i instytucje działające w branży wspólnie opracują

<sup>9</sup> Obliczając liczbę wymaganych autobusów zeroemisyjnych, przyjęto metodę zaokrąglania w górę do pełnych jedności dla wartości z ułamkami.



europęjską normę dotyczącą specyfikacji ogniw paliwowych do pojazdów użytkowych. Obecnie autobusy napędzane wodorem są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak Londyn, Pau, Hamburg, Oslo, Mediolan, Kolonia czy Wuppertal. Są to niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk, poza rekordowym przewoźnikiem z Kolonii<sup>10</sup> posiadającym 35 autobusów wodorowych we flocie oraz obsługującym także obszary podmiejskie. Mimo wszystko ich liczba wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie dzięki programowi współfinansowanemu przez Unię Europejską o nazwie JIVE & JIVE 2, do końca 2021 roku zakontraktowano ponad 200 nowych pojazdów napędzanych wodorem

(w tym 15 nowych dla Kolonii)<sup>11</sup>. Co warto podkreślić, od 2019 roku złożono już zamówienia na ponad 60 pojazdów produkowanych na terenie Polski. W ramach zakończonego 1 etapu programu „Zielony Transport Publiczny” NFOŚiGW złożono 4 wnioski o dotację na zakup ponad 120 pojazdów zasilanych czystym wodorem. Beneficjentami mogą zostać MPK Poznań, MPK Włocławek, Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia i Miasto Chełm.<sup>12</sup> Niniejsze miasta nie są jedynymi w Polsce, w których planowane jest wykorzystanie autobusów wodorowych – w dniu 23.06.2021 r. MZK Konin wybrał dostawcę w formie oddania w dzierżawę 12-metrowego autobusu wodorowego<sup>13</sup>.

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

Miasto	Liczba autobusów	Producent autobusów	Typ autobusu
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
Aargau	5	Mercedes (EvoBus)	12-metrowy
Oslo	5	Van Hool	12-metrowy
Pau	8	Van Hool (ExquiCity FC)	18-metrowy
Wuppertal	10	Van Hool	12-metrowy

Źródło: Opracowanie własne

#### 4.1.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy napędzane energią pochodzącą z czystego wodoru różnią się od klasycznych autobusów elektrycznych tym, że głównym źródłem prądu elektrycznego są ogniwa wodorowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję wspomagającą (są doładowywane

w trakcie jazdy). Rozwiązanie to jest korzystniejsze ze względu na krótki czas tankowania i wysoką operacyjność autobusu wyposażonego w ogniwa paliwowe. Zbiorniki na wodór umieszczane na dachu autobusu mają sumaryczną pojemność 35-40 kg, co

<sup>10</sup> Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) jest pionierem zastosowań autobusów wodorowych – pierwsze wdrożenie w 2011 r.

<sup>11</sup> [https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses\\_web.pdf](https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses_web.pdf), dostęp: 05.07.21

<sup>12</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/mobile/zielony-transport-publiczny-samorzady-mierza-wysoko-67564.html>, dostęp: 05.07.21

<sup>13</sup> POSTĘPOWANIE NR Z3/51472 MZK Konin, [https://mzk-konin.logintrade.net/zapytania\\_email,42525,3c77791b126e1e33dc95c13a3d914e11.html](https://mzk-konin.logintrade.net/zapytania_email,42525,3c77791b126e1e33dc95c13a3d914e11.html), dostęp: 06.07.21

wystarcza na przejechanie ok. 350-450 km, bez konieczności uzupełniania 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. Dodatkowo cały czas prowadzone są badania nad możliwościami zwiększenia gęstości zmagazynowanej energii, ostatnio w ramach wykorzystania wodoru magnezu – dzięki, któremu możliwe jest zmniejszenie wymiarów zbiornika i wymagań infrastruktury ładowania ze względu na zmniejszenie ciśnienia do ok. 0,6 MPa umożliwiając tankowanie zmodyfikowanym pistoletem ON/Pb)<sup>14</sup>.

Eksploatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością budowy odpowiedniej infrastruktury do tankowania (należy zaznaczyć, że obecnie w Polsce nie występują stacje tankowania wodorem – czysty wodór na potrzeby transportowe nie jest dystrybuowany). Pojawiły się natomiast pierwsze porozumienia mające na celu stworzenie infrastruktury do ładowania takich pojazdów<sup>15</sup>. Obecnie planowane jest uruchomienie kilku pilotażowych stacji: w Poznaniu, Gdańsku oraz Warszawie.

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

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

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
Ursus Demo Hydrogen (elektryczny na wodorowe ogniwa paliwowe)	12 m	2017	70 kWh	226 kW (silnik w piastach kół) 120 kW (silnik na osiach)	450 km	20 tys. h pracy, 700 tys. km przebiegu, ok. 80 pasażerów
Solaris Urbino 12 Hydrogen	12 m	2019	29,2 kWh	2 x 60 kW	ponad 350 km	ok. 80 pasażerów
Van Hool A330FC	13,1 m	2019	90 kWh (120 kWh)	2x85 kW	300 km	67 pasażerów
Mercedes Citaro FuelCELL-Hybrid	12m	2009	26,9 kWh	120-160 kW	200-250 km	76 pasażerów
Caetano H2 City Gold	10,7	2020	60 kWh	180 kW	400 km	64 pasażerów
Caetano H2 City Gold	11,9	2020	60 kWh	180 kW	400 km	87 pasażerów

Źródło: Opracowanie własne

#### 4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów napędzanych wodorem, generują koszty zakupu taboru jak i infrastruktury niezbędnej do tankowania pojazdu. Koszty zakupu w

materiałach i podręczniku promującym zastosowanie ogniw wodorowych w transporcie publicznym, autobusu typu MAXI szacuje się na

<sup>14</sup> <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/februar-2021/wasserstoffantriebe-fuer-e-scooter-und-co.html>, dostęp: 05.07.2021

<sup>15</sup> Miasto Gdynia i Grupa Lotos podpisały list intencyjny dotyczący ewentualnych dostaw wodoru (data podpisania

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

poziomie 650 tys. euro, zaś autobusu typu MEGA18 na poziomie 1 miliona euro<sup>16</sup>.

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 ostatecznie<sup>17</sup>. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie dla MAXI - 0,75 mln euro netto, dla MEGA18 - 0,90 mln euro netto.

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

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam <sup>18</sup>	2	Van Hool 13m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia* (2018)	30	Van Hool 13m	13,0mln €	430 tys. €
Kolonia* (2020)	15	Solaris Urbino 12 Hydrogen	Brak danych	<625 tys. € (warunek przetargu, Van Hool zaproponował 650 tys. €)
Aberdeen <sup>19</sup>	10	Van Hool 13m	brak danych	~500 tys. £≈560 tys. €
Wuppertal	10	Van Hool	12,0 mln €	650 tys. €

Zamówienia dla Kolonii były częścią wspólnego zamówienia Kolonii i Wuppertalu, w 2018 30+10, w 2020 15+10  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykułów branżowych

### 4.1.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów

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

- magazyn wodoru (zbiornik niski- 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)<sup>20</sup> i wymagań, jakie stawiają założenia odnośnie do taboru i jej użytkowników. Według danych opublikowanych przez stowarzyszenie UKH2Mobility, na budowę sieci stacji tankowania wodoru w największych miastach do 2030 roku, potrzeba 418 mln funtów. Kwota ta ma pokryć koszty budowy blisko 1200 stacji, co oznacza, że średnio jedna stacja będzie kosztować 350 tys. funtów, czyli około 400 tys. euro. W artykułach traktujących o stacjach tankowania wodoru do aut osobowych, padają kwoty między 0,6 mln 2,0 mln \$ oraz między 1,0 a 2,24 mln €<sup>21,22</sup>.

<sup>16</sup> JIVE and MEHRLIN Performance Assessment Handbook, Stefan Eckert, Michael Faltenbacher, Klaus Stolzenburg, Martin Gallmetzer

<sup>17</sup> [https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null\\_Emissio/2018\\_Dat enblatt\\_Van\\_Hool.pdf](https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null_Emissio/2018_Dat enblatt_Van_Hool.pdf), dostęp: 08.07.2021

<sup>18</sup> <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp: 08.07.2021

<sup>19</sup> <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses>, dostęp: 08.03.2021

<sup>20</sup> <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing>, dostęp: 09.03.2021

<sup>21</sup> Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, Forschungszentrum Jülich GmbH, 2018.

<sup>22</sup> <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp: 09.03.2021

#### 4.1.4 Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Opolu

Do obsługi komunikacji miejskiej w Opolu przeznaczonych jest 107 pojazdów. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej, potrzebne jest wykorzystywanie 32 pojazdów zeroemisyjnych. W kontekście obecnie realizowanej dostawy 5 pojazdów elektrycznych, niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych dla 27 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi – wybrano najstarsze z pojazdów: 26 MAXI i 1 MEGA18. 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	94,45 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	2,00 mln zł
Stacja tankowania wodoru	9,26 mln zł
<b>Łączne nakłady inwestycyjne</b>	<b>105,71 mln zł</b>

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 styczniu 2021 r. w Polsce zarejestrowane były 442 autobusy elektryczne akumulatorowe<sup>23</sup>. Większość z nich wprowadzono do eksploatacji w 2020 r., kiedy zarejestrowano aż 201 sztuk (wzrost o 253% względem 2019 r.)<sup>24</sup>. Autobusy elektryczne w Polsce produkuje wielu producentów, w tym ARP E-Vehicles Sp. z o.o., Autosan sp. z o.o., MAN Truck & Bus, Solaris Bus & Coach S.A (obecnie realizuje zlecenie dla Opola na 5 pojazdów dostosowanych do ładowania z ładowarek pantografowych) oraz Volvo Polska sp. z o.o. Autobusy elektryczne mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych<sup>25</sup>, ze względu na konieczność montażu

akumulatorów. Wyróżniają się lepszymi charakterystykami dynamicznymi – stosowane w autobusach elektrycznych silniki asynchroniczne, w przeciwieństwie do spalinowych, osiągają maksymalny moment obrotowy już przy rozruchu. Do ich zasilania używa się przeważnie akumulatorów litowo-jonowych m.in.:

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

<sup>23</sup> <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-wzrasta-zainteresowanie-hybrydami-plug-in/>

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

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

- litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C,
- litowo-tytanowych LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę<sup>26</sup>.

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

Założono, że dla autobusu 12 metrowego zużycie energii kształtuje się na poziomie 1,30 kWh/km, natomiast dla autobusu 18 metrowego 1,80 kWh/km.

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

dużym prądem (o natężeniu 30-60A) możliwe jest doładowywanie akumulatorów na przykład podczas postoju na pętli. Już 10 minutowe doładowanie pozwala wydłużyć zasięg autobusu o 20 – 40 km. Z tego względu najczęściej pojazdy są ładowane niskim prądem metodą plug-in na zajezdni w porze nocnej, natomiast podczas eksploatacji są doładowywane podczas postojów na pętlach. Dzięki takiemu rozwiązaniu autobus może wykonać więcej kilometrów w ruchu liniowym, zanim konieczny będzie zjazd na ładowanie.



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

*Źródło: Zbiory własne*

Trzecią metodą, pod względem eksploatacji autobusu zbliżoną do ładowania pantografowego, jest ładowanie indukcyjne. Ładowarka indukcyjna o natężeniu 125A potrafi w ciągu 10 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.

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



**Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast**

Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowarki zawarte w cenie
Inowrocław	Volvo	12m	8	2,086	8x plug in
Kraków	Solaris	12m	17	2,050	brak
Kraków	Solaris	18m	3	2,649	brak
Rzeszów	Solaris	12m	10	2,455	10x plug-in i 2x pantografowa
Szczecinek	Ursus	12m	10	2,060	11x plug-in
Poznań	Solaris	18m	15	3,130	brak
Poznań	Solaris	12m	6	2,198	brak
Łomianki	Solaris	12m	2	2,300	2x plug-in
Nowy Sącz	Ursus	12m	2	3,080	1x plug-in i 1x pantografowe
Szczecin	Solaris	18m	8	4,043	Brak
Włocławek	Solaris	12m	3	2,285	5x plug-in
Warszawa	Solaris	18m	130	2,166	brak
Radom	Solaris	12m	10	2,599	10x plug-in i 2x pantografowe
Katowice	Solaris	12m	5	2,490	5x plug-in
Tychy	Solaris	12m	2	2,300	1x plug-in i 1x pantografowa
Ostrów Wielkopolski	Solaris	12m	10	2,408	5x plug in
Bełchatów	Solaris	12m	3	2,028	2x plug in
Świdnica	Volvo	12m	2	2,803	1x plug-in i 1x pantografowa
Opole	Solaris	12m	5	3,747	3x plug-in i 1x pantografowa

Źródło: Opracowanie własne

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

autobusów (z możliwością ładowania za pomocą pantografu):

- MINI – 1,7 mln zł,
- MIDI – 2,0 mln zł,
- MAXI – 2,3 mln zł,
- MEGA18 – 2,8 mln zł.

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

Koszt zakupu ładowarek plug-in jest relatywnie niski – koszt jednego urządzenia to około 225 000 zł netto. W celu efektywnego ładowania pojazdów zwykle wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek (jednej na pojazd dla urządzeń 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 akumulatorowych potrzebnych do obsłużenia zaplanowanych brygad będzie większa niż analogiczna liczba pojazdów spalinowych

(autobusy elektryczne akumulatorowe musiałyby zjeżdżać do zajezdni po wykonaniu około 215 km na kilkugodzinne ładowanie). Alternatywnym rozwiązaniem jest kierowanie takich autobusów do obsługi zadań typu dodatek, zadanie jednozmianowe lub zadanie dwuzmianowe z gwarancją obsługi na 1 ładowaniu.

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

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

możliwy zasięg na naładowanym akumulatorze. W analizie przyjęto założenie, że autobus elektryczny może przejechać 215 km na jednym pełnym naładowaniu akumulatorów. Wariant zakłada ładowanie pojazdów jedynie na terenie zajezdni do pełnego naładowania akumulatorów.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	0	4	29	6	9	48
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	26	0	6	32
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	0	4	55	6	15	80

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy pozwalają na obsługę autobusami elektrycznymi akumulatorowymi ze względu na ograniczony zasięg elektryfikację 32 dotychczasowych brygad, w tym 5 obsługiwanych autobusami

klasy MAXI z trwającego zadania w ramach projektu pn. „Elektromobilne Opole” obejmującego zakup autobusów doładowywanych z pantografu, 6 klasy MEGA18 oraz 21 klasy MAXI.

**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	0	3	57	5	10	75
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	26	0	6	32
Stan taboru	0	3	83	5	16	107
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	0%	133%	51%	120%	90%	67%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	100%	0%	100%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	31%	0%	38%	30%

Źródło: Opracowanie własne

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

Zastosowanie ładowarek pantografowych na trasie linii obsługiwanych taborem elektrycznym akumulatorowym przyczynia się do znaczącego zwiększenia zasięgu autobusu, przez co ogranicza się ryzyko zjazdu autobusu do zajezdni z powodu rozładowanych akumulatorów przed całkowitą realizacją zadania. Dodatkowym atutem jest możliwość zastosowania mniejszej liczby akumulatorów, co przekłada się na niższą

masę pojazdów, większą pojemność autobusu, a także prowadzi do wolniejszej degradacji nawierzchni dróg i przystanków.

Koszt zakupu jednej ładowarki pantografowej szybkiego ładowania to około 600 000 zł netto, a w autobusie konieczny będzie montaż dodatkowej instalacji i urządzeń do ładowania (ponadto uwzględnić należy dodatkowe nakłady inwestycyjne związane ze stworzeniem

odpowiedniej infrastruktury elektroenergetycznej na poziomie ok. 350 000 zł do każdej ładowarki pantografowej). Liczba ładowarek pantografowych i plug-in zależy przede wszystkim od dystansu przejeżdżanego podczas zaplanowanej pracy jednej brygady, dystansu między pętlami, czasu postoju na pętlach i nachyleń na trasie (większy zasięg będzie możliwy do zrealizowania na płaskim terenie).



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

Źródło: Zbiory własne

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

Analogicznie jak w modelu wyłącznie z ładowarkami plug-in wykonana została pogłębiona analiza rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od operatora komunikacji miejskiej oraz analiza wielokryterialna linii. Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, zakłada wykorzystanie pochodzącej z obecnie realizowanego projektu infrastruktury (tj. ładowarki pantografowej i 3 ładowarek dwustanowiskowych). W ramach niniejszego dokumentu zaplanowano także rozbudowę stacji szybkiego ładowania na terenie miasta oraz budowę kolejnych 14 ładowarek dwustanowiskowych lub 28 ładowarek jednostanowiskowych wolnego ładowania w zajezdni MZK.

W celu wyboru optymalnych linii do wykorzystania autobusów elektrycznych, przeprowadzona została analiza wielokryterialna, uwzględniająca aspekty techniczno – eksploatacyjne oraz społeczne, w ramach których preferowane są linie posiadające następujące cechy:

- regularna częstotliwość kursowania,

- posiadania krańców podstawowych na terenie gminy organizatora:
  - premiovano linie posiadające oba krańce w niniejszym obszarze,
  - krańce wspólne dla co najmniej 2 linii,
- dostępność typów pojazdu na rynku,
- obsługa przez typu pojazdów przeznaczonych do najszybszej wymiany,
- niskie zróżnicowanie typów taboru obsługujących linię,
- przebieg linii przez:
  - zabytkowe centrum miasta,
  - największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,
  - węzły przesiadkowe o charakterze lokalnym lub międzyregionalnym,
  - buspasy i śluzy.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej wymiany taboru na pojazdy zeroemisyjne wytypowano następujące linie: 3, 9, 11, 13, 14, 25 (elektryfikacja linii 25 już trwa) oraz znacząca większość kursów linii 15. Dla uzyskania

wysokiego wykorzystania pojazdów założono też, że w przypadku, zmniejszonego zapotrzebowania taborowego na wymienionych liniach pojazdy zeroemisyjne pojawią się także na zadaniach obsługujących inne linie w charakterze uzupełniającego tabor z napędem

konwencjonalnym, w pierwszej kolejności na liniach 5 (należy do wspólnej grupy z 9 i 13) oraz 7 (możliwość wykorzystania ładowarki na pętli linii 25 realizowanej w ramach obecnie trwającego projektu).

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

Aspekt	3	5	7	8	9	10	11	12	13
Techniczno - eksploatacyjny	3,08	2,24	3,36	1,72	2,91	2,52	3,12	1,61	2,87
Społeczny	1,34	1,50	0,81	1,01	1,50	1,17	1,17	1,34	1,50
Suma ocen	4,42	3,74	4,17	2,72	4,41	3,69	4,29	2,95	4,37
Aspekt	14	15	16	17	18	21	25	28	80
Techniczno - eksploatacyjny	3,08	2,84	2,80	2,35	2,52	2,56	3,43	2,49	1,72
Społeczny	1,17	1,50	1,01	1,35	0,98	1,17	1,34	0,81	0,18
Suma ocen	4,25	4,34	3,81	3,70	3,50	3,73	4,77	3,30	1,90

Źródło: Opracowanie własne

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

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej elektryfikacji wybrano linie: 3, 9, 11, 13 i 14, linia 15 będzie elektryfikowana w znaczącej większości, zaś w przypadku linii 25 trwa już proces elektryfikacji. Założono, że autobusy elektryczne akumulatorowe będą także obsługiwały linię 5 w stopniu częściowym, a w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy na liniach całkowicie lub częściowo zelektryfikowanych tego typu pojazdy będą mogły obsługiwać wszystkie linie (przede wszystkim jednak linię 7), celem osiągnięcia jak

największego pozytywnego efektu obniżenia emisji lokalnej związanej z transportem.

Do celów określenia lokalizacji ładowarek szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu przeprowadzono analizę możliwości eksploatacyjnych i technicznych dla każdej pętli podstawowej z linii wybranych do elektryfikacji. W pierwszym etapie dokonano preselekcji potencjalnych lokalizacji pod względem sąsiadującej zabudowy, wykorzystania przez inne linie dając możliwość przeprowadzenia mieszania brygad (np. umożliwiającego wydłużenie postoju dla pojazdu potrzebującego dłuższego ładowania) oraz czy potencjalne miejsce dla ładowarki jest wspólne dla znaczącej większości kursów danej linii (np. pętla Wschodnia dla linii 14 obowiązuje dla prawie wszystkich kursów, zaś w przypadku linii 3 często wykorzystywana jest pętla wariantowa na przy Rejtana, co obniża potencjał krańca na Al. Przyjaźni). Dodatkowo ze względów ekonomicznych założono instalację ładowarki wyłącznie na 1 z krańców trasy, który otrzyma większą liczbę punktów.



Tab. 4.9 Preselekcja pętli przeznaczonych do budowy ładowarek pantografowych

Nazwa	Kraniec podstawowy		Sąsiedztwo zabudowy	Potencjalne wykorzystanie w ramach		Suma punktów
	Linie ogółem	Linie elektryfikowane		Linii elektryfikowanych	Sieci	
AL. PRZYJAŹNI-PĘTLA	3, 16	3	5	1	3	9
BIERKOWICE-PĘTLA	9	9	5	5	1	11
GRUDZICE-PĘTLA	11, 28	11	5	5	3	13
MALINA-PĘTLA	14	14	3	5	1	9
PRÓSZKOWSKA-POLITECHNIKA	7, 25	25	5	5	3	13
PUŻAKA-PĘTLA	3, 11	3, 11	5	5	5	15
SŁAWICE-PĘTLA	13	13	5	5	1	11
WITOSA-WYGONOWA-PĘTLA	9, 13, 15	9, 13, 15	5	5	5	15
WÓJTOWA WIEŚ-PĘTLA	15	15	5	1	1	7
WSCHODNIA-PĘTLA	14, 21	14	5	5	3	13

Źródło: Opracowanie własne

Do dalszej analizy wybrano pętle, które uzyskały najwięcej punktów – Prószkowska-Politechnika dla linii 25 (obecnie w trakcie realizacji w ramach projektu „Elektromobilne Opole”), Pużaka dla linii 3 i 11, Witosa-Wygonowa dla linii 9, 13 i 15

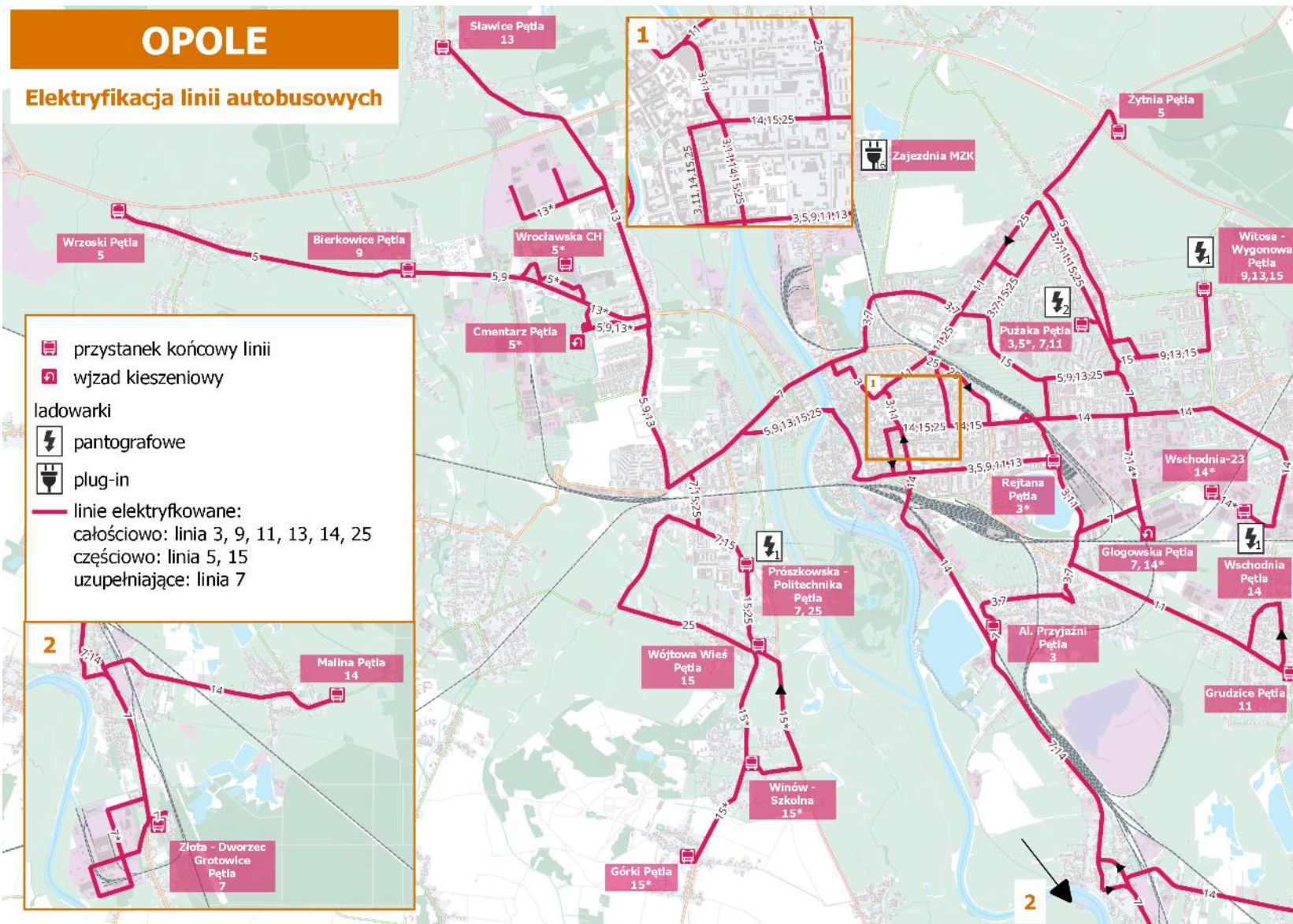
oraz Wschodnia dla 14. Wszystkie pętle znajdują się w zasięgu sieci elektroenergetycznej i są zlokalizowane na działkach publicznych (własność Skarbu Państwa, Gminy lub MZK).



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

Źródło: Zbiory własne





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

Źródło: Opracowanie własne

Linie 3, 9, 11, 13, 14, 15, 25 obecnie obsługują 32 brygady w dzień roboczy, w godzinach szczytu przewozowego. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu utrzymania

obecnie stosowanych częstotliwości kursowania do obsługi przewozów będzie potrzebny dodatkowy 1 pojazd. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej zatem wzrośnie o 1 pojazd.

**Tab. 4.10 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową**

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MIN I	MID I	MAX I	MEGA1 5	MEGA1 8	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	0	4	33	6	6	49
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:	0	0	23	0	9	32
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	0	1	0	0	1
Liczba brygad w ruchu	0	4	56	6	15	81

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych pojazdów oraz wykorzystywanie jako pojazdy rezerwowe wyłączenie spalinowych pojazdów klasy MAXI, nie wystąpi przyrost wielkości floty operatora. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in

i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebnych będzie łącznie 107 pojazdów, w tym 32 autobusy o napędzie elektrycznym (30%). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych względem ilostanu operatora.

**Tab. 4.11 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu**

Wariant W1	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	0	3	61	5	7	76
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	23	0	9	32
Stan taboru	0	3	84	5	16	108
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	0%	133%	54%	120%	86%	65%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	100%	0%	100%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	21%	0%	8%	30%

Źródło: Opracowanie własne

## 4.3 Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów

### 4.3.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów

Obecnie w Polsce istnieją trzy systemy trolejbusowe: w Gdyni, Lublinie oraz w Tychach. Trolejbusy w Polsce korzystają z sieci trakcyjnej z prądem stałym o napięciu 600 V. Do funkcjonowania komunikacji trolejbusowej potrzebne są także podstacje trakcyjne oraz zaplecze techniczne (zajezdnia trolejbusowa). Na przykładzie Gdyni, sieć trakcyjna jest zasilana z podstacji o mocy 1-2 MW, rozmieszczonych od siebie w odległościach 2-4 km. Obecnie najbardziej popularnymi pojazdami

w polskich systemach trolejbusowych są pojazdy produkcji krajowej w wersji 12 i 18 metrowej. W ostatnim czasie we wszystkich miastach posiadających sieć trolejbusową w Polsce (Gdyni, Lublinie i Tychach) dokonano zakupu nowych trolejbusów z bateriami litowo-tytanowymi o mocy co najmniej 55 kWh, w celu obsługi odcinka bez sieci trakcyjnej. Baterie mają pozwolić na przejechanie odcinka o długości 10-30 kilometrów. Dodatkowo w ramach polskiego prawa, do trolejbusów można także zaliczyć

zamawiane w 2020 r. przez Tyskie Linie Trolejbusowe pojazdy akumulatorowe, których podstawową metodą ładowania mają być odbieraki podłączone do trolejbusowej sieci trakcyjnej (automatycznie ładowanie w trakcie postoju, ale także możliwość wymuszenia ładowania w trakcie jazdy).

Kolejną zaletą jest możliwość awaryjnej zmiany trasy, podczas gdy występują utrudnienia na trasie linii trolejbusowej (remonty ulic i infrastruktury, wypadki drogowe, wyznaczone objazdy). Eliminuje to konieczność organizacji i ponoszenia kosztów na zastępczą komunikację autobusową w przypadku utrudnień.



Rys. 4.5 Trolejbus typu MAXI w Tychach

Źródło: Zbiory własne

### 4.3.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 r. w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup 15 sztuk trolejbusów klasy MEGA18. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto<sup>27</sup>. W 2018 r., także w Lublinie, przeprowadzono postępowanie na zakup taboru – 10 szt. trolejbusów klasy MAXI. Wymogi dotyczące wyposażenia pojazdów były podobne, jak w postępowaniu przeprowadzonym w 2017 r. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 70 kWh, a koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 2,17 mln zł brutto<sup>28</sup>. W Gdyni w 2018 r. zakupiono 14 sztuk trolejbusów MAXI z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 typu MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy

trolejbus przegubowy klasy MEGA kosztował 3,15 mln zł brutto<sup>29</sup>. W marcu 2019 rozstrzygnięto zaś przetarg na dostawę 6 pojazdów MAXI o większych bateriach (min. 84 kWh), przy cenie pojedynczego pojazdu na poziomie 2,77 mln zł brutto<sup>30</sup>. Zakupu nowego taboru dokonano także w trzecim systemie trolejbusowym – w Tychach, gdzie rozpisano przetarg na dostawę trzech pojazdów klasy MAXI z bateriami nie mniejszymi niż 55 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,29 mln zł brutto<sup>31</sup>. Pod koniec 2020 r. także w tym mieście rozpisano przetarg na zakup 6 pojazdów klasy MAXI o akumulatorowych o minimalnej pojemności 80 kWh, których podstawową metodą ładowania mają być odbieraki i trolejbusowa sieć trakcyjna. 5 marca 2021 rozstrzygnięto przetarg, przeznaczając

<sup>27</sup> <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obsługi-linii-komunikacji-miejskiej-15-szt-trolejbusow-przegubowych-mega-numer-sprawy-dz-381-516/> , dostęp: 16.07.2021

<sup>28</sup> <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obsługi-linii-komunikacji-miejskiej-10-szt-trolejbusow-maxi-numer-referencyjny-dz-381-ue-118/> . dostęp: 17.07.2021

<sup>29</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html> , dostęp: 16.07.2021

<sup>30</sup> <https://bip.um.gdynia.pl/zamowienia-publiczne,738/postepowanie-na-dostawe-autobusow-elektrycznych-ladowanych-w-ruchu-i-na-postoju,529604> , dostęp: 15.07.2021

<sup>31</sup> <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727> , dostęp: 16.07.2021



prawie 18,23 mln zł brutto (3,04 mln zł brutto za pojazd)<sup>32</sup>.



Rys. 4.6 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem

Źródło: Zbiory własne

### 4.3.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową

W latach 2013-2015 w Lublinie wybudowano za 42 mln zł zajezdnię trolejbusową na 100 trolejbusów i 25 pojazdów zaplecza technicznego<sup>33</sup>. W ostatnim czasie dokonano także rozbudowy sieci trakcyjnej. Budowa 2,5 km nowej trakcji (w jedną stronę), podstacji trolejbusowej, przyłączy zasilających na przystankach kosztowała 5,47 mln zł brutto (1,1 mln zł brutto za km)<sup>34</sup>.

W Tychach 1 km (w jedną stronę) trakcji, budowa jednej stacji transformatorowo – prostownikowej, przebudowa sieci trakcyjnej na jednym skrzyżowaniu z połączeniem projektowanej sieci z istniejącą siecią kosztowała 8,73 mln zł brutto<sup>35</sup>.



Rys. 4.7 Trolejbus typu MAXI w Pireusie

Źródło: Zbiory własne

### 4.3.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Opolu

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej powinien wynosić 30%. MZK Opole użytkuje 107 pojazdów (w tym maksymalnie 80 pojazdów w ruchu liniowym komunikacji

miejscowej). Zatem MZK powinno posiadać 32 pojazdy zeroemisyjne w celu spełnienia wymogów płynących z uepa. Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy zakłada się w stosunku 1 do 1. Obecnie trwa projekt

<sup>32</sup> <https://platformazakupowa.pl/transakcja/384851>, dostęp: 21.07.2021

<sup>33</sup> [http://mpk.lublin.pl/?id\\_site=1&id=1184](http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184), dostęp: 21.07.2021

<sup>34</sup> <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczone/2016/2016-12-14-robota-budowlana-przetarg-nieograniczony-na-budowe-trakcji-trolejbusowej->

<w-ul-jana-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-jana-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-jana-pawla-ii-i-ul-/2017-01-25-informacja-z-otwarcia-ofert,4,14202,1.html>, dostęp: 20.07.2021

<sup>35</sup> [https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa\\_more\\_106289/](https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa_more_106289/), dostęp: 20.07.2021

mający na celu wprowadzenie pojazdów elektrycznych na linię 25, w ramach którego zamówiono 5 pojazdów. Tym samym potrzebne jest wprowadzenie 27 pojazdów elektrycznych, by uzyskać wymaganą wartość wskaźnika. Optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby elektryfikację linii 5, 9, 11, 13, 15 oraz 17, ponieważ tworzą one wiązki linii na możliwie długich wspólnych odcinkach trasy. Do obsługi wymienionych linii potrzeba 14 pojazdów klasy MEGA18 (w tym 3 w zamian za MEGA15) oraz 14 klasy MAXI. W związku z tym, że potrzebne jest 27 pojazdów jeden pojazd klasy MAXI pozostanie spalinowy. Zatem zakres rzeczowy inwestycji mógłby składać się z zakupu 27 trolejbusów, w tym 13 typu MAXI oraz 14 typu MEGA18 (niektóre z nich będą zastępować obecnie eksploatowane autobusy typu MEGA15).

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 Domańskiego-Cmentarna do Wrzoski-Pętla. Linie 9 i 13 mogą korzystać z sieci trakcyjnej między Witosy-Wygonowa i Domańskiego-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 trakcją trolejbusową. W analizowanym wariantcie łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Opolu docelowo może wynieść 55,9km (w tym 1,3 km odcinków jednokierunkowych).

**Tab. 4.12 Koszty netto zakupu trolejbusów**

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1,80 mln zł	13	23 400 000,00 zł
MEGA18	2,05 mln zł	14	28 700 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebnych będzie 27 trolejbusów - 13 pojazdów MAXI i 14 pojazdów MEGA18. Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem komunikacji trolejbusowej są

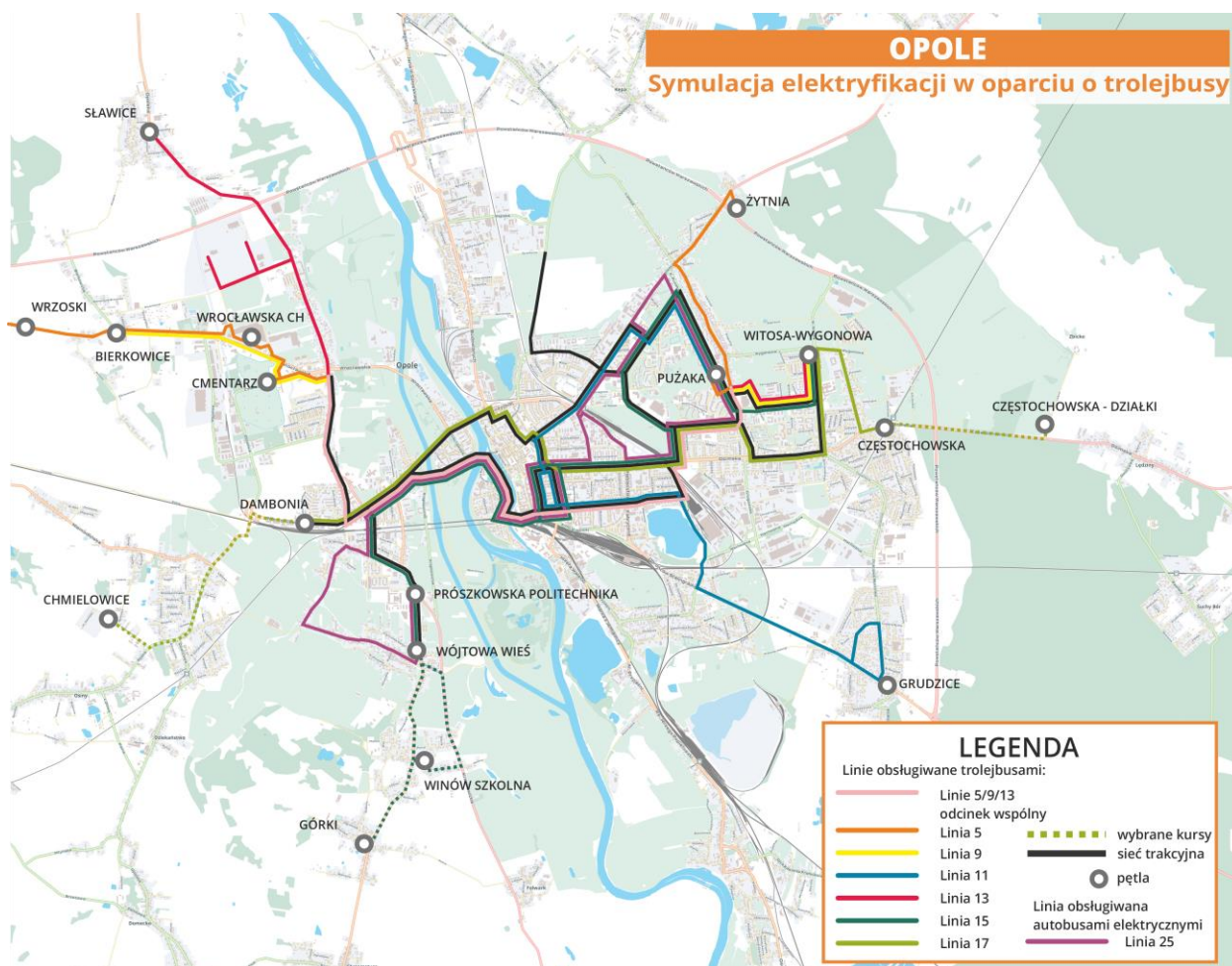
podstacje trakcyjne, które powinny być rozmieszczone co około 4 km - koszt budowy jednej podstacji szacuje się na poziomie około 2,1 mln zł netto. Poniżej zestawiono łączne koszty uruchomienia trakcji trolejbusowej w komunikacji miejskiej w Opolu.

**Tab. 4.13 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów**

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	52,10 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	111,80 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	16,80 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	192,90 mln zł

Źródło: Opracowanie własne





Rys. 4.8 Symulacja sieci trolejbusowej dla spełnienia warunków z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych

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 14.08.2019 r., weszły w życie przepisy ustawy<sup>36</sup>, dzięki której ponownie przywrócono zerową stawkę dla CNG, LNG, biogazu, wodoru oraz biowodoru do napędu silników spalinowych. Operatorzy podkreślają również mniejszą złożoność silnika, która powoduje niższe koszty napraw oraz wysoki wskaźnik wykorzystania taboru. Zasięg pojazdów zasilanych CNG wynosi 350-400 km<sup>37</sup>.

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 2021 r. w polskich miastach jeździło ponad 800 autobusów zasilanych gazem CNG, a w ostatnich latach średni co 3 nowy pojazd komunikacji miejskiej wykorzystywał ten rodzaj zasilania. 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. jeżdżąc m.in. po Warszawie (największa stacja tankowania w Polsce, umożliwiająca jednoczesne tankowanie do 110 pojazdów).

#### 4.4.2 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych i koszty inwestycyjne autobusów zasilanych gazem LNG

Skroplony gaz ziemny (LNG) zyskuje coraz większą popularność w transporcie, jednak najszersze zastosowanie znajduje w transporcie ciężarowym niż w komunikacji miejskiej. 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 km<sup>38</sup>. W dniu 14.08.2019 r., weszły w życie przepisy ustawy<sup>39</sup>, dzięki której wprowadzono zerową stawkę dla

<sup>36</sup> Ustawa z dnia 4 lipca 2019 r. o zmianie ustawy o podatku od towarów i usług oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2019 poz. 1520)

<sup>37</sup> Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej, PSPA, IGKM, Warszawa 2018

<sup>38</sup> Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej, PSPA, IGKM, Warszawa 2018

<sup>39</sup> Ustawa z dnia 4 lipca 2019 r. o zmianie ustawy o podatku od towarów i usług oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2019 poz. 1520)

CNG, LNG, biogazu, wodoru oraz biowodoru do napędu silników spalinowych.

W pierwszym kwartale 2021 r. w polskich miastach jeździło 35 autobusów (w Warszawie) zasilanych paliwem LNG. Co warto podkreślić, pierwszym europejskim wdrożeniem była sieć w

Olsztynie (wdrożenie w 2013 przez prywatną firmę, w 2018 umowa została zerwana). Koszt zakupu 35 autobusów MEGA18 z 10-letnim kontraktem na dostawę gazu był niższy niż szacunkowy i wyniósł 114 mln zł<sup>40</sup>.

#### 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 brutto<sup>41</sup>. W Kostrzynie Wielkopolskim zakup 4 autobusów klasy MAXI kosztował 5,34 mln zł brutto<sup>42</sup>. W 2017 roku odbył się także przetarg w Przemyślu 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 brutto<sup>43</sup>. W Tychach w ostatnim czasie rozpisano przetarg na 10 pojazdów klasy MIDI. Koszt pojedynczego pojazdu w tym przetargu wyniósł 0,86 mln zł brutto<sup>44</sup>. W 2020 warszawski przewoźnik zamówił kolejne pojazdy – 40 klasy MAXI (ok. 1,20 mln zł netto/sztuka) i 30 klasy MEGA18 (ok. 1,56 mln zł netto/sztuka).

#### 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 około 16 mln m<sup>3</sup>. Łączny koszt dostaw i budowy wyniósł

52 mln zł<sup>45</sup>. 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

<sup>40</sup> <http://www.elektroonline.pl/news/7897,Warszawa-inwestuje-w-autobusy-zasilane-pradem-i-LNG> (dostęp: 02.08.2021)

<sup>41</sup> <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: 02.08.2021)

<sup>42</sup> [http://infobus.pl/solaris-z-umowa-w-kostrzynie-wielkopolskim-4-x-nowy-urbino-12-cng\\_more\\_100586.html](http://infobus.pl/solaris-z-umowa-w-kostrzynie-wielkopolskim-4-x-nowy-urbino-12-cng_more_100586.html) (dostęp: 03.08.2021)

<sup>43</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/mza-warszawa-wybiera-gazowe-autobusy-mana-58373.html> (dostęp: 03.08.2021)

<sup>44</sup> [http://www.infobus.pl/pkm-tychy-wybral-gazowe-minibusy-od-mmi\\_more\\_106997.html](http://www.infobus.pl/pkm-tychy-wybral-gazowe-minibusy-od-mmi_more_106997.html) (dostęp: 30.07.2018)

<sup>45</sup> <http://silesiainfotransport.pl/blog/2016/10/26/najnowocześniejsza-w-polsce-stacja-cng/> (dostęp: 03.08.2021)

Wdrożenie autobusów zasilanych gazem CNG w Opolu wiązałoby się z budową nowej stacji (najbliższe stacje znajdują się ponad 80km od bazy MZK, w czeskim Jeseníku, we Wrocławiu – wykorzystywana przez ITS Michalczewski, Sosnowcu lub Tychach – PKM Tychy). 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 oraz realizowaną inwestycję dotyczącą 5 pojazdów elektrycznych klasy MAXI, analizie poddano wprowadzenie

autobusów zasilanych CNG/LNG. Przewidziano wprowadzenie 4 autobusów MEGA18 oraz 23 autobusów MAXI, co oznacza że łączna liczba autobusów niskoemisyjnych (zarówno elektrycznych z trwającego projektu jak i nowych zasilanych CNG/LNG) stanowić będzie 30% floty do obsługi opolskiej komunikacji miejskiej. Wymianę pojazdów założono w stosunku 1 do 1 w odniesieniu do stanu taborowego. Jednostkowe ceny autobusów oraz koszt infrastruktury potrzebnej do obsługi pojazdów został oszacowany wykorzystując obecne ceny rynkowe. Na potrzeby analizy przyjęto koszt netto autobusu MAXI zasilanego CNG/LNG na poziomie 1,20 mln zł, natomiast autobusu MEGA18 jako 1,56 mln zł (patrząc po przetargu dla MZA otrzymane stawki jednostkowe dla pojazdów MEGA18 były do siebie zbliżone pomimo 3 razy większego zamówienia).

**Tab. 4.14 Koszty wdrożenia autobusów zasilanych CNG/LNG**

Wyszczególnienie	Wartość netto inwestycji
Zakup taboru CNG/ LNG	33,84 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów CNG/ LNG	1,00 mln zł
Stacja tankowania CNG	1,39 mln zł
Stacja tankowania LNG	1,66 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne - CNG	36,23 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne - LNG	36,50 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 związanych ze zwiększeniem floty w ruchu (większość rozwiązań nie pozwala na wymianę 1:1), na dodatkową infrastrukturę do obsługi pojazdów zeroemisyjnych – budowę stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem, ładowarek do autobusów elektrycznych akumulatorowych bądź sieci trakcyjnej. Dodatkowym atutem jest brak

konieczności dostosowania istniejącej infrastruktury (np. zajezdni) do obsługi pojazdów zeroemisyjnych. Na potrzeby analizy przyjęto, że nowe pojazdy o napędzie spalinowym będą mieć najwyższą obecnie normę emisji spalin EURO 6. Na podstawie ostatnich przetargów można założyć koszt pojedynczego autobusu klasy MAXI zasilanego ON na poziomie około 1,05 mln zł netto oraz około 1,35 mln zł netto za autobus MEGA18 ON.

Tab. 4.15 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MAXI ON	23	1,05 mln zł	24 150 000
MEGA18 ON	4	1,35 mln zł	5 400 000
Koszt całkowity inwestycji:			29 550 000

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 taborem i możliwość używania pojazdów na innych liniach,
- społeczny:
  - liczba potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taborem,
  - potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym,
- dostępność technologiczna:
  - dostępność rozwiązania technologicznego w Polsce
- środowiskowy:
  - emisja spalin,
  - emisja hałasu,
- ekonomiczno-finansowy:
  - koszt wprowadzenia rozwiązania.



Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

**Tab. 4.16 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 pojazdu	0,40		
1.3		elastyczność zarządzania taborem	0,35		
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	0,1
4.1	Środowiskowy	emisja spalin	0,50	1,00	0,4
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, a następnie przemnożono poszczególne oceny wariantów przez wagi aspektów szczegółowych.

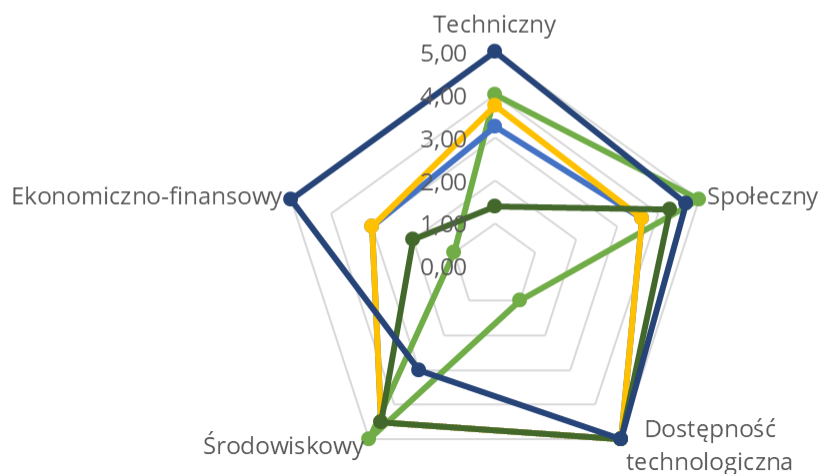
Tab. 4.17 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

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

Źródło: Opracowanie własne

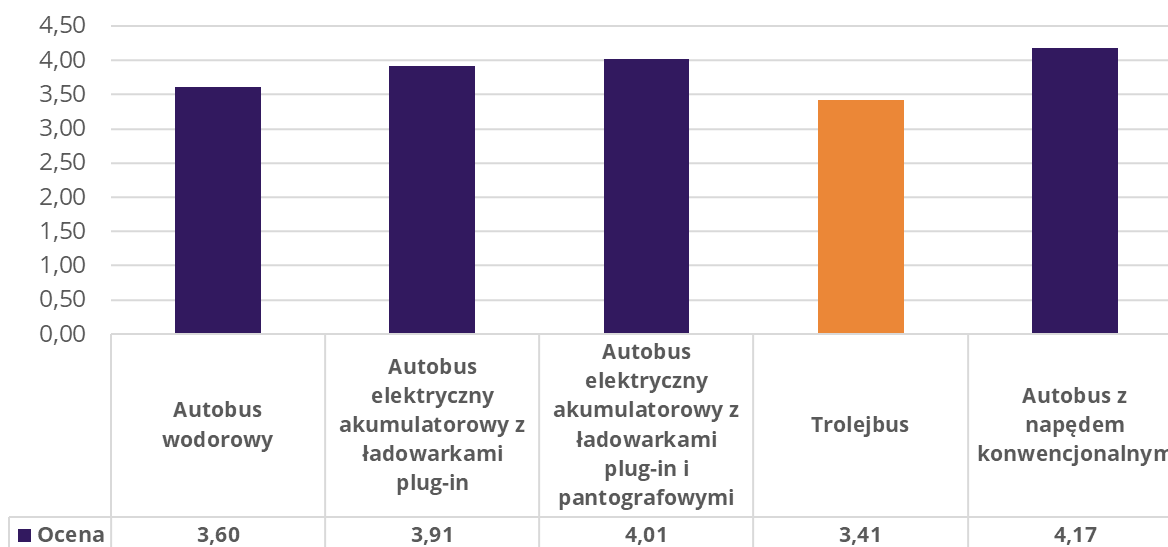
### Ocena wariantów w poszczególnych aspektach

- Autobus wodorowy
- Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in
- Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi
- Trolejbus
- Autobus z napędem konwencjonalnym



Rys. 4.9 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

## Ocena wyboru wariantu



Źródło: Opracowanie własne

Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie ocen wyboru wariantów poprzez obliczenie iloczynu ocen wariantów w aspektach szczegółowych z wagami ocen aspektów. **Najlepszym wariantem z minimalną przewagą okazały się autobusy z napędem konwencjonalnym z oceną na poziomie 4,17. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 4,01, zaś kolejną lokatę otrzymały autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in z oceną 3,91. Kolejną pozycję uzyskały autobusy wodorowe - z wodorowymi ogniwami paliwowymi z łączną oceną 3,60. Powyższe cztery warianty będą poddane szczegółowej analizie w następujących 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,
- W2 – wariant inwestycyjny mieszany, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów o napędzie elektrycznym, zarówno doładowywanych na krańcach energią z ładowarek pantografowych, jak i przystosowanych do ładowania wyłącznie z ładowarek zajezdniowych typu plug – in,
- W3 – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi, zakładający, że stacja tankowania wodoru w Opolu zostanie zbudowana przez inwestora zewnętrznego.

Tab. 4.18 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Opolu.

<p><b>W0</b> autobusy z obecnym napędem</p>	<p><b>W1</b> autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane z ładowarek pantografowych</p>	<p><b>W2</b> model mieszany: autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane z ładowarek pantografowych oraz autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane wyłącznie z ładowarek zajezdniowych plug-in z akumulatorami o dużej pojemności energii</p>	<p><b>W3</b> autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi</p>
<p>Odnowa floty w oparciu o autobusy konwencjonalne z napędem spalinowym oraz elektryczne akumulatorowe w ramach realizowanego obecnie projektu „Elektromobilne Opole” obejmującego zakup 5 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI, budowę 1 szt. ładowarki pantografowej na pętli Prószkowska – Politechnika, 3 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 32 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych (w tym 5 szt. MAXI w ramach realizowanego już projektu „Elektromobilne Opole”) Całościowo elektryfikowane linie: 3, 9, 11, 13, 14, 25, Częściowo elektryfikowane linie: 5, 15, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 7, 10, 17, 16, 18, 21, 28 Budowa 13 szt. dwustanowiskowych lub 26 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 5 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania na pętlach Prószkowska-Politechnika, Wschodnia, Witosowa-Wygonowa oraz 2 szt. na Pużaka działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 32 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych (w tym 5 szt. MAXI w ramach realizowanego już projektu „Elektromobilne Opole”) Całościowo elektryfikowane linie: 3, 9, 11, 13, 14, 25, Częściowo elektryfikowane linie: 5, 15, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 7, 10, 17, 16, 18, 21, 28 Budowa 13 szt. dwustanowiskowych lub 26 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 2 szt. ładowarki terenowej szybkiego ładowania na pętlach Prószkowska-Politechnika i Pużaka działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 27 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz 5 szt. elektrycznych akumulatorowych MAXI w ramach realizowanego już projektu „Elektromobilne Opole” Całościowo elektryfikowane linie: 3, 9, 11, 13, 14, 25, Częściowo elektryfikowane linie: 5, 15, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 7, 10, 17, 16, 18, 21, 28 Budowa 3 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych i budowę 1 szt. ładowarki pantografowej na pętli Prószkowska – Politechnika działającej w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in Założono, że stacja tankowania wodoru zostanie zbudowana przez inwestora zewnętrznego bez udziału finansowego Miasta Opola lub operatora komunikacji miejskiej Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>

Źródło: Opracowanie własne

## 5 Analiza finansowa

Na podstawie analizy wielokryterialnej do dalszej analizy wybrano wariant tzw. bezinwestycyjny z odtwarzaniem floty opolskiej komunikacji miejskiej o autobusy za obecnie stosowanymi napędami (wariant W0) oraz trzy warianty inwestycyjne:

- z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in i pantografowymi (wariant W1),
- z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in i pantografowymi oraz autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in (wariant W2),
- z autobusami wyposażonymi w wodorowe ogniwa paliwowe (wariant W3).

### 5.1 Założenia i metodyka analizy finansowej

- Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji.
- Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.
- Analiza została przeprowadzona na lata 2022-2043.
- W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 4%.
- Analiza została przeprowadzona w cenach stałych i nie uwzględnia wpływu inflacji.
- Analizę sporządzono w cenach netto (bez podatku VAT).
- Analiza została przeprowadzona w oparciu o model różnicowy.
- Prognoza finansowa została przeprowadzona w okresach rocznych.
- Pierwsze nakłady inwestycyjne w analizie zostaną podjęte w 2022 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2023 roku.
- Wartość rezydualna inwestycji została skalkulowana jako wartość środków trwałych po odpisach amortyzacyjnych w ostatnim roku analizy.
- Wartości kosztów operacyjnych oparto o dane historyczne lub na podstawie metody eksperckiej.
- Założono, że projekt wymiany taboru nie generuje dochodów oprócz wartości rezydualnej.
- Wymiana taboru nie spowoduje wzrostu wielkości popytu (tj. liczby pasażerów) oraz wozokilometrów – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej. W 2019 r. z usług komunikacji miejskiej w Opolu skorzystało 20,753 mln pasażerów.
- Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI przystosowane do szybkiego ładowania z ładowarek pantografowych realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 20% do poziomu ok. 68 tys. wzkm rocznie, kosztem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów,
- Autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI będą realizować zwiększoną pracę eksploatacyjną o 20% do poziomu ok. 68 tys. wzkm rocznie, zastępując pracę eksploatacyjną autobusów spalinowych typu MAXI z normą spalania EURO 6.

### 5.2 Nakłady inwestycyjne

Nakłady inwestycyjne zostały oszacowane w oparciu o analizę rynku oraz wiedzę ekspercką osób przeprowadzających analizę. Wszystkie

nakłady inwestycyjne zostały podane w kwotach netto. Założono, że lata inwestycji będą zbieżne z okresami przejściowymi w ustawie



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

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

Wariant W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	13 800 000 zł
Budowa 3 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2022	675 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Pużaka	2022	950 000 zł
Zakup 7 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	16 100 000 zł
Zakup 3 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MEGA18 o długości 18 m	2024	8 400 000 zł
Budowa 5 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2024	1 125 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Pużaka	2024	950 000 zł
Zakup 5 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	11 500 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MEGA18 o długości 18 m	2027	16 800 000 zł
Budowa 5 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	1 125 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowych z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Witosa-Wygonowa oraz Wschodnia-Pętla	2027	1 900 000 zł
<b>Suma:</b>		<b>73 325 000 zł</b>

Źródło: Opracowanie własne

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

Wariant W2		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	13 800 000 zł
Budowa 3 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2022	675 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Pużaka	2022	950 000 zł
Zakup 7 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	17 700 000 zł
Zakup 3 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MEGA18 o długości 18 m	2024	8 100 000 zł
Budowa 5 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2024	1 125 000 zł
Zakup 5 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	13 500 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MEGA18 o długości 18 m	2027	16 200 000 zł
Budowa 5 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	1 125 000 zł
<b>Suma:</b>		<b>73 175 000 zł</b>

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3**

Wariant W3		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 6 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2022	20 524 950 zł
Zakup 7 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2024	23 945 775 zł
Zakup 3 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MEGA18 o dł. 18 m	2024	12 314 970 zł
Zakup 5 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2027	17 104 125 zł
Zakup 6 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MEGA18 o dł. 18 m	2027	24 629 940 zł
<b>Suma:</b>		<b>98 519 760 zł</b>

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych – wszystkie warianty inwestycyjne**

Stożenie elektryfikacji linii			
LINIE	2023 r.	2025 r.	2028 r.
3	CZĘŚCIOWA	PEŁNA	PEŁNA
5	BRAK	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA
9	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
11	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
13	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
14	BRAK	BRAK	PEŁNA
15	BRAK	BRAK	CZĘŚCIOWA
25	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 te będą ponoszone po 15 latach użytkowania pojazdu o napędzie zeroemisyjnym. W przypadku obecnie posiadanych pojazdów o napędzie konwencjonalnym okres eksploatacji wynosić będzie nie mniej niż 15 lat, przy czym po każdej ich kolejnej wymianie okres żywotności wynosić będzie 10 lat. Dla każdego autobusu z napędem konwencjonalnym wyprodukowanego po 2021 r. pierwsze nakłady odtworzeniowe zostaną

poniesione po 10 latach eksplo. Przy akumulatorach w autobusach elektrycznych nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.5. . Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatorów stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2030 r. ich cena spadnie o 10% względem dzisiejszej. W Tab. 5.6 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych we wszystkich analizowanych wariantach.

**Tab. 5.5 Okres eksploatacji środków trwałych**

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

Źródło: Opracowanie własne

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

Rok	Wartość nakładów odtworzeniowych – W0	Wartość nakładów odtworzeniowych – W1	Wartość nakładów odtworzeniowych – W2	Wartość nakładów odtworzeniowych – W3
2021	1 350 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2022	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł
2023	6 300 000,00 zł	4 200 000,00 zł	4 200 000,00 zł	4 200 000,00 zł
2024	2 100 000,00 zł	2 100 000,00 zł	2 100 000,00 zł	1 050 000,00 zł
2025	- zł	- zł	- zł	- zł
2026	5 250 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2027	5 250 000,00 zł	1 350 000,00 zł	1 350 000,00 zł	1 350 000,00 zł
2028	16 800 000,00 zł	11 550 000,00 zł	11 550 000,00 zł	11 550 000,00 zł
2029	2 300 000,00 zł	- zł	- zł	2 300 000,00 zł
2030	3 450 000,00 zł	6 170 000,00 zł	6 170 000,00 zł	7 740 000,00 zł
2031	1 350 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2032	1 050 000,00 zł	8 040 000,00 zł	10 560 000,00 zł	8 800 000,00 zł
2033	40 200 000,00 zł	30 000 000,00 zł	30 000 000,00 zł	25 950 000,00 zł
2034	25 800 000,00 zł	24 750 000,00 zł	24 750 000,00 zł	24 750 000,00 zł
2035	10 500 000,00 zł	19 725 000,00 zł	23 685 000,00 zł	19 565 000,00 zł
2036	5 250 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2037	16 750 000,00 zł	26 650 000,00 zł	26 650 000,00 zł	21 874 950,00 zł
2038	16 800 000,00 zł	11 550 000,00 zł	11 550 000,00 zł	11 550 000,00 zł
2039	2 300 000,00 zł	24 500 000,00 zł	27 300 000,00 zł	38 560 745,00 zł
2040	3 450 000,00 zł	2 300 000,00 zł	2 300 000,00 zł	3 450 000,00 zł
2041	1 350 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2042	1 050 000,00 zł	29 350 000,00 zł	33 750 000,00 zł	42 784 065,00 zł
2043	- zł	- zł	- zł	- zł
SUMA	169 700 000,00 zł	203 285 000,00 zł	216 965 000,00 zł	226 524 760,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2021-2043	169 700 000,00 zł	203 285 000,00 zł	216 965 000,00 zł	226 524 760,00 zł
Zmiana do W0		33 585 000,00 zł	47 265 000,00 zł	56 824 760,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

## 5.4 Prognoza kosztów operacyjnych

Do kosztów operacyjnych zaliczono wszystkie koszty związane z eksploatacją taboru oraz infrastrukturą do obsługi autobusów zeroemisyjnych we wszystkich wariantach inwestycyjnych. Analizę przeprowadzono z podziałem na warianty oraz rozróżnieniem na poszczególne składowe. W każdym wariantcie

analizy (bezinwestycyjnym W0 oraz inwestycyjnych W1, W2, W3) wielkość pracy eksploatacyjnej jest jednakowa – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej w zakresie tras i rozkładów jazdy. Poniżej przedstawiono opis założeń do kalkulacji kosztów operacyjnych w arkuszu kalkulacyjnym.

Tab. 5.8 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zużycia materiałów i części zamiennych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych oraz z wodorowymi ogniwami paliwowymi względem autobusów spalinowych
Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych i z wodorowymi ogniwami paliwowymi obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym
Średnie spalanie ON	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.	Na podstawie danych od operatora. Wartości uwzględniają średnioroczne koszty klimatyzacji i ogrzewania.
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.
Średnie zużycie energii	-	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 130 kWh/ 100 km, autobusy MEGA18 180 kWh/100 km).	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 130 kWh/ 100 km, autobusy MEGA18 180 kWh/100 km).	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 130 kWh/ 100 km, autobusy MEGA18 180 kWh/100 km).

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zużycia energii	-	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika TAURON SA	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika TAURON SA	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika TAURON SA
Średnie zużycie wodoru	-	-	-	Oszacowano na podstawie doświadczeń operatorów z innych krajów (autobusy MAXI 9 kg/ 100 km, autobusy MEGA18 11 kg/ 100km)
Koszty zużycia wodoru	-	-	-	Oszacowano na podstawie kosztu 1kg na stacjach tankowania wodoru w innych krajach (tj. 7,50 €/ 1 kg)
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.
Koszty napraw	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie informacji z krajowych firm transportowych zgodnie z wytycznymi w Niebieskiej Księdze sektora publicznego dla pojazdów HGV wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%



Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
<b>Podatki i opłaty</b>	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XXXI/565/16 Rady Miasta Opola z dnia 29 września 2016 w sprawie podatku od środków transportowych na terenie miasta Opola	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale Nr XXXI/565/16 Rady Miasta Opola z dnia 29 września 2016 w sprawie podatku od środków transportowych na terenie miasta Opola	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale Nr XXXI/565/16 Rady Miasta Opola z dnia 29 września 2016 w sprawie podatku od środków transportowych na terenie miasta Opola	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale Nr XXXI/565/16 Rady Miasta Opola z dnia 29 września 2016 w sprawie podatku od środków transportowych na terenie miasta Opola
<b>Ubezpieczenia</b>	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MZK Opole z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.
<b>Koszty wynagrodzeń dodatkowych pracowników</b>	Założono, że koszty 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

## 5.5 Wartość rezydualna

W ostatnim roku analizy wyznaczono wartość rezydualną inwestycji jako wartość aktywów netto, z uwagi na niedochodowy charakter inwestycji. Wyniki zostały przedstawione poniżej:

**Tab. 5.9 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych**

Wyszczególnienie	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Wartość rezydualna w zł	29 300 000,00 zł	33 380 000,00 zł	29 362 500,00 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	227 125 000,00 zł	231 145 000,00 zł	221 737 500,00 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	256 425 000,00 zł	264 525 000,00 zł	251 100 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

## 5.6 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru

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

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,

- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

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

**Tab. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.**

Kategoria	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
FNPV/C	- 47 041 371,99	- 51 750 793,63	- 125 178 199,69
FRR/C	-16%	-18%	-49%

Źródło: Opracowanie własne

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

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

wymiany akumulatorów po 7. roku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych. Wielkość kosztów operacyjnych w wariantach W1 i W2 będzie niższa dzięki oszczędnościom wynikającym z obniżonych kosztów części zamiennych oraz przede wszystkim z tytułu niższych kosztów zużycia energii elektrycznej w porównaniu do kosztów zużycia oleju napędowego w autobusach spalinowych.

Obliczono także lukę finansową jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik dla całego okresu analizy przy docelowym udziale autobusów zeroemisyjnych w rozumieniu uepa wyniósł 60% w przypadku wariantu W1.

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

- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określonego w art. 243 Ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (t.j. Dz. U. z 2021 r. poz. 305), po uwzględnieniu zobowiązań związku
- współtworzonego przez jednostkę samorządu terytorialnego oraz po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń, obliczonego w oparciu o plan 3 kwartałów roku poprzedzającego rok budżetowy,
- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określony w art. 243 ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (t.j. Dz. U. z 2021 r. poz. 305), po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń w oparciu o wykonanie roku poprzedzającego pierwszy rok prognozy (wskaźnik ustalony w oparciu o średnią arytmetyczną z 3 poprzednich lat).

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

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

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

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

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

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

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

Emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, wywołując silne i przewlekłe choroby nawet ze skutkiem śmiertelnym. Emisja cząstek stałych PM 2,5, PM 10 prowadzi do<sup>46</sup>:

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

Emitowanie tlenków azotu wywołuje choroby ze skutkiem śmiertelnym oraz w szczególności

<sup>46</sup> Update of the Handbook on External Costs of Transport, RICARDO-AEA, 2014.

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

Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

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

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

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

Z kolejnej tabeli można wywnioskować, iż w wariantach W1 i W2 redukcja emisji dotknie tlenki azotu NO<sub>x</sub> (o 33,81 Mg w W1, w W2 o 32,63 Mg) oraz metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 19,86 Mg w W1 i o 19,05 Mg w W2). Widoczny jest wyraźny wzrost emisji dwutlenku węgla, gdyż jest on substancją emitowaną podczas produkcji energii elektrycznej. Jest to spowodowane faktem, iż polski sektor energetyki oparty jest na spalaniu węgla, co przekłada się na bardzo niekorzystne

wskaźniki dla pojazdów napędzanych energią elektryczną.

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

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

- tlenki azotu NO<sub>x</sub> o 61,09 Mg,
- pyły zawieszone PM 2,5 o 1,08 Mg,
- metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC o 20,32 Mg,
- oraz dwutlenek węgla CO<sub>2</sub> o 29 040,01 Mg.



Tab. 6.1 Roczne zestawienia emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery oraz gazów cieplarnianych w analizowanych wariantach [w Mg]

Rok	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3	W0	W1	W2	W3
	SO2				NOx				PM 2,5/ PM				NHMC/NMVOC				CO2			
2021	-	-	-	-	31,75	31,75	31,75	31,75	0,44	0,44	0,44	0,44	6,71	6,71	6,71	6,71	6 384,23	6 384,23	6 384,23	6 384,23
2022	-	0,23	0,23	0,19	30,48	28,69	28,69	28,73	0,41	0,42	0,42	0,42	6,56	6,11	6,11	6,14	6 383,71	6 328,19	6 328,19	6 326,98
2023	0,19	0,50	0,50	0,19	25,37	22,90	22,90	22,64	0,32	0,34	0,34	0,32	5,80	5,20	5,20	5,23	6 049,82	6 247,48	6 247,48	5 865,21
2024	0,19	0,50	0,50	0,19	20,55	19,69	19,69	19,42	0,30	0,32	0,32	0,31	5,26	4,84	4,84	4,87	5 965,25	6 191,09	6 191,09	5 808,83
2025	0,19	0,97	0,94	0,19	19,34	15,57	15,60	15,09	0,29	0,30	0,30	0,26	5,08	3,74	3,76	3,83	5 939,46	6 112,27	6 111,31	5 025,43
2026	0,19	0,97	0,94	0,19	19,34	15,57	15,60	15,09	0,29	0,30	0,30	0,26	5,08	3,74	3,76	3,83	5 939,46	6 112,27	6 111,31	5 025,43
2027	0,19	0,97	0,94	0,19	17,30	15,57	15,60	15,09	0,28	0,30	0,30	0,26	4,65	3,74	3,76	3,83	5 881,00	6 112,27	6 111,31	5 025,43
2028	0,19	1,49	1,43	0,19	15,27	12,11	12,18	10,52	0,26	0,27	0,27	0,19	4,22	2,88	2,93	2,84	5 822,55	6 081,12	6 078,97	4 145,33
2029	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2030	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2031	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2032	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2033	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2034	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2035	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2036	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2037	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2038	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2039	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2040	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2041	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2042	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
2043	0,19	1,49	1,43	0,19	8,75	7,67	7,74	6,04	0,22	0,23	0,23	0,16	2,84	1,95	1,99	1,90	5 635,48	5 953,70	5 951,56	4 016,72
Suma	3,95	28,01	26,85	4,14	310,68	276,87	278,06	248,99	5,88	6,20	6,20	4,80	86,02	66,16	66,97	65,70	132897,70	138874,48	138837,25	103857,69
Zmiana do W0		24,06	22,90	0,19		-33,81	-32,63	-61,69		0,32	0,32	-1,08		-19,86	-19,05	-20,32		5976,78	5939,55	-29040,01

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego<sup>47</sup>. Zakładają one uwzględnienie:

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

elektrownie ciepłe, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,

- w wariantach W0, W1, W2 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych wyłącznie przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej,
- w wariantcie W3 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych wyłącznie przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej, uwzględniając brak emisji z autobusów wodorowych.

Wskaźniki emisyjności CO<sub>2</sub> wskazane w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach pochodzących z opracowania EIB Carbon Footprint z 2012 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźnik

<sup>47</sup> Źródło:

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

emisyjności CO<sub>2</sub> w Polsce obniżył się w latach 2016 – 2019 o 7,9%, w związku z czym na potrzeby niniejszego opracowania uwzględniono wartość 719 kg/MWh emisji przy produkcji energii elektrycznej (wskazaną jako wartość rzeczywistą w 2019 r.).

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA z 2014 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE

pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźniki emisyjności NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> w Polsce obniżyły się w latach 2016 – 2019 odpowiednio o 30,1% i 45,3%. Dlatego też na potrzeby niniejszego dokumentu uwzględniono następujące wartości rzeczywiste z 2019 r. emisji szkodliwych substancji przy produkcji energii elektrycznej w Polsce:

- dla NO<sub>x</sub>: 0,576 g/kWh,
- dla PM: 0,029 g/kWh,
- dla CO<sub>2</sub>: 719 kg/MWh,
- dla SO<sub>2</sub>: 0,511 g/kWh.

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

Związek chemiczny	W0	W1	W2	W3	
	Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych				
SO <sub>2</sub>	412 785,56 zł	3 205 038,41 zł	3 069 632,10 zł	428 370,85 zł	
Zmiana do W0			2 792 252,86 zł	2 656 846,54 zł	15 585,29 zł
NO <sub>x</sub>	29 290 765,47 zł	25 875 827,38 zł	26 038 627,59 zł	23 439 493,14 zł	
Zmiana do W0			-3 414 938,09 zł	-3 252 137,88 zł	-5 851 272,33 zł
PM 2,5	9 635 520,24 zł	7 860 240,92 zł	7 957 492,09 zł	7 441 206,90 zł	
Zmiana do W0			-1 775 279,33 zł	-1 678 028,16 zł	-2 194 313,34 zł
NHMC/NMVOC	1 042 389,32 zł	802 578,11 zł	813 724,85 zł	795 127,28 zł	
Zmiana do W0			-239 811,21 zł	-228 664,47 zł	-247 262,04 zł
CO <sub>2</sub>	31 252 699,36 zł	32 728 053,65 zł	32 718 701,08 zł	24 007 469,23 zł	
Zmiana do W0			1 475 354,28 zł	1 466 001,71 zł	-7 245 230,13 zł
SUMA	71 634 159,96 zł	70 471 738,46 zł	70 598 177,70 zł	56 111 667,40 zł	
Zmiana do W0			-1 162 421,49 zł	-1 035 982,26 zł	-15 522 492,55 zł

Źródło: Opracowanie własne

W wariantach W1 i W2 największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na ich korzyść, można dostrzec w kosztach emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub> i pyłów zawieszonych PM 2,5. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO<sub>x</sub> oraz PM 2,5 wynosić będą odpowiednio w wariantach W1 ok. 3,4 oraz 1,8 mln zł, a wariantach W2 ok. 3,3 i 1,7 mln zł. Koszty emisji metanowych lotnych związków organicznych w wariantach W1 i W2 spadną o ok. 0,2 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> koszty emisji wzrosną o ok. 1,5 mln zł, z uwagi na emisję tego związku do górnych warstw atmosfery w wyniku produkcji energii elektrycznej opartej na spalaniu węgla. Największy przyrost kosztów w wyniku realizacji wariantów W1 i W2 cechuje emisję tlenków

siarki, mającą miejsce wyłącznie przy użytkowaniu autobusów elektrycznych akumulatorowych i wynosi on ok. 2,8 mln zł w wariantach W1 i ok. 2,7 mln zł w wariantach W2.

Znacznie korzystniej prezentują się efekty płynące z monetyzacji kosztów emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w wariantach inwestycyjnych W3, który przewiduje eksploatację autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Redukcja wszystkich analizowanych związków przełoży się na zmniejszenie kosztów zewnętrznych emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub> o ok. 5,9 mln zł, pyłów zawieszonych PM 2,5 o 2,2 mln zł, metanowych lotnych związków organicznych o ok. 0,5 mln zł, a dwutlenku węgla o ok. 15,5 mln zł.

Podsumowując:

- realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 1,2 mln zł,
- realizacja wariantu W2 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych

substancji i gazów cieplarnianych o ponad 1,0 mln zł,

- realizacja wariantu W3 przełoży się na spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych związków chemicznych o ok. 15,5 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.



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

*Źródło: Zbiory własne*

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA 2014),
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,
- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych<sup>48</sup>,
- średnią gęstość zaludnienia typowego obszaru miejskiego, zgodnie z założeniami wskazanymi w Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA, 2014),
- gęstość zaludnienia na podstawowych trasach linii objętych całkowitą elektryfikacją (2434 os./km<sup>2</sup>), przez co relacja gęstości zaludnienia przy całościowo elektryfikowanych liniach do średniej gęstości zaludnienia obszaru miejskiego (3000 os./km<sup>2</sup>) wynosi 0,811.

Korzyści zewnętrzne wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu po wprowadzeniu do eksploatacji

<sup>48</sup> Quieter buses socioeconomic effects”, Koucky & Partners A.B, 2014.

autobusów elektrycznych zostały zredukowane o wskaźnik relacji gęstości zaludnienia obszarów wzdłuż całościowo elektryfikowanych linii do gęstości zaludnienia typowego obszaru miejskiego, wynoszący 0,811. Poniższa tabela

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

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

Rok	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W0	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W1	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W2	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W3
2021	2 125 166,39 zł	2 125 166,39 zł	2 125 166,39 zł	2 125 166,39 zł
2022	2 163 213,60 zł	2 136 357,12 zł	2 136 357,12 zł	2 144 688,25 zł
2023	2 190 366,48 zł	2 129 762,99 zł	2 129 762,99 zł	2 138 308,34 zł
2024	2 247 002,89 zł	2 184 832,38 zł	2 184 832,38 zł	2 193 598,68 zł
2025	2 257 991,14 zł	2 139 114,85 zł	2 146 310,27 zł	2 142 712,56 zł
2026	2 318 859,35 zł	2 196 778,54 zł	2 204 167,92 zł	2 200 473,23 zł
2027	2 381 717,36 zł	2 256 327,27 zł	2 263 916,96 zł	2 260 122,12 zł
2028	2 392 178,29 zł	2 202 460,13 zł	2 219 826,40 zł	2 191 369,53 zł
2029	2 451 971,47 zł	2 257 511,25 zł	2 275 311,59 zł	2 246 143,43 zł
2030	2 513 605,25 zł	2 314 257,00 zł	2 332 504,77 zł	2 302 603,43 zł
2031	2 575 168,92 zł	2 370 938,20 zł	2 389 632,90 zł	2 358 999,21 zł
2032	2 636 556,01 zł	2 427 456,81 zł	2 446 597,16 zł	2 415 233,23 zł
2033	2 697 652,63 zł	2 483 708,00 zł	2 503 291,89 zł	2 471 201,16 zł
2034	2 758 336,25 zł	2 539 578,95 zł	2 559 603,37 zł	2 526 790,76 zł
2035	2 818 471,08 zł	2 594 944,63 zł	2 615 405,60 zł	2 581 877,65 zł
2036	2 877 958,73 zł	2 649 714,44 zł	2 670 607,28 zł	2 636 371,67 zł
2037	2 938 977,01 zł	2 705 893,50 zł	2 727 229,30 zł	2 692 267,83 zł
2038	2 999 171,76 zł	2 761 314,35 zł	2 783 087,14 zł	2 747 409,61 zł
2039	3 058 399,04 zł	2 815 844,45 zł	2 838 047,21 zł	2 801 665,12 zł
2040	3 118 991,23 zł	2 871 631,21 zł	2 894 273,85 zł	2 857 170,96 zł
2041	3 180 938,19 zł	2 928 665,30 zł	2 951 757,65 zł	2 913 917,85 zł
2042	3 241 714,75 zł	2 984 621,81 zł	3 008 155,37 zł	2 969 592,59 zł
2043	3 301 180,75 zł	3 039 371,70 zł	3 063 336,96 zł	3 024 066,79 zł
<b>SUMA</b>	<b>61 245 588,56 zł</b>	<b>57 116 251,28 zł</b>	<b>57 469 182,47 zł</b>	<b>56 941 750,40 zł</b>
<b>Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu w latach 2021 – 2043</b>		<b>- 4 129 337,28 zł</b>	<b>- 3 776 406,09 zł</b>	<b>- 4 303 838,16 zł</b>

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że elektryfikacja opolskiej komunikacji miejskiej przełoży się na znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów zeroemisyjnych. Największe zmonetyzowane korzyści z tytułu redukcji emisji hałasu zostaną wygenerowane w wariantcie W3 z autobusami wodorowymi w wysokości ok. 4,3 mln zł w całym okresie objętym analizą, zaś w przypadku autobusów elektrycznych akumulatorowych na

poziomie od ok. 3,8 mln zł w wariantcie W2 do ok. 4,1 mln zł w wariantcie W1.

Redukcja pozwoli wyciszyć ogólny hałas generowany w ruchu miejskim przez transport publiczny. Ponadto obniżona emisja hałasu wpłynie na zwiększenie komfortu podróżowania komunikacją miejską oraz na bezpieczeństwo podróży pasażerów. Warto dodać, że zredukowany hałas wpłynie również na lepsze samopoczucie mieszkańców oraz zwierząt.



### 7.3 Inne korzyści zewnętrzne

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

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

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

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w latach 2021-2043	71 634 159,96 zł	54 507 449,55 zł	56 344 295,23 zł	53 887 424,30 zł
Zmiana do W0		- 17 126 710,41 zł	- 15 289 864,72 zł	- 17 746 735,65 zł

Źródło: opracowanie własne

### 7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

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

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

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

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

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne

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 zeroemisyjne jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ w każdym z analizowanych wariantów inwestycyjnych wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną, ERR przyjął wartość mniejszą od stopy dyskontowej, a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1. **Zmonetyzowane koszty z tytułu eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w wymiarze wynikającym z docelowych poziomów udziału tychże pojazdów w uepa przewyższą poziom korzyści ekonomiczno - społecznych. Zatem osiągnięcie poziomów minimalnego udziału autobusów zeroemisyjnych zgodnie z zapisami ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych we flocie operatora komunikacji miejskiej w Opolu nie**

**jest wymagane. Niemniej jednak, uwzględniając potencjalne korzyści finansowe, ekonomiczne i społeczne dla mieszkańców Opolu i ościennych gmin, planowane jest przeprowadzenie modernizacji floty MZK Opole w oparciu o autobusy elektryczne akumulatorowe przystosowanych do szybkiego ładowania pantografowego, gdyż najwyższy wynik ENPV uzyskał wariant W1. Uzyskanie dofinansowania ze źródeł zewnętrznych zrekompensuje wyższe nakłady inwestycyjne w porównaniu do zakupu autobusów o napędach konwencjonalnych (np. autobusów spalinowych). Dla poszczególnych przedsięwzięć inwestycyjnych dotyczących nabycia autobusów elektrycznych akumulatorowych będą przeprowadzane odrębne analizy kosztów i korzyści, które będą wskazywały na zasadność i słuszność inwestycji w zakresach rzeczowych mniejszych aniżeli analizowany w niniejszym dokumencie cały system komunikacji miejskiej zakładający wprowadzenie do eksploatacji 32 autobusów zeroemisyjnych dla spełnienia docelowego udziału wskazanego w uepa. Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z zakładanego w analizie poziomu 2 300 000 PLN netto do ok. 1 313 000 PLN netto, a MEGA18 z 2 800 000 PLN netto do ok. 1 602 000 PLN netto.**

Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	W1	W2	W3
ENPV	- 28 001 866,35 zł	- 33 437 373,31 zł	- 87 477 051,43 zł
ERR (%)	962,5%	976,2%	-29,3%
B/C	0,45	0,40	0,29

Źródło: Opracowanie własne

## 7.5 Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej

Analiza wrażliwości jest częścią analiz finansowo – ekonomicznych, w której zbadano wpływ zmian poszczególnych zmiennych (ich spadek i wzrost) na wskaźniki efektywności finansowej (FNPV/C). Do analizy przyjęto następujące czynniki wrażliwości:

- nakłady inwestycyjne +25%, 15%, -15%, -25%,
- koszty operacyjne +25%, 15%, -15%, -25%,
- wariant pesymistyczny: nakłady inwestycyjne +15% (wzrost cen autobusów elektrycznych akumulatorowych i

infrastruktury), koszty operacyjne -15% (wzrost kosztów eksploatacyjnych przyczynia się do zmniejszenia korzyści z tytułu eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych).

Niniejszą analizę przeprowadzono dla wariantu W1, który jest najbardziej korzystnym wariantem inwestycyjnym polegającym na elektryfikacji opolskiej komunikacji miejskiej w oparciu o autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane w terenie z ładowarek pantografowych. .

Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
<b>Wartość bazowa</b>		<b>- 28 001 866,35 zł</b>		<b>-8,2%</b>		<b>0,45</b>	
<b>Nakłady inwestycyjne</b>	25%	- 41 452 237,41 zł	48,03%	-10,05%	22%	0,35	-21%
	15%	- 36 072 088,99 zł	28,82%	-9%	14%	0,39	-14%
	-15%	- 19 931 643,72 zł	-28,82%	-6,61%	-20%	0,53	19%
	-25%	- 14 551 495,30 zł	-48,03%	-5,13%	-38%	0,61	36%
<b>Koszty operacyjne</b>	25%	- 25 652 830,07 zł	-8,39%	-6,93%	-16%	0,47	5%
	15%	- 26 592 444,59 zł	-5,03%	-7,44%	-9%	0,46	3%
	-15%	- 29 411 288,12 zł	5,03%	-9,00%	10%	0,44	-3%
	-25%	- 30 350 902,63 zł	8,39%	-9,52%	16%	0,43	-4%
<b>Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%</b>		<b>- 34 662 667,22 zł</b>	<b>23,79%</b>	<b>-8,72%</b>	<b>6%</b>	<b>0,40</b>	<b>-12%</b>

Źródło: Opracowanie własne

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

wartości progowe dla ENPV. Wdrożenie autobusów elektrycznych akumulatorowych dostosowanych do szybkiego ładowania pantografowego będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 52,05%.

Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości

Badana zmienna	Wartość ENPV po zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV przy zmianie zmiennej o 1%	Zmiana ENPV=0
<b>Nakłady inwestycyjne (+1%)</b>	- 28 539 881,20 zł	1,92%	-52,05%
<b>Koszty operacyjne (+1%)</b>	- 27 907 904,90 zł	-0,34%	-

Źródło: Opracowanie własne

## 8 Analiza ryzyka

Analiza ryzyka ma na celu rozpoznanie ryzyka występującego podczas wdrażania i czasu trwania projektu. W opracowaniu została wykonana jakościowa metoda analizy obejmująca: możliwe przyczyny i skutki, zmienne kluczowe, które mogą ulec zmianie, określenie

poziomu ryzyka, możliwości zarządzania czynnikiem ryzyka oraz określenie sposobów, jakimi beneficjent może zapobiegać danemu ryzyku. Niniejszą analizę sporządzono dla wariantu inwestycyjnego W1, którego wskaźnik ENPV osiągnął najwyższą wartość.

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

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

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
R7	Ryzyko niezajomości rzeczywistych parametrów operacyjnych taboru	Rzeczywista, mniejsza pojemność akumulatorów niż podana w danych technicznych	Krótszy zasięg autobusu, problemy z eksploatacją autobusu na liniach komunikacyjnych
R8	Ryzyko niezawodności technicznej	Wady fabryczne autobusu i podzespołów.	Problem z realizacją połączeń pojazdami zeroemisyjnymi.
R9	Wzrost taryfy za prąd	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach energii oraz cykle koniunkturalne	Wyższe koszty eksploatacyjne pojazdów zeroemisyjnych
R10	Uszkodzenia sieci zasilającej stacje ładowania	Przerwanie sieci energetycznej w gruncie podczas robót budowlanych	W zależności od długości przerwy w dostawie - zaburzenie harmonogramu ładowania autobusów elektrycznych lub częściowe zaburzenie funkcjonowania systemu komunikacji zbiorowej.
R11	Wyższa awaryjność taboru związana z zastosowaniem nowej technologii	Problemy związane z zastosowaniem nowej technologii (brak podzespołów, dłuższy czas oczekiwania)	Brak możliwości wykorzystania pojazdu do zadań przewozowych, wzrost kosztów napraw.
R12	Opóźnienia w dostawie autobusów	Zbyt duża liczba zamówień na autobusy elektryczne wynikająca z obowiązku spełnienia minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych wskazanych w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
R13	Nadmierne skrócenie żywotności baterii i konieczność częstszej wymiany	Nieodpowiednia eksploatacja pojazdów i ładowanie akumulatorów. Wada fabryczna akumulatora	Częstsze ponoszenie kosztów na wymianę baterii. Problemu z eksploatacją pojazdów
<b>Ryzyko administracyjne</b>			
R14	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Problemy w negocjacjach z dostawcą energii elektrycznej oraz brak odpowiednich mocy przyłączeniowych w pobliżu planowanej infrastruktury ładowania.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe (brak możliwości ładowania pojazdów). Czasowy brak wykorzystania wybudowanej infrastruktury.
R15	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	Zmiana priorytetów we wspieranej technologii – z autobusów elektrycznych akumulatorowych na autobusy elektryczne z wodorowymi ogniwami paliwowymi lub zmiana ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych.	Zaprzestanie prowadzenia projektu i zwiększona niepewność podmiotów dokonujących inwestycji w tabor elektryczny.
R16	Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę)	Niespełnienie wszystkich warunków formalnych.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
R17	Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych	Opóźnienie w wydaniu decyzji przez RDOŚ w Opolu oraz właściwego organu odpowiedzialnego za gospodarkę wodną	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.



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

Źródło: Opracowanie własne

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

**Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa**

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

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt**

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

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka**

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

Legenda:

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
<b>Ryzyko techniczne</b>			
R1	Zbyt duży popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Założenie dłuższego czasu produkcji pojazdu lub wcześniejsze rozpisanie przetargu, wprowadzenie kar umownych dla producenta.	średni
R2	Opóźnienia w budowie ładowarek terenowych	Założenie dłuższego czasu produkcji ładowarek oraz budowy w okresie letnim, wprowadzenie kar umownych dla wykonawcy, odpowiednie zaplanowanie inwestycji.	średni
R3	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.)	Wybór wykonawcy, który może się wykazać realizacją podobnych inwestycji i posiada stabilną sytuację finansową i kadrową. Zabezpieczenie materiałów przez wykonawcę u kontrahentów na wypadek problemów z dostępnością komponentów.	średni
<b>Ryzyko eksploatacyjne</b>			
R4	Awarie stacji wolnego ładowania (ładowarek zajezdniowych)	Przeszkolenie pracowników, wpisanie wymogu minimalnego wskaźnika niezawodności urządzenia.	średni
R5	Przerwa w dostawie prądu	Zakup agregatów prądotwórczych.	niski
R6	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Przeprowadzanie analiz ekonomicznych prognozujących przyszłe wartości cen.	średni
R7	Ryzyko nieznaności rzeczywistych parametrów operacyjnych taboru	Wykupienie gwarancji na akumulatory od producenta pojazdów. Posiadanie rezerwowych zestawów bateryjnych.	wysoki
R8	Ryzyko niezawodności technicznej	Wykupienie gwarancji na pojazdy od producenta. Właściwe serwisowanie pojazdów.	wysoki
R9	Wzrost taryfy za prąd	Podpisywanie długookresowych kontraktów na dostawę energii.	wysoki
R10	Uszkodzenia sieci zasilającej stacje ładowania	Realizacja przewozów taboru o napędzie konwencjonalnym.	niski
R11	Wyższa awaryjność taboru związana z zastosowaniem nowej technologii	Zabezpieczenie dostaw części zamiennych. Objęcie pojazdów gwarancją producenta.	wysoki
L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
R12	Opóźnienia w dostawie autobusów	Wydłużenie czasu realizacji zamówienia.	średni
R13	Nadmierne skrócenie żywotności baterii i konieczność częstszej wymiany	Objęcie pojazdów gwarancją producenta.	średni
<b>Ryzyko administracyjne</b>			
R14	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Przyspieszenie negocjacji z dystrybutorem energii, odpowiednie zaplanowanie inwestycji.	średni
R15	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	brak	niski

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

Źródło: Opracowanie własne

## 9 Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru

Wymiana taboru opolskiej komunikacji zbiorowej jest działaniem zgodnym z celami Planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla miasta Opolu, w którym przedstawiono gwarantowany komfort podróży rozumiany jako wymagane wyposażenie pojazdów.

Każdy pojazd wprowadzany do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Opolu powinien spełniać zalecenia określone w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, nowe pojazdy powinny:

Nowo zakupione pojazdy wielkopojemne, standardowe oraz klasy midi powinny:

- spełniać wymagania środowiskowe (według normy Euro 6), być nowoczesne w zakresie rozwiązań w układach napędowych i hamulcowych;
- mieć estetyczny wygląd i być wykonane z trudnych do zniszczenia materiałów (dotyczy to szczególnie wnętrza pojazdów);
- mieć obniżoną podłogę, szczególnie przy drzwiach wejściowych i w przestrzeni przeznaczonej dla wózków inwalidzkich i

dziecięcych (dopuszcza się eksploatację autobusów bez obniżanej podłogi na drogach o wyjątkowo złej jakości nawierzchni oraz drogach górskich, na których występują trudne warunki w okresie zimowym);

- posiadać system lokalizacji GPS, klimatyzację lub możliwość otwierania i uchylania okien oraz monitoring przestrzeni pasażerskiej;
- posiadać system informacji pasażerskiej oparty o wyświetlacze LCD.

Nowe autobusy powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane pojazdy we flocie, wciąż gwarantując dopasowanie wielkości pojazdów do popytu efektywnego na przewozy w komunikacji miejskiej. Rekomendowane jest utrzymanie zróżnicowania klas posiadanych autobusów, w zbliżonej strukturze względem obecnej floty operatora.

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





*Rys. 9.1 Niskoemisyjny autobus MEGA18 eksploatowany przez MZK Opole*

*Źródło: Zbiory własne*

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

**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. zakresu rzeczowego projektu, 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 o publicznym transporcie zbiorowym gminy, którym powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia międzygminnego, których obszar liczy łącznie co najmniej 80 000 mieszkańców mają obowiązek sporządzenia planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 r. w sprawie szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego (Dz. U. z 2011 nr 117 poz. 684) w paragrafie 4 określa szczegółowo zawartość planu transportowego. Wymagania

zostały przedstawione w poniższej tabeli razem ze wskazaniami dotyczącymi konieczności aktualizacji planu.

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

Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym

Zakres	Konieczność aktualizacji
<b>Ocena i prognoza potrzeb przewozowych z uwzględnieniem w szczególności:</b>	
lokalizacji obiektów użyteczności publicznej	Nie wymaga aktualizacji
gęstości zaludnienia obszaru objętego planem transportowym,	Nie wymaga aktualizacji
zapewnienia dostępu osobom niepełnosprawnym oraz osobom o ograniczonej zdolności ruchowej do publicznego transportu zbiorowego;	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane finansowanie usług przewozowych, w tym źródła i formy finansowania	Nie wymaga aktualizacji
Preferencje dotyczące wyboru rodzaju środków transportu, w szczególności propozycje dotyczące wyboru rodzaju tych środków, uwzględniając infrastrukturę transportową znajdującą się na obszarze objętym planem transportowym	Nie wymaga aktualizacji
<b>Pożądany standard usług przewozowych w przewozach o charakterze użyteczności publicznej, poprzez określenie standardu przewozów i jakości usług przewozowych, uwzględniając potrzebę zapewnienia w szczególności:</b>	
ochrony środowiska naturalnego,	Nie wymaga aktualizacji
dostępu osób niepełnosprawnych oraz osób o ograniczonej zdolności ruchowej do publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
<b>Przewidywany sposób organizowania systemu informacji dla pasażera, w tym uwzględniając potrzeby pasażerów związane z dostępem do informacji w zakresie:</b>	
godzin przyjazdu lub odjazdu środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
obowiązujących opłat za przejazd	Nie wymaga aktualizacji
obowiązujących uprawnień do ulgowych przejazdów środkami publicznego transportu zbiorowego	Nie wymaga aktualizacji
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.	<p>Dotyczy rozdziału 12</p> <p><i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Opolu, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne:</i></p> <p><i>Całościowo elektryfikowane linie: 3, 9, 11, 14, 25</i></p> <p><i>Częściowo elektryfikowane linie: 5, 15,</i></p> <p><i>Uzupełniająco elektryfikowane linie: : 7, 10, 17, 16, 18, 21, 28</i></p> <p><i>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i></p>
geograficzne położenie stacji gazu ziemnego	Nie wymaga uwzględnienia
geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zwanej dalej „infrastrukturą ładowania”	<p><i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <i>na terenie zajezdni MZK (w kombinacji 3 szt. dwustanowiskowe plug-in i 26 szt. jedno stanowiskowych plug-in lub 16 szt. dwustanowiskowych plug-in),</i></li> <li>■ <i>na pętli Prószkowska - Politechnika (1 szt. ładowarki pantografowej),</i></li> <li>■ <i>na pętli Pużaka (2 szt. ładowarek pantografowych),</i></li> <li>■ <i>na pętli Witosa - Wygonowa (1 szt. ładowarki pantografowej),</i></li> <li>■ <i>na pętli Wschodnia (1 szt. ładowarki pantografowej).</i></li> </ul>
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	<i>Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalone z dostawcą energii.</i>
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

## 11 Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

Wskaźnik luki finansowej wyniósł 60%, co oznacza, że niezbędne jest uzyskanie dofinansowania zewnętrznego przy inwestycjach polegających na zakupie autobusów zeroemisyjnych.

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

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

Do 2029 r. środki na zakup autobusów zeroemisyjnych mogą pochodzić także ze środków krajowych w ramach wieloletniego zobowiązania Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, które zastąpiło zlikwidowany 30.09.2020 r.<sup>49</sup> Fundusz Niskoemisyjnego Transportu. Maksymalny limit wydatków z budżetu państwa w latach 2022 – 2029 na finansowanie tegoż zobowiązania w postaci docelowej dla NFOŚiGW wynosi 4 175 300 000 zł, przy czym wsparcie na zakup autobusów zeroemisyjnych oraz infrastruktury ich ładowania jest jednym z wielu obszarów potencjalnej alokacji (z zobowiązania finansowane mogą być także inwestycje w budowę stacji dystrybucji lub sprzedaży CNG, LNG, wodoru oraz dofinansowanie zakupu zeroemisyjnych pojazdów M1, czy współfinansowanie FRPA<sup>50</sup>).

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

<sup>49</sup> Ustawa z dnia 14 sierpnia 2020 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2020 r., poz. 1565)

<sup>50</sup> Art. 401 ust. 9c pkt 1-12 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2020 r., poz. 1219 z późn. zm.)

## Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrów w latach 2015-2021 .....	14
Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Opolu (stan na dzień 23.06.2021 r.) .....	15
Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na dzień 30.06.2021 r.) .....	23
Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 25.06.2021 r.) .....	23
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 01.07.2021 r.) .....	24
Tab. 3.6 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r. ....	24
Tab. 3.7 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r. ....	24
Tab. 3.8 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r. ....	25
Tab. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploataowanych przez operatora (stan na dzień 13.08.2021 r.) .....	25
Tab. 3.10 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny .....	27
Tab. 3.11 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów MZK (dane dla dni roboczego szkolnego) .....	27
Tab. 3.12 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny .....	28
Tab. 4.1 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym .....	30
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym .....	31
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie .....	32
Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym .....	33
Tab. 4.5 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast .....	35
Tab. 4.6 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.) .....	36
Tab. 4.7 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in .....	36
Tab. 4.8 Wyniki analizy wielokryterialnej wyboru linii przeznaczonych do obsługi przez autobusy elektryczne .....	38
Tab. 4.9 Preselekcja pętli przeznaczonych do budowy ładowarek pantografowych .....	39
Tab. 4.10 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową .....	41
Tab. 4.11 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu .....	41
Tab. 4.12 Koszty netto zakupu trolejbusów .....	44
Tab. 4.13 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów .....	44
Tab. 4.14 Koszty wdrożenia autobusów zasilanych CNG/LNG .....	48
Tab. 4.15 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym .....	49
Tab. 4.16 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom .....	50
Tab. 4.17 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych .....	51
Tab. 4.18 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Opolu .....	53
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1 .....	55
Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2 .....	55
Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3 .....	55



Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych – wszystkie warianty inwestycyjne .....	56
Tab. 5.5 Okres eksploatacji środków trwałych.....	56
Tab. 5.6 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach objętych analizą. ....	57
Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach .....	57
Tab. 5.8 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych .....	58
Tab. 5.9 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych .....	61
Tab. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.....	61
Tab. 6.1 Roczne zestawienia emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery oraz gazów cieplarnianych w analizowanych wariantach [w Mg] .....	65
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2021-2043 .....	67
Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2021-2043.....	69
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2021-2043.....	70
Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej.....	70
Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej .....	71
Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy.....	72
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości .....	72
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki .....	73
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa .....	76
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt.....	76
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka .....	76
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko .....	77
Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym .....	81

## Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Hamburgu.....	6
Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern .....	7
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego .....	9
Rys. 2.2 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie .....	11
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Świdnicy.....	11
Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi .....	12
Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2020.....	15
Rys. 3.2 Autobus typu MEGA15 w Opolu .....	22
Rys. 4.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Jaworznie podczas szybkiego ładowania	34
Rys. 4.2 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze.....	37
Rys. 4.3 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie .....	39
Rys. 4.4 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek.....	40
Rys. 4.5 Trolejbus typu MAXI w Tychach .....	42
Rys. 4.6 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem.....	43
Rys. 4.7 Trolejbus typu MAXI w Pireusie .....	43
Rys. 4.8 Symulacja sieci trolejbusowej dla spełnienia warunków z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych .....	45
Rys. 4.9 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych .....	51
Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK .....	52
Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Rzeszowie.....	68
Rys. 9.1 Niskoemisyjny autobus MEGA18 eksploatowany przez MZK Opole .....	80