

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



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



WROCŁAW - LEGNICA 2024



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

www.trako.com.pl

Spis treści

1.	Wprowadzenie – cel i obszar analizy	5
1.1.	Cel analizy	5
1.2.	Obszar terytorialny objęty analizą	6
1.3.	Uwarunkowania techniczne i prawne	7
1.3.1.	Uwarunkowania prawne	7
1.3.2.	Uwarunkowania techniczne	8
1.4.	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	11
2.	Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego na obszarze objętym AKK	13
3.	Opis istniejącego systemu komunikacyjnego	14
3.1.	Komunikacja miejska	14
3.1.1.	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	14
3.1.2.	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy	18
3.2.	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	18
3.2.1.	Normy emisji spalin	18
3.2.2.	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru	19
3.2.3.	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych	20
3.3.	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	21
3.3.1.	Wskaźnik wykorzystania taboru	21
3.3.2.	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzm przez brygady	21
3.3.3.	Analiza rozkładów jazdy	22
3.4.	Transport drogowy inny niż komunikacja miejska	23
3.5.	Transport kolejowy	24
4.	Plan rozwoju i wymiany taboru	25
4.1.1.	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	26
4.1.2.	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	27
4.1.3.	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	28
4.1.4.	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów	29
4.1.5.	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Legnicy	29
4.2.	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	30
4.2.1.	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	30
4.2.2.	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	32
4.2.3.	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	33

4.2.5.	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami typu „plug-in” i za pomocą pantografu	34
4.2.6.	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi	34
4.3.	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów	38
4.3.1.	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów	38
4.3.2.	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	38
4.3.3.	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową	39
4.3.4.	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Legnicy	40
4.4.	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	42
4.5.	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	43
5.	Analiza finansowo – ekonomiczna	47
5.1.	Założenia i metodyka analizy finansowej	47
5.2.	Nakłady inwestycyjne	48
5.3.	Wartość nakładów odtworzeniowych	49
5.4.	Prognoza kosztów operacyjnych	50
5.5.	Wartość rezydualna	54
5.6.	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru	54
5.7.	Ocena sytuacji finansowej miasta i wpływu programu wymiany pojazdów na jej stabilność	55
5.8.	Ocena sytuacji finansowej podmiotu odpowiedzialnego za realizację usług transportowych	55
6.	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji	59
7.	Analiza społeczno-ekonomiczna	62
7.1.	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym	62
7.2.	Emitowany hałas podczas eksploatacji autobusów o napędzie spalinowym oraz elektrycznym	64
7.3.	Inne korzyści zewnętrzne	65
7.4.	Wskaźniki efektywności ekonomicznej	66
7.5.	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej	67
7.6.	Analiza ryzyka	69
8.	Rekomendacje w zakresie wymiany taboru, podsumowanie i wnioski	75
9.	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania	78
10.	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych	80
11.	Spis tabel	81
12.	Spis ilustracji	83

1. Wprowadzenie – cel i obszar analizy

1.1. Cel analizy

Niniejszy dokument został sporządzony w celu określenia realnych kosztów i korzyści wynikających z eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej w Legnicy. Opracowanie zostało wykonane przede wszystkim w oparciu o ustalenia płynące z treści zapisów Ustawy z dnia 11 stycznia 2018r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 875) oraz niżej wymienionych aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (t.j. Dz.U. z 2023 r., poz. 2778),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (t.j. Dz. U. z 2022 r., poz. 673),
- 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 (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 1094 z późn. zm.).

Ponadto opracowanie sporządzono zgodnie z niżej wymienionymi dokumentami:

- „Niebieska Księga Wydanie uaktualnione 2023 Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach i regionach” Jaspers 2023,
- „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 dotyczące zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym hybrydowych na lata 2021-2027”,
- „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 MAXI w Opolu w trakcie szybkiego ładowania ze stacji ładowania pantografowego*

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 Legnicy.

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, hybrydowe oraz zakontraktowane elektryczne akumulatorowe. W końcowej części opracowania przedstawiono analizę ryzyka, rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru komunikacji miejskiej w Legnicy oraz wskazano potencjalne źródła finansowania inwestycji w tabor zeroemisyjny.



Rys. 1.2 *Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18*

Źródło: Zbiory własne

1.2. Obszar terytorialny objęty analizą

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Gminy Legnica, pełniące funkcję

jej organizatora oraz Gminy Kunice, Gminy Miłkowice, Gminy Prochowice i Gminy Legnickie Pole, na mocy stosownych porozumień międzygminnych.



Rys. 1.3 *Obszar funkcjonowania legnickiej komunikacji miejskiej.*

Źródło: Opracowanie własne

1.3. Uwarunkowania techniczne i prawne

1.3.1. 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 2023 r., poz. 875 z późn. zm.), której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w ustawie definicja autobusu zeroemisyjnego precyzuje ten typ pojazdu jako autobus lub trolejbus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2022 r., poz. 673)¹. Analizując ustalenia Ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, w której wskazano, że do grona tych substancji należą m.in. tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), benzo(a)piren, to za autobusy zeroemisyjne można uznać wyłącznie:

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

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

hybrydowo – elektryczne oraz autobusy gazowo - elektryczne.



Rys. 1.4 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego

Źródło: Zbiory własne

Zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, wdrażanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych będzie najszybciej następowało w miastach średnich i dużych, gdyż każda jednostka samorządu terytorialnego licząca co najmniej 50 000 mieszkańców i organizująca komunikację miejską, począwszy od 1 stycznia 2028 r. będzie świadczyć usługi lub zawierać umowy o świadczenie usług przewozu o charakterze użyteczności publicznej wyłącznie z podmiotami posiadającymi co najmniej 30% autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanej na rzecz tej jednostki samorządu terytorialnego². Osiągnięcie udziału na poziomie 30% założono etapami³:

- 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

¹ Art. 2 pkt 1 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 875 z późn. zm.).

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

³ 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 r⁴.

Gmina Legnica z liczbą mieszkańców 91 948⁵, 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.

1.3.2. Uwarunkowania techniczne

W ramach niniejszego rozdziału zostały przeanalizowane uwarunkowania techniczne autobusów elektrycznych akumulatorowych ładowanych ładowarkami plug-in, pantografowymi i indukcyjnymi, autobusów wyposażonych w wodorowe ogniwa paliwowe oraz trolejbusów wyposażonych w akumulatory ładowane z sieci trolejbusowej.

o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 1094 z późn. zm.).

Dokument 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 klimatu – 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.

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”).

⁴ Ibidem, art. 72.

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



Rys. 1.5 Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18 na stacji szybkiego ładowania w trakcie postoju wyrównawczego

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 popularne stały 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 (OCPD).



Rys. 1.6 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI 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 przekraczającymi 300 – 400 km dziennie.

Dzięki nieustannemu rozwojowi technologii coraz częściej producenci autobusów elektrycznych deklarują dostawy pojazdów z pakietami akumulatorów o dużej pojemności energii użytkowej, gwarantujących dłuższy zasięg nawet do ok. 400 km na 1 ładowaniu, które nie będzie wymagał szybkiego doładowywania z ładowarek pantografowych, jednakże tak duże akumulatory powodują znaczący wzrost masy pojazdu.

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

wielkościowych MINI, MIDI, MAXI, MEGA15 MEGA18 a nawet MEGA25.

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

Eksploatacja autobusów napędzanych wodorem wiąże się z koniecznością organizacji dostępu do tego rodzaju paliwa. Obecnie dostępne są 2 podstawowe sposoby zależnie głównie od wielkości obsługiwanej sieci i zapotrzebowania na paliwo. W przypadku małych sieci, ze względu na niższe dzienne zapotrzebowanie, wystarczające jest zamówienie dostaw poprzez zastosowanie butlowozów w formie mobilnej stacji tankowania. Autobus wodorowy zużywa dziennie ok. 40 kg paliwa, a pojemność butlowozu to ok. 900 kg paliwa. Pozwala to na zapewnienie paliwa dla 22 pojazdów. W przypadku większych sieci stosowana jest metoda stacjonarnych stacji tankowania.



Rys. 1.7 *Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi MAXI w Poznaniu*

Źródło: Zbiory własne

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 baterijnym. 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.

1.4. 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,
- **LFP** – (ang. lithium ferrophosphate) akumulator litowo-żelazowo-fosforanowy o elektrodzie z fosforanu litu żelaza (II)
- **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,
- **MPK** – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy,
- **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/ W2/ W3** – 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. Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego na obszarze objętym AKK

Legnica, będąca miastem na prawach powiatu, zlokalizowana jest w środkowej części województwa dolnośląskiego. Miasto największym ośrodkiem miejskim Legnicko-Głogowskiego Obszaru Funkcjonalnego związanego z przemysłem wydobywczym. Z tego też względu jest ważnym subregionalnym ośrodkiem usługowym (Wojewódzki Szpital Specjalistyczny, rozbudowane szkolnictwo wyższe, m.in. filia Politechniki Wrocławskiej oraz Collegium Witelona – Uczelnia Państwowa). W obrębie miasta zlokalizowane są też duże ośrodki handlowe.

Liczba ludności na obszarze objętym AKK w roku 2023 wyniosła 119 385 osób, z czego 77% to mieszkańcy miasta Legnicy. W ciągu 10 lat liczba ludności w Legnicy zmniejszyła się o ok. 10 tys. (tj. 1%) natomiast w badanych gminach zwiększyła się o ponad 2 tys. (tj. 8%). Warto

podkreślić, że wszystkie gminy wiejskie zaliczyły wzrosty liczby ludności (liderem jest Gmina Kunice z wzrostem na poziomie ok. 23%) podczas gdy gminy z miastami (Gmina Legnica, Gmina Prochowice) sukcesywnie tracą liczbę mieszkańców co związane jest z postępującą suburbanizacją. Dodatkową kwestią społeczną jest wiek mieszkańców, stale utrzymuje się tendencja, w której rośnie udział osób w wieku poprodukcyjnym przy w miarę stałym udziale osób w wieku przedprodukcyjnym powodując zwiększanie średniego wieku mieszkańca. W przypadku miasta Legnica udział mieszkańców w wieku poprodukcyjnym wzrósł na przestrzeni 10 lat wzrósł aż o 8,5 punktu procentowego. Pokazuje to wzrost średniej długości życia związany m.in. zamożnością i poziomem opieki zdrowotnej i konieczność dostosowania miasta do potrzeb osób starszych (w tym też większą uwagę na ułatwienia w komunikacji zbiorowej).

Tab. 2.1 Liczba ludności w latach 2013 – 2023 w analizowanym obszarze.

gmina	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Legnica	101 992	101 343	100 886	100 718	100 324	99 752	99 350	95 135	93 988	93 040	91 948
Kunice	6 270	6 399	6 559	6 685	6 750	6 893	7 025	7 312	7 514	7 626	7 736
Legnickie Pole	5 129	5 171	5 179	5 222	5 252	5 241	5 196	5 188	5 272	5 303	5 334
Miłkowice	6 427	6 493	6 531	6 580	6 629	6 706	6 762	7 058	7 121	7 165	7 234
Prochowice	7 519	7 499	7 478	7 486	7 507	7 455	7 406	7 313	7 258	7 224	7 133
suma (gminy)	25 345	25 562	25 747	25 973	26 138	26 295	26 389	26 871	27 165	27 318	27 437
suma	127 337	126 905	126 633	126 691	126 462	126 047	125 739	122 006	121 153	120 358	119 385

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Miasto posiada rozbudowaną ofertę miejsc pracy, zlokalizowanych głównie w południowej części miasta – od najstarszej w Polsce huty miedzi ściśle powiązanej z przetwórstwem rud miedzi po nowoczesne tereny zlokalizowane w ramach Legnickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej skupionej głównie na branży motoryzacyjnej i metalowej. W roku 2023 liczba bezrobotnych wyniosła 2 489 osób na analizowanym obszarze, z czego 1 948 (77%)

przypadło na miasto Legnica. Pracowały natomiast 49 974 osoby, a liczba zarejestrowanych przedsiębiorstw wyniosła 18 229.

Stopa bezrobocia w powiecie legnickim w roku 2023 wyniosła 7,4 %, w samej Legnicy 4,4%. W przypadku miasta bezrobocie jest niższe niż wartość dla kraju (5,1%) i porównywalne z poziomem dla województwa dolnośląskiego.

3. Opis istniejącego systemu komunikacyjnego

3.1. Komunikacja miejska

3.1.1. Charakterystyka sieci komunikacyjnej

3.1.1.1. Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych

Obecnie obowiązująca umowa pomiędzy organizatorem, a operatorem (Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy zwany dalej MPK Legnica) została zawarta w dniu 2.01.2018 r. umowa o świadczeniu usług publicznych w zakresie publicznego transportu zbiorowego jako wykonawcza o powierzeniu podmiotowi wewnętrznemu gminy Legnica wykonywania zadań własnych gminy w zakresie publicznego transportu zbiorowego na terenie Gminy Legnica i gmin sąsiednich w procesie bezpośredniego powierzenia usług. Kontrakt obowiązuje do dnia 31.12.2027 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. Należności za przewóz i opłaty dodatkowe przysługują operatorowi.

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 10% w stosunku do poprzedniej wartości (w szczególnych przypadkach niemieszcząca się w tym zakresie). Załącznik nr 5 do umowy określa typy taboru przeznaczonego do obsługi poszczególnych linii, warunki techniczne pojazdów oraz ich niezbędnego wyposażenia w każdej klasie autobusów.

3.1.1.2. Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Legnicy składa się z 22 linii komunikacyjnych (linie 15 oraz 16 traktowane są jako jedna linia), które można podzielić:

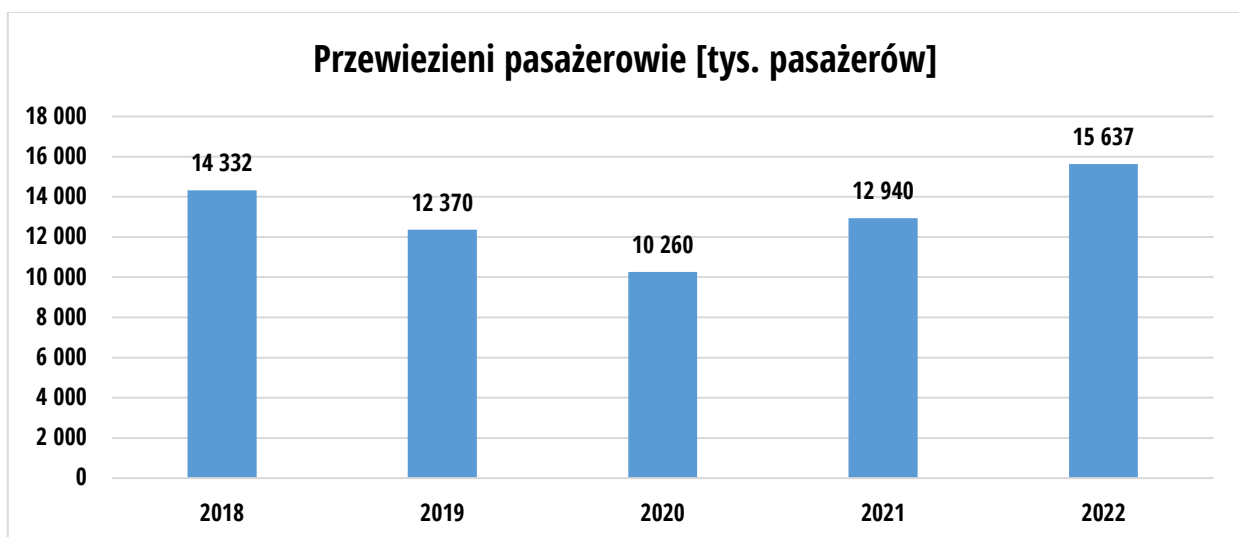
- według kryterium przestrzennego:
 - 11 linii miejskich: 2, 3, 4, 5, 6, 15+16, 18, 24, N1, N2,
 - 6 linii miejsko-podmiejskich: 1, 8, 23, 26, 28, 29,
 - 5 linii podmiejskie: 9, 10, 20, 27, C;
- według kryterium charakteru trasy:
 - 3 linie o charakterze promienistym: 9, 10, 20
- 14 linii o charakterze średnicowym: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 15+16, 23, 24, 26, 29, N1,
- 3 linii o charakterze obwodowym: 18, 28, N2,
- 2 linie lokalne: 27, C;
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - 22 linie całoroczne: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 15, 16, 18, 20, 23, 24, 26, 27, 28, 29, C, N1, N2;
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:

- 19 linii kursujących codziennie: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 15, 18, 20, 23, 24, 26, 27, 28, 29, N1, N2,
- 1 linię kursującą od poniedziałku do soboty: 16,
- 1 linię kursującą od poniedziałku do soboty z dodatkowymi kursami w niedziele i święta w dniach 15.06-30.09 w okresie funkcjonowania Letniego Parku Wodnego AquaFun: 6,
- 1 linię kursującą tylko w soboty, niedziele i święta: C;
- według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:
 - 11 linii kursujących przez cały dzień lub większą część dnia: 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 15, 18, 23, 24,
 - 11 linii okresowych: 4, 10, 16, 20, 26, 27, 28, 29, C, N1, N2;
- według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - 1 linia główna (co ok. 15 min., w godzinach szczytów dnia roboczego szkolnego co ok. 10 min.): 15+16,
 - 3 linie podstawowe (co ok. 30 min., a w godzinach szczytów dnia roboczego szkolnego co ok. 15 min.): 3, 5, 24,
 - 6 linii uzupełniających (co ok. 30 min. w godzinach szczytowych): 1, 2, 6, 8, 18, 23,
 - 11 linii peryferyjnych lub zamiejskich tworzących segment linii dodatkowych (brak regularnych kursów przez cały dzień): 4, 9, 10, 20, 26, 27, 28, 29, C, N1, N2.

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Gminy Legnica, pełniącej funkcję jej organizatora oraz Gminy Kunice, Gminy Miłkowice i Gminy Prochowice, Gminy Legnickie Pole na mocy stosownych porozumień międzygminnych.

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w tys. wozokilometrów w latach 2021-2023

Rok	łącznie	Legnica	Miłkowice	Kunice	Prochowice	Legnickie Pole	Udział Legnicy [%]
2021	3 253,3	2 967,0	39,0	169,2	78,1	-	91,2%
2022	3 289,9	2 964,2	39,5	148,0	79,0	59,2	90,1%
2023	3 370,0	2 884,7	40,4	161,8	84,3	198,8	85,6%



Rys. 3.1.1 Wielkość popytu na legnicką komunikację miejską w latach 2018 - 2022

Źródło: opracowanie własne na podstawie Biuletynu IGKM „Komunikacja miejska w liczbach”

W Tab. 3.2 zestawiono przebiegi tras oraz podstawowe parametry linii obsługiwanych przez MPK Legnica.

Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Legnicy (stan na dzień 23.06.2021 r.)

Linia	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Okres kursowania	Typ
1	Złotoryjska – Grabskiego – Złotoryjska - Pl. Łużycki – Złotoryjska – Lotnicza – Marynarska – Chojnowska – Piastowska – Poczтовая – Czarnieckiego – Wrocławska – Spokojna - Pątnowska (wybrane kursy wydłużone do Huty Miedzi lub na trasie Pątnów Legnicki – Bieniowice – Szczytniki nad Kaczawą)	Cały tydzień	U
2	Sikorskiego-Śląska – Sikorskiego – Wrocławska – Czarnieckiego – Poczтовая – Głogowska – (Słubicka) – Bydgoska –Szczytnicka-Pętla (wybrane kursy do Piątnickiej lub WPEC)	Cały tydzień	U
3	Iwazkiewicza – Sikorskiego – Sudecka – al. Piłsudskiego – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – Wrocławska – Witelona – Skarbka – Jaworzyńska - LSSE (wybrane kursy do lub przez Nowodworską LPWiK)	Cały tydzień	P
4	Poznańska – Słubicka – Głogowska – Dworzec PKP – Piastowska – Chojnowska – Szewcenki – Lotnicza – Hutników – Złotoryjska – Muzealna – Jaworzyńska – LSSE	Cały tydzień	D
5	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Działkowa – Senatorska – Piastowska – Poczтовая – Libana – Wrocławska – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego - al. Rzeczypospolitej – (Myrka – Myrka-pętla – Myrka) – Schumana Auchan – Nowodworską – Nowodworską LPWiK (wybrane kursy skrócone do Schumana Auchan)	Cały tydzień	P
6	Schumana Auchan – al. Rzeczypospolitej – Bielańska – Al. 100-lecia Odzyskania Niepodległości- Grabskiego/ZUS – Wojska Polskiego – Andersa – Kościuszki – Muzealna – Skarbka –Witelona – Wrocławska – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – al. Piłsudskiego – Sikorskiego – Iwazkiewicza	Poniedziałek – sobota	U
8	Iwazkiewicza – Sudecka – al. Piłsudskiego – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – Wrocławska – Libana – Poczтовая – Piastowska – Skłodowskiej-Curie – Głogowska – (Słubicka) – Poznańska (wybrane kursy: - Rzeszotary – Dobrzejów – Miłogostowice)	Cały tydzień	U
9	Linia jednokierunkowa Dworzec PKP – Libana – Witelona – Skarbka – Jaworzyńska – Gniewomierska – Gniewomierz – Legnickie Pole – Księginice – Koskowice – Kłębanowice – Taczalin – Księginice – Legnickie Pole – Gniewomierz – Gniewomierska – Jaworzyńska – Skarbka – Witelona – Libana – Dworzec PKP	Dni robocze	D
10	Dworzec PKP – Czarnieckiego – Wrocławska – Kunice – Spalona – Golanka Górna - Golanka Dolna – Prochowice (wybrane kursy: Lisowice – Mierzowice, wybrane kursy: - Gromadzyń)	Dni robocze	D
15	Huta Miedzi – (wybrane kursy ze Złotoryjska – Grabskiego) Złotoryjska (wybrane kursy przez: Grabskiego/ZUS) – Pl. Łużycki – Złotoryjska – Skarbka – Witelona – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – al. Piłsudskiego – Iwazkiewicza	Cały tydzień	G
16	Iwazkiewicza – al. Piłsudskiego – Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego – Witelona – Skarbka – Złotoryjska – Artyleryjska – Asnyka	Poniedziałek – sobota	
18	Iwazkiewicza – Sikorskiego – al. Piłsudskiego – al. Rzeczypospolitej-Schumana/Auchan – Nowodworską – Jaworzyńska – Os. Sienkiewicza (wybrane kursy wydłużone do LSSE)	Cały tydzień	U

Linia	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Okres kursowania	Typ
20	Linia jednokierunkowa Dworzec PKP – Libana – Witelona – Skarbka – Jaworzyńska – Nowa Wieś Legnicka – Biskupice – Raczkowa – Czarnków – Lubień – Ogonowice – Mikołajowice – Księginice – Legnickie Pole – Biskupice – Raczkowa – Nowa Wieś Legnicka – Jaworzyńska – Skarbka – Witelona – Libana – Dworzec PKP	Dni robocze	D
23	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Drzymały – Rolnicza – Działkowa – Chojnowska – Marynarska – Asnyka – Złotoryjska – Dziennikarska – Piastowska – Poczтова – Kartuska – Czarnieckiego – Moniuszki – al. Piłsudskiego – Sikorskiego – Iwaskiewicza (wybrane kursy wydłużone do Grzybian lub Rosochatej lub Jaśkowice Legnickich lub Piotrówka na trasie Ziemnice – Grzybiany – Rosochata – Jaśkowice Legnickie – Szczedrzykowice – Dąbie – Piotrówek – Rosochata)	Cały tydzień	U
24	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Działkowa – Senatorska – Jagiellońska – Chojnowska – Dziennikarska – Muzealna – Skarbka – Witelona – Libana – Kartuska – Czarnieckiego – Wrocławska – Sikorskiego – Iwaskiewicza (powrót przez Sudecka – al. Piłsudskiego – Sikorskiego)	Cały tydzień	P
26	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Działkowa – Senatorska – Piastowska – Poczтова – Libana – Witelona – Skarbka – Jaworzyńska – Gniewomierska – LSSE Legnickie Pole	Cały tydzień	D
27	Domejki MPK – Domejki – Lipce – Ulesie	Cały tydzień	D
28	Poznańska – Słubicka – Bagienna – Głogowska – Poczтова – Wrocławska – Sikorskiego – Iwaskiewicza – al. Piłsudskiego – Śląska – Sudecka – al. Piłsudskiego – Rzeczypospolitej – Zamiejska – Nowodworska – Jaworzyńska – Gniewomierska – LSSE Legnickie Pole	Cały tydzień	D
29	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Szewczenki – Marynarska – Asnyka – Złotoryjska – Muzealna – Wojska Polskiego – Rataja – Jaworzyńska – al. 100-lecia Odzyskania Niepodległości – Bielańska – al. Rzeczypospolitej – Zamiejska – Nowodworska – Jaworzyńska – Gniewomierska – LSSE Legnickie Pole	Cały tydzień	D
C	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Cmentarz Jazzków	Soboty, niedziele i święta	D
N1	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Piastowska – Dworzec PKP – Czarnieckiego – Wrocławska – Sikorskiego – Iwaskiewicza – Sudecka – al. Piłsudskiego – Rondo Niepodległości – Sikorskiego – Sudecka – al. Piłsudskiego – Moniuszki – Czarnieckiego – Dworzec PKP – Piastowska – Chojnowska – Domejki – Domejki MPK	Cały tydzień	D
N2	Domejki MPK – Domejki – Chojnowska – Asnyka – Pl. Łużycki – Złotoryjska – Jaworzyńska – Nowodworska – Zamiejska – al. Rzeczypospolitej – al. Piłsudskiego – Sudecka – Sikorskiego – Wrocławska – Czarnieckiego – Kartuska – Dworzec PKP – Libana – Witelona – Skarbka – Jaworzyńska – Grunwaldzka – Orzeszkowej – Rataja – Złotoryjska – Dziennikarska – Chojnowska – Domejki – Domejki MPK	Cały tydzień	D

Kategoryzacja linii: G – linia główna, P – linia podstawowa, U – linia uzupełniająca, D – linia dodatkowa

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK sp. z o.o. w Legnicy

3.1.1.3. Koszty eksploatacyjne

Za świadczenie usług przewozowych na liniach komunikacyjnych objętych umową operator otrzymuje rekompensatę za wozokilometr

zgodną z Rozporządzeniem 1370/2007, ustawą o publicznym transporcie zbiorowym. Rekompensata jest kalkulowana w oparciu o

poniesione Koszty Przewozów, pomniejszone o wygenerowane podczas świadczenia Przewozów Przychody z uwzględnieniem Rozsądnego Zysku. 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. Umowa określa również, że wypłata rekompensaty następuje w dwóch transzach w miesiącu. Do końca marca każdego roku operator jest zobowiązany do przedstawienia organizatorowi rocznego rozliczenia rekompensaty.

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

Jednym z zadań własnych Gminy Legnica, określonego w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym, jest zapewnianie lokalnego transportu zbiorowego, poprzez organizację przewozów w komunikacji miejskiej. Realizacja tych usług oraz ich ciągłość gwarantowana jest Planem zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Legnica oraz Gmin, z którymi Gmina Legnica posiada zawarte porozumienie międzygminne w zakresie publicznego transportu zbiorowego. W dokumencie tym, stanowiącym akt prawa miejscowego, założono, iż „realizowanie przewozów o charakterze użyteczności publicznej planowane jest na obszarze Gminy Legnica, Kunice, Miłkowice,

Prochowice oraz innych gmin, z którymi Gmina Legnica zawrze porozumienia w sprawie wspólnej organizacji publicznego transportu zbiorowego”. Wskazane uwarunkowania formalno – prawne gwarantują podstawy instytucjonalne umożliwiające wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w perspektywie wieloletniej, m.in. w zakresie minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora. Komunikacja Miejska w Legnicy została także opisana w Planie adaptacji Miasta Legnica do zmian klimatu do roku 2030, który zawiera ocenę aktualnego stanu środowiska oraz opis przedsięwzięć pozwalających na dostosowanie miasta do zmian klimatycznych.

3.2. Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

Analizy w niniejszym rozdziale zostały wykonane według stanu na dzień 17 maja 2024 r.

3.2.1. Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby obsługi legnickiej komunikacji miejskiej eksploatowane są 63 pojazdy. Wszystkie posiadają silniki spalinowe zasilane olejem napędowym oraz są pojazdami niskopodłogowymi. Największym udziałem cechują się pojazdy o najwyższej normie spalania EURO 6 – 26 pojazdów (41%), co warto podkreślić, także pojazdy tej normy spalania stanowią mniejszość w rozdzieleniu na poszczególne typy taboru. We flocie

użytkowanej przez MPK Legnica znajduje się także 8 pojazdów spełniających standard EEV, po 4 pojazdy EURO 5, 4 pojazdy EURO 4, 5 pojazdów EURO 3 i 11 EURO 2. Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.3.

Tab. 3.3 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 17.05.2024 r.)

Paliwo i Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
ON EURO 2			6	5		11
ON EURO 3		5				5
ON EURO 4		4				4
ON EURO 5			3		1	4
ON EEV		3	4	1		8
ON EURO 6	1		15	6	4	26
ON (HYBRYDOWY) EURO 6	1		4			5
Liczba pojazdów	2	12	32	12	5	63

Źródło: Opracowanie własne

3.2.2. Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru

Obecnie średni wiek pojazdów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Legnicy wynosi ok. 11 lat (mediana jest podobna co wynika z dużej ilości taboru w wieku ponad 20 lat). Najstarsze pojazdy wyprodukowano w 1998 r. – Neoplan 4020 klasy MEGA15 i normie spalania EURO 2, a najmłodsze autobusy z 2018 r. – 4 szt. Solaris

Urbino 12 klasy MAXI w wersji hybrydowej oraz jeden typu MEGA15.

Wiek pojazdów jest zróżnicowany (8 – 26 lat). Najwięcej pojazdów (29) zostało wyprodukowanych w latach 2016 - 2018 .

Tab. 3.4 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 17.05.2024 r.)

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 5 LAT						
6-8 LAT	1		19	5	4	29
9-10 LAT		3	7	2		12
11-15 LAT			1			1
16-20 LAT		7			1	8
20 LAT I WIĘCEJ		2	6	5		13
SUMA	1	12	33	12	5	63

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnych tabelach przedstawiono przewidywaną strukturę wieku pojazdów eksploatowanych w sieci komunikacji miejskiej w Legnicy 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:

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.

- wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego,

Tab. 3.5 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 5 LAT			5			5
6-8 LAT			6	2	6	14
9-10 LAT	1		12	4		17
11-15 LAT	1	2	8	2		13
16-20 LAT			4		1	5
20 LAT I WIĘCEJ		2	2	4		10
SUMA	2	4	37	12	7	64

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.6 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 5 LAT		7	9	4		20
6-8 LAT						
9-10 LAT			4	2		6
11-15 LAT	2	2	21	6	6	37
16-20 LAT					1	1
20 LAT I WIĘCEJ						
SUMA	2	9	34	12	7	64

Źródło: Opracowanie własne

3.2.3. 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 CO₂) i substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO_x i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w kolejnej tabeli.

Tab. 3.7 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 17.05.2024 r.)

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g	NO _x w g	PM w g	CO ₂ w kg
EURO 2				
NEOPLAN N 4020	139 132,60	885 389,29	18 972,63	32 867,93
NEOPLAN K 4016	150 718,56	4 795 590,59	102 762,66	178 024,65
SOLARIS URBINO 12	125 678,65	3 998 866,03	85 689,99	148 448,19
EURO 3				
SOLARIS URBINO 10	281 619,50	2 133 481,07	42 669,62	11 088,04
EURO 4				
SOLARIS URBINO 10	260 040,33	1 978 567,75	11 306,10	146 899,05
EURO 5				
SOLARIS URBINO 12	366 040,16	1 591 478,95	15 914,79	206 779,27
SOLARIS URBINO 18	65 175,67	283 372,47	2 833,72	36 818,30
EEV				
SOLARIS URBINO 15	75 366,30	327 679,58	3 276,80	42 575,08
SOLARIS URBINO 10	155 750,90	677 177,84	6 771,78	87 985,04

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g	NOx w g	PM w g	CO2 w kg
SOLARIS URBINO 12	443 577,21	1 928 596,57	19 285,97	250 580,62
SOLARIS URBINO 8,5 LE	56 403,66	245 233,31	2 452,33	31 862,92
EURO 6				
MAN Lion's City	17 633,32	54 256,36	1 356,41	35 247,38
SOLARIS URBINO 15	207 791,93	639 359,78	15 983,99	415 356,89
SOLARIS URBINO 18	129 696,56	399 066,35	9 976,66	259 251,46
Mercedes Sprinter City	3 843,11	11 824,94	295,62	7 682,02
SOLARIS URBINO 12	564 045,50	1 735 524,61	43 388,12	1 127 474,89
SOLARIS URBINO 12H	122 652,28	377 391,64	9 434,79	245 170,59
roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich pojazdów w komunikacji miejskiej:	3 165 166,25	22 062 857,13	392 371,97	3 264 112,30

Źródło: Opracowanie własne

3.3. Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne sieci linii komunikacji miejskiej w Legnicy. 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 – 10 887,9 wzk, m

- dzień roboczy feryjno – wakacyjny – 10 209,3 wzk, m
- sobota – 7 131,6 wzk, m
- niedziela – 5 570,6 wzk, m
- główne święto – 4 883,1 wzk, m

Najwięcej kilometrów realizowanych jest na linii 3 pełniącej funkcję linii podstawowej łączącej osiedle Piekary, centrum, osiedle H. Sienkiewicza z Legnicką Specjalną Strefą Ekonomiczną przy ul. Jaworzyńskiej oraz linii 15, która wraz z linią 16 (tworzącymi wspólną wiązkę) pełni funkcję głównej, łącząc przeciwległe osiedla Piekary i Asnyka przez osiedle M. Kopernika i centrum, dodatkowo obsługując Hutę Miedzi. Najmniejszą pracą eksploatacyjną, charakteryzującą się linie 27 i 29, nocne N1 i N2 oraz kursująca wyłącznie w soboty, niedziele i święta linia C..

3.3.1. Wskaźnik wykorzystania taboru

MPK dysponuje 63 autobusami, z czego do obsługi linii komunikacji miejskiej eksploatowanych jest:

- w dni robocze szkolne 51 autobusów – 81,0% taboru,

- w dni robocze wakacyjne 47 autobusów – 74,6% taboru,
- w soboty 32 autobusów – 50,7% taboru,
- w niedziele 23 autobusy – 36,5% taboru,
- w główne święto 21 autobusów – 33,3% 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

10 887,93 wzk, m. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie na dystansie o długości 57,95 km (MAXI), zaś

najdłuższe zadanie ma przebieg o długości 452,40 km (MAXI). Przeciętna długość pracy eksploatacyjnej brygady w całej sieci wynosi 209,29 km. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

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

gdzie:

s – odchylenie standardowe

\bar{x} – przeciętna długość brygady.

Cała sieć charakteryzuje się przeciętnym zróżnicowaniem przebiegów brygad na poziomie 42,06%, wynikającym z dużego udziału taboru MAXI charakteryzującego się najwyższym współczynnikiem zmienności osiągającym wartość 43,52%, podczas gdy mniej liczne typy osiągają niższe wartości (najmniejsza dla pojazdów MIDI 31,25%).

Tab. 3.8 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny

Parametr / typ taboru	MINI	MIDI	MAXI	MEGA 15	MEGA 18	Cała sieć
liczba brygad	2	11	27	7	5	52
minimalna długość [km]	191,05	103,00	452,40	280,00	316,89	57,95
maksymalna długość [km]	299,45	308,39	57,95	72,26	134,75	452,40
przeciętna długość [km]	245,25	213,68	223,45	150,67	239,45	209,29
odch. standardowe	76,65	77,40	96,76	58,70	72,26	89,75
wsp. zmienności	31,25%	35,96%	43,52%	38,96%	34,57%	42,06%
suma wzkkm	489,65	2 385,06	5 752,49	1 054,09	1 196,64	10 887,93

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 obsługane 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. 3.9 zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

Tab. 3.9 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów MPK (dane dla dni roboczego szkolnego)

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	2	11	27	7	5	52
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	2	11	27	7	5	52
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	2	11	32	13	5	63
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0	0	0	0	0	0
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	100%	100%	84%	54%	100%	82%
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. 3.10 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
1	Złotoryjska – Ceglana	Pątnowska – Pętla	60	1	2	-	30	23	7	10-25
2	Śląska	Szczytnicka – Pętla	30	5	1	7	30	3	7	1-2
3	Jaworzyńska – LSSE Pętla	Iwaskiewiczza – Pętla	30	8	11	-	8-18	8-12	2	21
4	Jaworzyńska – LSSE Pętla	Poznańska – Pętla	-	-	-	-	45-60	28-29	15	-
5	Nowodworska – LPWiK	Domejki – MPK	30	3	16	15	15	3	7	-
6	Schumana AUCHAN	Iwaskiewiczza – Pętla	30	8	21	-	30	1-2	2-5	-
8	Iwaskiewiczza – Pętla	Poznańska – Pętla	30	6	2	-	30	1-5	2-26	2
9	Dworcowa PKP	Taczalin	p1	0	0	-	p1	0	0	0
10	Dworcowa PKP	Prochowice – Kościuszki (Pętla)	-	-	-	-	p2	-	2	-
15	Złotoryjska – Huta Miedzi	Iwaskiewiczza – Pętla	15	5	4	3	10	1	3	8
16	Asnyka – Złotoryjska	Iwaskiewiczza – Pętla	60-120	11	4	-	-	-	-	-
18	Jaworzyńska – Os. Sienkiewicza	Iwaskiewiczza – Pętla	30	10	1	-	30	-	11	4
23	Domejki – MPK	Iwaskiewiczza – Pętla	-	-	-	-	100	12	50	-
24	Domejki – MPK	Iwaskiewiczza – Baczyńskiego	30	5	17	2	30	5	13	6
26	LSSE Legnickie Pole – Pętla	Domejki – MPK	30	26	3	-	15	12	1	-
27	Domejki – MPK	Ulesie	-	-	-	-	p2	40-42	0	-
28	LSSE Legnickie Pole – Pętla	Poznańska – Pętla	p1	0	0	-	60	4-17	0	-
29	LSSE Legnickie Pole – Pętla	Domejki – MPK	-	-	-	-	p1	30	-	-
C	Cmentarz – Jasków	Domejki – MPK	-	-	-	-	p1	37	-	-

Pominięto linie nocne.

Źródło: Opracowanie własne

3.4. Transport drogowy inny niż komunikacja miejska

Poza komunikacją miejską w Legnicy istnieje sieć połączeń komercyjnych.

Podstawowe kierunki obsługiwane przez komunikację komercyjną to:

- Legnica – Złotoryja,

- Legnica – Gniewomirowice – Chojnów,
 - Legnica – Prochowice,
 - Legnica – Lubin,
- Legnica – Męcinka – Jawor,
 - Legnica – Nowa Wieś Legnicka – Jawor,
 - Legnica – Strzałkowice – Dzierżkowice.

3.5. Transport kolejowy

Przez teren obszaru AKK przebiega kilka linii kolejowych czynnych lub planowanych do przywrócenia w ruchu pasażerskim:

- Linia kolejowa 275 Wrocław Muchobór – Legnica – Gubinek (linia dwutorowa zelektryfikowana na odcinku Wrocław – Miłkowice, dalej linia jednotorowa niezelektryfikowana),
- Linia kolejowa 289 Legnica – Rudna Gwizdanów (linia jednotorowa zelektryfikowana),
- Linia kolejowa 284 Legnica – Złotoryja – Jerzmanice-Zdrój (linia jednotorowa zelektryfikowana),
- Linia kolejowa 137 Legnica – Katowice (linia jednotorowa niezelektryfikowana na odcinku Legnica – Kędzierzyn-Koźle, dalej linia dwutorowa zelektryfikowana).

Ruch pasażerski prowadzony jest na liniach 137, 275, 289. Linia kolejowa nr 284 jest przewidziana do rewitalizacji.

Tab. 3.11 Punkty kolejowej obsługi pasażerskiej na terenie Legnicy

stacja/przystanek kolejowy	linia	Liczba odjazdów i przyjazdów w:		
		dzień roboczy	sobota	niedziela
Legnica	275	202	168	166
Legnica Piekary	137	48	40	40
Legnica Strefa	137	48	40	40

Źródło: Opracowanie własne

4. Plan rozwoju i wymiany taboru

W ostatnich latach zakupiono 16 autobusów przeznaczonych do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Legnicy. W 2017 r. wprowadzono do ruchu 2 fabrycznie nowe pojazdy klasy MAXI z normą emisji spalin EURO 6. W 2018 r. wprowadzono do ruchu 7 nowych pojazdów – 2 fabrycznie nowe spalinowe i 4 hybrydowe pojazdy klasy MAXI z normą emisji spalin EURO

6 oraz 1 pojazd używany klasy MEGA18 z normą emisji spalin EURO 5. W 2020 r. wprowadzono do ruchu 2 pojazdy używane klasy MEGA15 – po 1 spełniającym normę emisji spalin EEV oraz EURO 6. Również w latach 2021 i 2024 wprowadzono do ruchu po 2 pojazdy używane klasy MEGA18, spełniające normę emisji spalin EURO 6. W 2022 r. zakupiono dodatkowo używany autobus Solaris Urbino 8,9 z normą spalania EEV.

Tab. 4.1 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na dzień 03.06.2024 r.)

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2017	SOLARIS URBINO 12E	MAXI	2	2017	EURO 6
2018	SOLARIS URBINO 15	MEGA15	2	2018	EURO 6
2018	Solaris Urbino 12 Hybrid	MAXI	4	2018	EURO 6
2018	SOLARIS URBINO 18	MEGA18	1	2008	EURO 5
2020	SOLARIS URBINO 15	MEGA15	1	2013	EEV
2020	MAN Lions City	MEGA15	1	2016	EURO 6
2021	SOLARIS URBINO 18	MEGA18	2	2017	EURO 6
2022	SOLARIS URBINO 8,9 LE	MIDI	1	2013	EEV
2024	SOLARIS URBINO 18	MEGA18	2	2017	EURO 6

Źródło: Opracowanie własne na podstawie „Analizy strategicznej 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 Legnicy oraz potencjalne koszty wprowadzenia. Pod koniec rozdziału przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania dwóch wariantów do dalszych analiz kosztów i korzyści wynikających z ich wdrożenia. Obecnie w trakcie realizacji jest dostawa 6 pojazdów elektrycznych.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych, w sieci komunikacji miejskiej w Legnicy 63 pojazdach, teoretycznie wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi⁶:

- w terminie od 01.01.2025 r. – 13 pojazdów (tj. udział na poziomie 20%),

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

- w terminie od 01.01.2028 r.– 19 pojazdów (tj. udział na poziomie 30%).

4.1.1. 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 wyzwaniem infrastrukturalnym i technologicznym jest organizacja tankowania. Dzięki zwiększaniu zainteresowania tym rodzajem paliwa, pojawiło się więcej firm dostarczających ten surowiec co pozwoliło na możliwość ograniczenia infrastruktura tankowania w przypadku mniejszych systemów wyłącznie do mobilnej stacji tankowania zaopatrywanej przez butlowóz. Dla większych systemów zalecana 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 europejską 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 Kolonii⁷ posiadającym 35 autobusów wodorowych we flocie oraz obsługującym także obszary podmiejskie.



Rys. 4.1 *Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI*

Źródło: Zbiory własne

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)⁸. Co ważne liczba ta cały czas ulega zwiększaniu, a wiodącym producentem na rynku europejskim jest firma mająca siedzibę w Polsce, która według danych na styczeń 2024 sama dostarczyła już ponad 180 pojazdów do 24 systemów. W odniesieniu do Polski pierwszym systemem z autobusem wodorowym został Konin, a obecnie w Polsce eksploatowane są 54 autobusy wodorowe obsługujące systemy m.in. w Poznaniu, Rybniku.

⁷ Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) jest pionierem zastosowań autobusów wodorowych – pierwsze wdrożenie w 2011 r.

⁸ https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses_web.pdf, dostęp: 05.07.21

Tab. 4.2 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

4.1.2. 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 umieszczone na dachu autobusu mają sumaryczną pojemność 35-40 kg, co 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)⁹.



Rys. 4.2 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI w Seulu, Korea Południowa

Źródło: Zbiory własne

Eksploatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością produkcji i dostarczenia tego paliwa (należy zaznaczyć, że obecnie w Polsce występuje kilka stacji tankowania wodorem, głównie w ramach zaplecza istniejących sieci autobusowych).

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

⁹ <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/februar-2021/wasserstoffantriebe-fuer-e-scooter-und-co.html>, dostęp: 05.07.2021

Tab. 4.3. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
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

4.1.3. Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów napędzanych wodorem, generują koszty zakupu taboru jak i infrastruktury niezbędnej do tankowania pojazdu. Koszty zakupu w materiałach i podręczniku promującym zastosowanie ogniw wodorowych w transporcie publicznym, autobusu typu MAXI szacuje się na poziomie 650 tys. euro, zaś autobusu typu MEGA18 na poziomie 1 miliona euro¹⁰.

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów napędzanych wodorem o długości 13 m, cena może być niższa. Kontrakt wart był 13 mln euro, co oznacza, że jeden autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. Rynek autobusów napędzanych wodorem jest młody i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹¹. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu na ogniwa paliwowe zasilane

wodorem na poziomie dla MAXI – 3,30 mln zł netto, dla MEGA18 – 0,90 mln euro (3,8 mln zł) netto.



Rys. 4.3 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI

Źródło: Zbiory własne

Tab. 4.4 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam ¹²	2	Van Hool 13m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia* (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. €)

¹⁰ JIVE and MEHRLIN Performance Assessment Handbook, Stefan Eckert, Michael Faltenbacher, Klaus Stolzenburg, Martin Gallmetzer

¹¹ https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null_Emissio/2018_Dat_enblatt_Van_Hool.pdf, dostęp: 08.07.2021

¹² <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp: 08.07.2021

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Aberdeen ¹³	10	Van Hool 13m	brak danych	~500 tys. £=560 tys. €
Wuppertal	10	Van Hool	12,0 mln €	650 tys. €
Rybnik	20	Neso Bus 12	53,8 mln zł	2 689 tys. zł

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

4.1.4. 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 niskociśnieniowy 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)¹⁴ 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 €^{15,16}.

4.1.5. Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Legnicy

Do obsługi komunikacji miejskiej w Legnicy przeznaczone są 63 pojazdy. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej, potrzebne jest wykorzystywanie 19 pojazdów zeroemisyjnych. W kontekście obecnie realizowanej dostawy 6 pojazdów elektrycznych, niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych

dla 13 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi – wybrano najstarsze z pojazdów: 13 MAXI (w tym 2 z normą EURO 2). Wymianę autobusów spalinowych na autobusy napędzane wodorem założono w stosunku 1 do 1. Jednostkowa cena pojazdów została ustalona na podstawie obecnych cen rynkowych.

Tab. 4.5 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	46,20 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	2,00 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	48,20 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

¹³ <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses>, dostęp: 08.03.2021

¹⁴ <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing>, dostęp: 09.03.2021

¹⁵ Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, Forschungszentrum Jülich GmbH, 2018.

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

4.2. Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

4.2.1. Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

Obecnie liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych dynamicznie wzrasta. W styczniu 2021 r. w Polsce zarejestrowane były 442 autobusy elektryczne akumulatorowe¹⁷. Większość z nich wprowadzono do eksploatacji w 2020 r., kiedy zarejestrowano aż 201 sztuk (wzrost o 253% względem 2019 r.)¹⁸. Według stanu na kwiecień 2024 liczba autobusów elektrycznych była na poziomie 1260 sztuk – czyli w 3 lata wzrosła ok. 3-krotnie. Autobusy elektryczne w Polsce produkuje wielu producentów, w tym ARP E-Vehicles Sp. z o.o., Huta Stalowa Wola S.A. (właściciel marki Autosan), MAN Truck & Bus oraz Solaris Bus & Coach S.A (obecnie realizuje zlecenie dla Legnicy na 6 pojazdów dostosowanych do ładowania z ładowarek pantografowych). Autobusy elektryczne mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych¹⁹, 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

żywością i małym zakresem temperatur pracy (>-10°C),

- litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C,
- litowo-tytanowych LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²⁰.

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 jest 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 1,25 kWh/km, natomiast dla autobusu 18 metrowego 2,00 kWh/km.

¹⁷ <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-wzrasta-zainteresowanie-hybridami-plug-in/>

¹⁸ <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-rok-2020-rekordowy-na-polskim-ryнку-samochodow-elektrycznych/>

¹⁹ Koncepcja wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych w lubelskiej komunikacji miejskiej, Poznań 2014

²⁰ Przegląd aktualnych doświadczeń w eksploatacji autobusów elektrycznych, MZA Sp. z o.o., Kraków 2017



Rys. 4.4 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Gdańsku

Źródło: Zbiory własne

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 równoległe 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. 4.5 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na ciągu pieszo-jezdnym w Düsseldorf, Niemcy

Źródło: Zbiory własne

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

Tab. 4.6 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

Miasto	Producent	Długość pojazdu	liczba	Cena za sztukę [mln zł brutto]	Ładowniki zawarte w cenie
Wrocław	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
Legnica	Solaris	12m	5	3,747	3x plug-in i 1x pantografowa

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.6 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI podczas szybkiego ładowania, Nicea, Francja

Źródło: Zbiory własne

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

W Tab. 4.6. przedstawione zostały ceny jednostkowe pojazdów w wybranych przetargach na zakup autobusów elektrycznych akumulatorowych w przeciągu ostatnich lat. Na ich podstawie do dalszych analiz przyjęto następujące kwoty netto, niezbędne do zakupu autobusów (z możliwością ładowania za pomocą pantografu):

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

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.



Rys. 4.7 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MAXI z terenowej ładowarki typu plug-in zlokalizowanej przy dworcu kolejowym w Jeleniej Górze

Źródło: Zbiory własne

Tab. 4.7 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.)

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	3	3	13	9	3	31
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:	0	0	19	0	0	19
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	- 7	7	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	3	3	32	9	3	50

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 13 dotychczasowych brygad obsługiwanych autobusami klasy MAXI z trwającego zadania w ramach projektu .

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MAXI	MAXI	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	3	4	20	15	3	45
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	19	0	0	19
Stan taboru	3	4	39	15	3	64
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	100%	75%	65%	60%	100%	69%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	49%	0%	0%	30%

Źródło: Opracowanie własne

4.2.5. 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. 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. 4.8 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej

Źródło: Zbiory własne

4.2.6. 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 oprócz standardowych ładowarek na terenie zajezdni MPK także lokalizację stacji szybkiego ładowania na terenie miasta.

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:

- linie z przeznaczeniem do elektryfikacji zdefiniowano, tak, aby w godzinach szczytów łączna liczba kursujących na nich brygad była zbliżona do wymaganej liczby autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora licząc na dzień 29.05.2024 r., przy założeniu, że wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych akumulatorowych będzie wynosił w dzień roboczy 95%,
- niskie prędkości komunikacyjne,
- niski udział zadań szczytowych w systemie przerywanego czasu pracy (dodatków),
- regularna częstotliwość kursowania,
- posiadania obu krańców podstawowych na terenie gminy organizatora,

- posiadanie krańców wspólnych z innymi liniami,
- 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,
- większość trasy znajduje się w granicach administracyjnych miejscowości o statusie miejskim.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej wymiany taboru na pojazdy zeroemisyjne wytypowano następujące linie: 5, 6, 23, 24 a do częściowej elektryfikacji linie 15 i 16. 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 taboru z napędem konwencjonalnym, np. linii 3, 8 i 18.

Dla zmaksymalizowania korzyści wynikających z niższych kosztów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych akumulatorowych, założono, że będą one silniej eksploatowane od autobusów

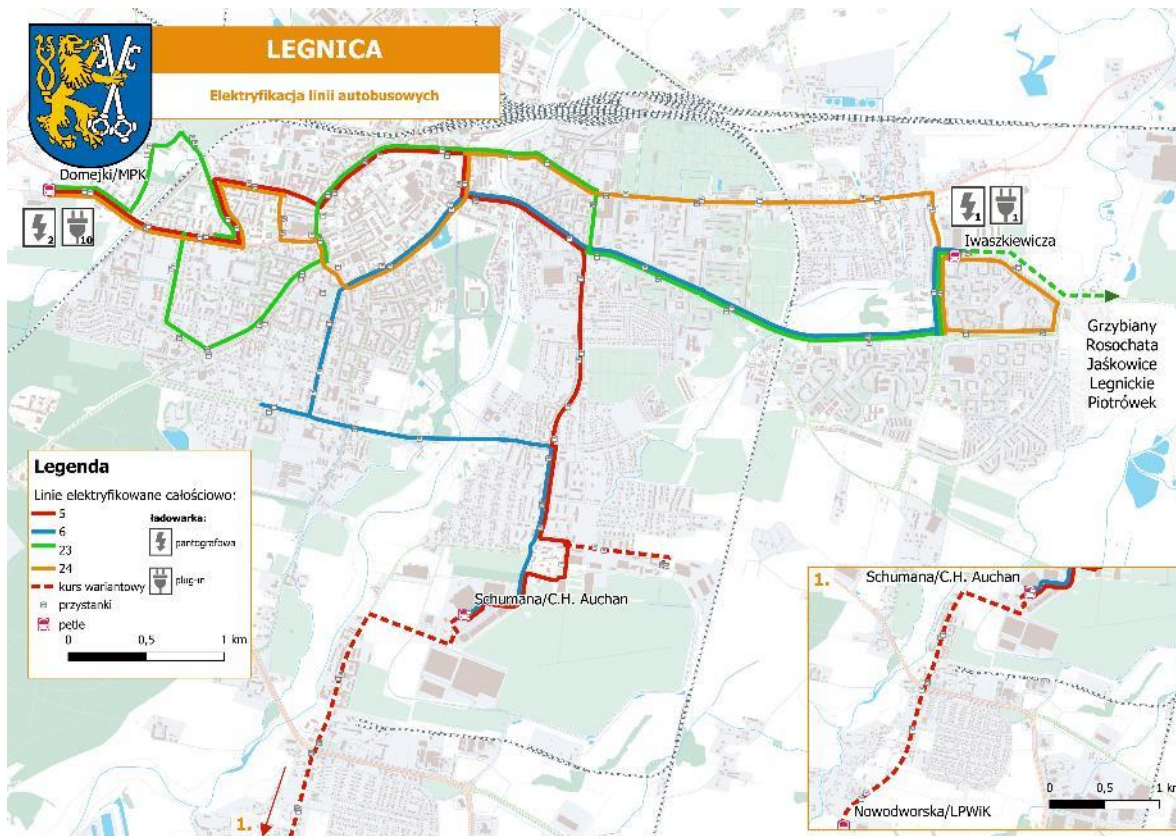
spalinowych, pomimo konieczności wydłużenia przerw międzykursowych na doładowanie akumulatorów; przyjęto, że nawet jeśli zwiększy się liczba pojazdów w ruchu przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny typu MAXI w ruchu będzie wyższa o 10% (do poziomu ok. 66 tys. rocznie) w porównaniu do obecnego średniego przebiegu autobusu tego typu.

Przewidziano również lokalizację ładowarek szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu na pętlach Domejki – MPK (2 szt.) oraz Iwazkiewicza – Pętla (1 szt. obecnie realizowanej).



Rys. 4.9 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MEGA18 z ładowarki pantografowej we Wrocławiu

Źródło: Zbiory własne



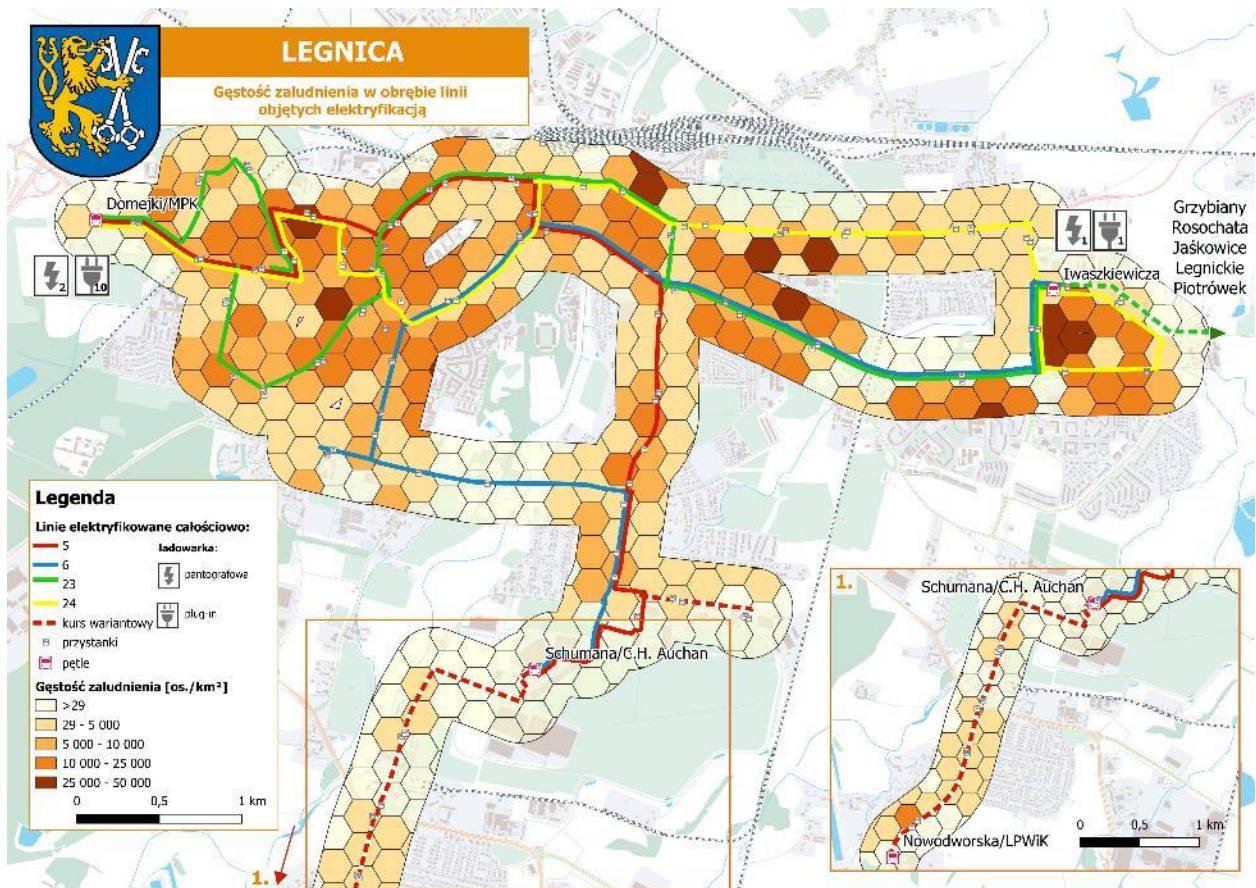
Rys. 4.10 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek

Źródło: Opracowanie własne

Linie 5, 6, 23, 24 obecnie obsługuje 19 brygad w dzień roboczy, w godzinach szczytu przewozowego:

- linia 5: 4 brygady MIDI, 2 brygady MAXI,
- linia 6: 3 brygady MAXI,
- linia 23: 5 brygady MAXI,
- linia 24: 5 brygad MAXI.

W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu utrzymania obecnie stosowanych częstotliwości kursowania do obsługi przewozów łącznie będzie potrzebny 1 dodatkowy pojazd. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej zatem wzrośnie o 1 sztukę.



Rys. 4.11 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją

Źródło: Opracowanie własne

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	3	3	13	9	3	31
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:	0	0	19	0	0	19
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	- 7	7	0	0	0
Liczba brygad w ruchu	3	3	33	9	3	50

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych pojazdów, wystąpi przyrost wielkości floty operatora o 1 pojazd. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową do obsługi sieci

potrzebnych będzie łącznie 64 pojazdy, w tym 19 autobusów o napędzie elektrycznym (30%). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych względem ilostanu operatora.

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

Wariant W1	MINI	MIDI	MAXI	MAXI	MAXI	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	3	4	20	15	3	45
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe	0	0	19	0	0	19
Stan taboru	3	4	39	15	3	64
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	100%	75%	65%	60%	100%	69%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	49%	0%	0%	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. 4.12 Trolejbus MAXI w Lyon, Francja

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 brutto²¹. 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 brutto²². W Gdyni w 2018 r. zakupiono 14 sztuk

²¹ <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obslugi-linii-komunikacji-miejskiej-15-szt-trolejbusow-przegubowych-mega-numer-sprawy-dz-381-516/> , dostęp: 16.07.2021

²² <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obslugi-linii-komunikacji-miejskiej-10-szt-trolejbusow-maxi-numer-referencyjny-dz-381-ue-118/> . dostęp: 17.07.2021

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 brutto²³. 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 brutto²⁴. 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 brutto²⁵. 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

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 technicznego²⁷. 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)²⁸.

odbieraki i trolejbusowa sieć trakcyjna. 5 marca 2021 rozstrzygnięto przetarg, przeznaczając prawie 18,23 mln zł brutto (3,04 mln zł brutto za pojazd)²⁶.



Rys. 4.13 Trolejbus MEGA18 na odcinku bez sieci trakcyjnej w Lublinie

Źródło: Zbiory własne

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 brutto²⁹.

²³ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html> , dostęp: 16.07.2021

²⁴ <https://bip.um.gdynia.pl/zamowienia-publiczne,738/postepowanie-na-dostawie-autobusow-elektrycznych-ladowanych-w-ruchu-i-na-postoju,529604> , dostęp: 15.07.2021

²⁵ <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727> , dostęp: 16.07.2021

²⁶ <https://platformazakupowa.pl/transakcja/384851> , dostęp: 21.07.2021

²⁷ http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184 , dostęp: 21.07.2021

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

²⁹ https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa-more_106289/ , dostęp: 20.07.2021

4.3.4. Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Legnicy

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej powinien wynosić 30%. MPK Legnica użytkuje 64 pojazdy (w tym maksymalnie 50 pojazdów w ruchu). Zatem MPK powinno posiadać 19 pojazdów zeroemisyjnych w celu spełnienia wymogów płynących z uepa. Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy zakłada się w stosunku 1 do 1. Optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby elektryfikację linii 3, 6, 8, 15/16 oraz 18, ponieważ tworzą one wiązkę linii na możliwie długim wspólnym odcinku trasy, od skrzyżowania ul. Skarbka z ul. Jaworzyńską przez ul. Witelona, Wrocławską, Żołnierzy II Armii Wojska Polskiego, Al. Piłsudskiego do skrzyżowania Al. Piłsudskiego z ul. Sudecką. Obecnie linie te w szczycie komunikacyjnym obsługiwane są łącznie przez 20 autobusów, w tym:

- linia 15 i 16 – 2 pojazdy MAXI, 2 pojazdy MEGA15, 2 pojazdy MEGA18,
- linia 3 – 2 pojazdy MAXI, 3 pojazdy MEGA15, 1 pojazd MEGA18,
- linia 6 – 3 pojazdy MAXI,
- linia 18 – 2 pojazdy MAXI,
- linia 8 – 3 pojazdy MIDI.

W celu maksymalizacji wykorzystania pojazdów elektrycznych założono, że rezerwę będą pełniły wyłącznie pojazdy spalinowe. Ze względu na konieczność wykonywania kursów podmiejskich na linii 8, w jej przypadku przewidziano obsługę hybrydową – 2 trolejbusy będą wykonywały zadania miejskie (zamiana typu taboru MIDI na MAXI), 1 autobus spalinowy będzie obsługiwał kursy wybiegające poza granice miasta. Zatem zakres rzeczowy inwestycji mógłby składać się z zakupu 19 trolejbusów, w tym 11 typu MAXI (2 zastąpią obecnie eksploatowane autobusy typu MIDI) oraz 8 typu MEGA18 (5 zastąpią obecnie eksploatowane autobusy typu MEGA15).

Co istotne, niniejsze linie należą do kursujących najczęściej w legnickiej sieci komunikacji miejskiej, łączą najważniejsze osiedla mieszkaniowe z centrum oraz posiadają wspólny kraniec (Iwazskiewicza – Pętla 3, 6, 8, 15/16, 18, 23). Jednakże w przypadku trolejbusów istotnym problemem może stać się dojazd do zajezdni MPK przy Domejki, ze względu na przejazdy kolejowe przez zelektryfikowany fragment linii kolejowej nr 284. W celu minimalizacji nakładów inwestycyjnych, zaplanowano wykorzystanie pojazdów z akumulatorami ładowanymi zarówno w trakcie postoju na pętli, jak i w trakcie jazdy na odcinkach z siecią trakcyjną, wykorzystywanymi już w regularnej eksploatacji w polskich systemach. Dodatkowo pojazdy tego typu pozwolą na minimalizowanie utrudnień wynikających z potencjalnych skrzyżowań z kolejową siecią trakcyjną na trasie do zajezdni, ponieważ ten obszar pojazdy pokonają na zasilaniu akumulatorowym ze złożonymi pałkami. Do zasilania sieci trakcyjnej potrzebne będzie 5 podstacji trakcyjnych.



Rys. 4.14 Trolejbus MEGA25 w Zürich, Szwajcaria

Źródło: Zbiory własne

Ze względu na brak trolejbusów MEGA15 w ofertach producentów krajowych, zakłada się wymianę autobusów MEGA15 na trolejbusy MEGA18. Trasa linii 15 będzie pokryta siecią trakcyjną na trasie podstawowej (Iwazskiewicza – Złotoryjska/Ceglana), natomiast linie 3, 6, 8, 16 i 18 częściowo, z tego względu zakłada się

kursowanie trolejbusów z napędem pomocniczym na fragmentach tras bez trakcji trolejbusowej. Przebiegi tras oraz proponowany przebieg trakcji ilustruje Rys. 4.1. Linia 3 wykorzysta trakcję od ul. Jaworzyńskiej do pętli na ulicy Iwaszkiewicza, linia 6 od pętli Schumana do skrzyżowania al. Rzeczypospolitej/Bielańska oraz od ul. Muzealnej do pętli na ul. Iwaszkiewicza. W przypadku linii 16 trakcja nie obejmie odcinka poza trasą linii 15 (ulice A.

Asnyka, Marynarska i Artyleryjska). Linia 8 wykorzysta sieć trakcyjną na odcinku od ul. Pocztovej do pętli Iwaszkiewicza, linia 18 skorzysta na odcinku od pętli Schumana do Iwaszkiewicza. Wyjazdy z zajezdni będą odbywać się z wykorzystaniem akumulatorów. Łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Legnicy docelowo może wynieść 18,2 km trakcji dwukierunkowej.

Tab. 4.11 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1 800 000 zł	11	19 800 000 zł
MEGA18	2 050 000 zł	8	16 400 000 zł
Ogółem		19	36 200 000 zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.15 Trolejbus typu MAXI w Lublinie

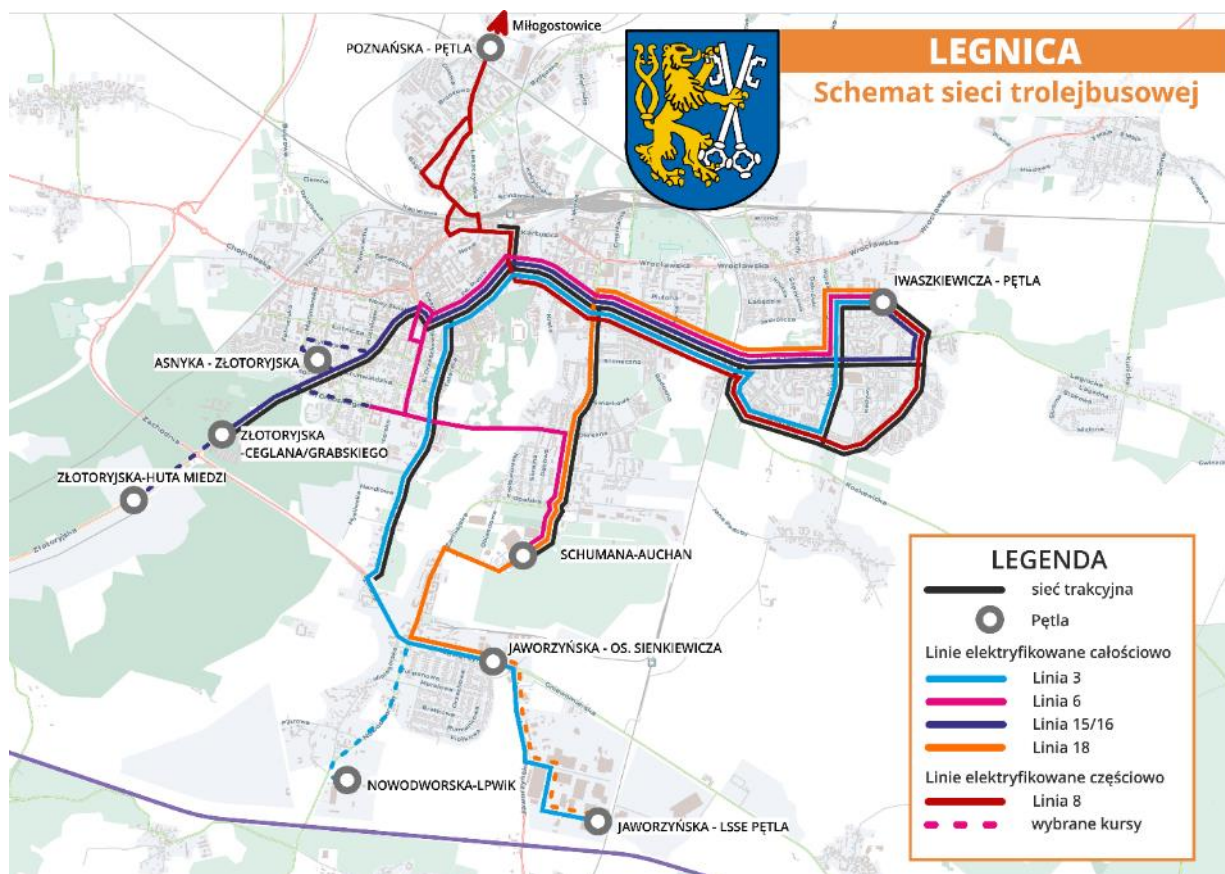
Źródło: Zbiory własne

Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebnych będzie 13 trolejbusów MAXI. Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem komunikacji trolejbusowej są podstacje trakcyjne, które powinny być rozmieszczone co około 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 Legnicy.

Tab. 4.12 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	36,20 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	72,80 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	10,50 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	131,70 mln zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.16 Symulacja sieci trolejbusowej dla spełnienia warunków z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych

Źródło: Opracowanie własne

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

Eksploatacja wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym (uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne) pozwala uniknąć nakładów finansowych związanych ze zwiększeniem floty w ruchu (większość rozwiązań nie pozwala na wymianę 1:1 w każdej sytuacji), 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 1,1 mln zł netto.

Tab. 4.13 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w mln zł
MAXI ON	19	1,1 mln zł	20 900 000
Koszt całkowity inwestycji:			20 900 000

Źródło: Opracowanie własne

4.5. Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru

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

- techniczny:
 - łatwość wprowadzenia rozwiązania i konieczność budowy nowej lub przebudowy infrastruktury,
 - zasięg oferowany przez rozwiązanie,
 - elastyczność zarządzania 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. 4.14 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.

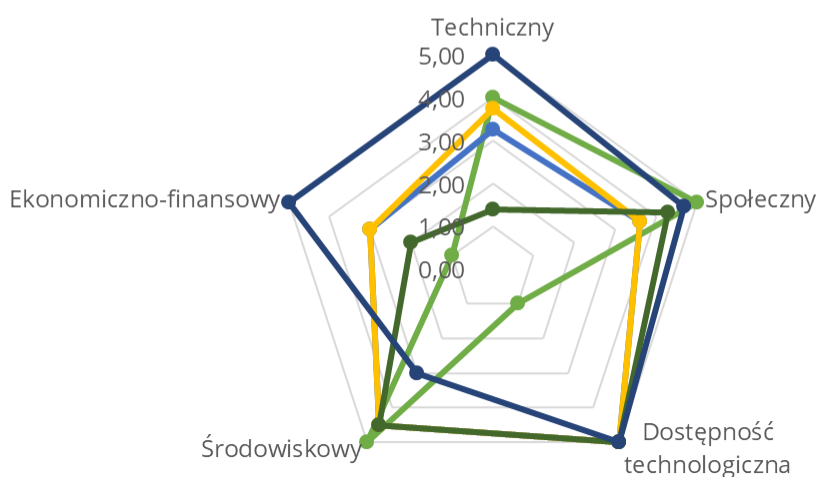
Tab. 4.15 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

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

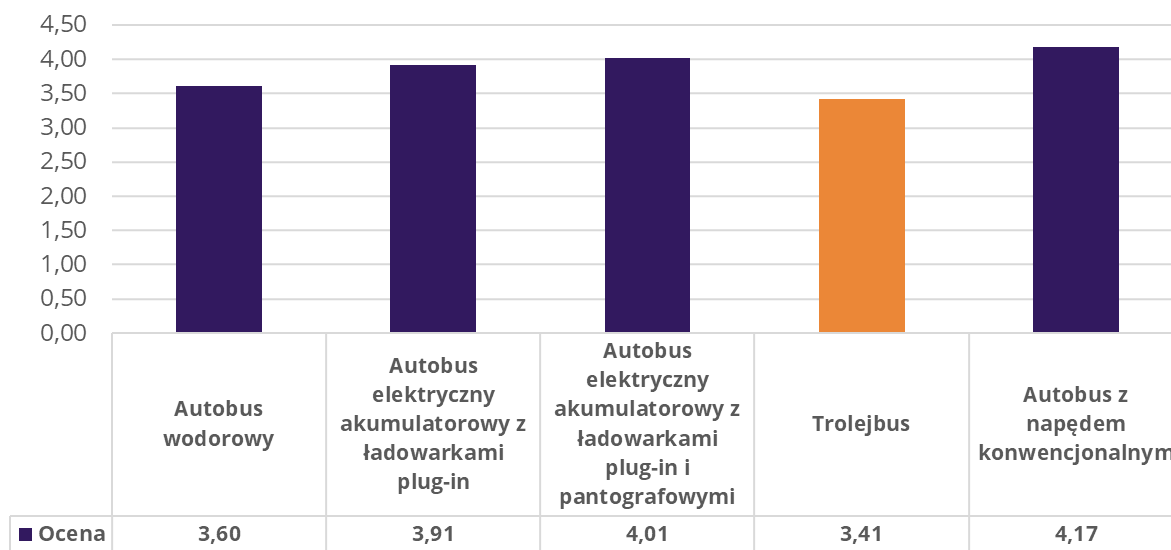
- Autobus wodorowy
- Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in
- Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi
- Trolejbus
- Autobus z napędem konwencjonalnym



Rys. 4.17 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.18 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 Legnicy zostanie zbudowana przez inwestora zewnętrznego.

Tab. 4.16 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Legnicy.

<p>W0 autobusy z obecnym napędem</p>	<p>W1 autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane z ładowarek pantografowych</p>	<p>W2 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>W3 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 „Zakup autobusów z elektrycznym napędem wraz z budową stacji ładowania” obejmującego zakup 6 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI, budowę 1 szt. ładowarki pantografowej na pętli Iwaskiewicza, 3 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 13 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych (poza 6 szt. MAXI w ramach realizowanego projektu „Zakup autobusów z elektrycznym napędem wraz z budową stacji ładowania”) Całościowo elektryfikowane linie: 5, 8, 23, 24 Częściowo elektryfikowane linie: 15, 16 Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 8, 18 i wszystkie pozostałe funkcjonujące w sieci, wcześniej niewymienione Budowa 7 szt. dwustanowiskowych lub 13 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych (poza realizowanymi obecnie 3 szt.) i 2 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania na pętli Domejki działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in (poza realizowaną 1 szt. na pętli Iwaskiewicza) Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 13 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych (poza 6 szt. MAXI w ramach realizowanego projektu „Zakup autobusów z elektrycznym napędem wraz z budową stacji ładowania”) Całościowo elektryfikowane linie: 5, 8, 23, 24 Częściowo elektryfikowane linie: 15, 16 Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 8, 18 i wszystkie pozostałe funkcjonujące w sieci, wcześniej niewymienione Budowa 7 szt. dwustanowiskowych lub 13 szt. jednostanowiskowych ładowarek zajezdniowych (poza realizowanymi obecnie 3 szt. i budowaną 1 szt. ładowarki pantografowej na pętli Iwaskiewicza) Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 13 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi (poza 6 szt. MAXI w ramach realizowanego projektu „Zakup autobusów z elektrycznym napędem wraz z budową stacji ładowania”) Całościowo elektryfikowane linie: 5, 8, 23, 24 Częściowo elektryfikowane linie: 15, 16 Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 8, 18 i wszystkie pozostałe funkcjonujące w sieci, wcześniej niewymienione Założono, że stacja tankowania wodoru zostanie zbudowana przez inwestora zewnętrznego bez udziału finansowego Gminy Legnica lub operatora komunikacji miejskiej ((poza realizowanymi obecnie 3 szt. ładowarek zajezdniowych i budowaną 1 szt. ładowarki pantografowej na pętli Iwaskiewicza) Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe</p>

Źródło: Opracowanie własne

5. Analiza finansowo – ekonomiczna

Na podstawie analizy wielokryterialnej do dalszej analizy wybrano wariant tzw. bezinwestycyjny z odtwarzaniem floty legnickiej 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).

Uwzględniając wysoki poziom luki finansowej obliczonej w rozdziale 7.4., zasadne jest nabywanie autobusów zeroemisyjnych z odpowiednio wysokim dofinansowaniem. Dofinansowanie do leasingu autobusów elektrycznych, wodorowych i trolejbusów było przewidziane w dwóch pierwszych fazach programu NFOŚiGW Zielony Transport Publiczny, jednakże w ostatniej (trzeciej) w 2023 r., taki model pozyskania taboru nie zaliczał się już do wydatków kwalifikowanych. W przypadku modelu jakim jest klasyczny zakup, w przeszłości każdy nabór wniosków o dofinansowanie przewidywał objęcie wsparciem finansowym, stąd uznaje się go za tryb podstawowy przy elektryfikacji floty autobusowej.

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 2025-2043.

W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 3%.

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 2025 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2026 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 2022 r. z usług komunikacji miejskiej w Legnicy skorzystało 15,637 mln pasażerów.

Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI przystosowane do szybkiego ładowania z ładowarek pantografowych realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 10% do poziomu ok. 66 tys. wzkkm rocznie, względem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów.

Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI przystosowane wyłącznie do czasochłonnego

ładowania w technologii plug-in, realizować będą zmniejszoną pracę eksploatacyjną o 20% do poziomu ok. 46 tys. wzmk rocznie, względem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów.

Autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI wykonywać będą ok. 66 tys. wzmk rocznie.

Średnia gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii elektryfikowanych całościowo wynosi 5 500 osób/ km².

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 prognozy). 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 7 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2025	16 100 000 zł
Budowa 4 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2025	900 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Domejki	2025	950 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	13 800 000 zł
Budowa 3 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	1 125 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Domejki	2027	950 000 zł
	Suma:	33 375 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2

Wariant W2		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 7 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2025	18 900 000 zł
Budowa 4 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2025	900 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	16 200 000 zł
Budowa 3 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	675 000 zł
	Suma:	36 675 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3

Wariant W3		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 7 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2025	23 100 000 zł
Zakup 6 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2027	19 800 000 zł
	Suma:	42 900 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych – wszystkie warianty inwestycyjne

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

Źródło: Opracowanie własne

5.3. Wartość nakładów odtworzeniowych

W obu wariantach inwestycyjnych założono ponoszenie nakładów o charakterze odtworzeniowym, które mają na celu utrzymanie odpowiedniego 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 13 lat, przy czym po każdej ich kolejnej wymianie okres żywotności wynosić będzie 10 lat. Dla każdego autobusu z napędem konwencjonalnym wyprodukowanego po 2024 r. pierwsze nakłady odtworzeniowe zostaną

poniesione po 10 latach eksploatacji. 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	Stopień 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 2024 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	15	100%
Stacje ładowania	15	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
2024	- zł	- zł	- zł	- zł
2025	10 800 000,00 zł	4 600 000,00 zł	4 600 000,00 zł	8 600 000,00 zł
2026	4 100 000,00 zł	3 000 000,00 zł	3 000 000,00 zł	3 000 000,00 zł
2027	- zł	5 600 000,00 zł	2 300 000,00 zł	3 400 000,00 zł
2028	11 700 000,00 zł	4 000 000,00 zł	4 000 000,00 zł	4 000 000,00 zł
2029	- zł	- zł	3 300 000,00 zł	- zł
2030	1 150 000,00 zł	- zł	- zł	- zł
2031	14 950 000,00 zł	11 600 000,00 zł	11 600 000,00 zł	9 400 000,00 zł
2032	10 600 000,00 zł	10 600 000,00 zł	10 600 000,00 zł	10 600 000,00 zł
2033	10 200 000,00 zł	14 715 000,00 zł	17 235 000,00 zł	15 205 000,00 zł
2034	- zł	- zł	- zł	- zł
2035	13 100 000,00 zł	10 770 000,00 zł	12 930 000,00 zł	15 190 000,00 zł
2036	4 100 000,00 zł	3 000 000,00 zł	3 000 000,00 zł	3 000 000,00 zł
2037	- zł	5 600 000,00 zł	7 700 000,00 zł	3 400 000,00 zł
2038	11 700 000,00 zł	4 000 000,00 zł	4 000 000,00 zł	4 000 000,00 zł
2039	11 500 000,00 zł	13 800 000,00 zł	17 100 000,00 zł	- zł
2040	3 450 000,00 zł	16 100 000,00 zł	18 900 000,00 zł	23 100 000,00 zł
2041	14 950 000,00 zł	11 600 000,00 zł	11 600 000,00 zł	9 400 000,00 zł
2042	10 600 000,00 zł	24 400 000,00 zł	21 400 000,00 zł	30 400 000,00 zł
2043	- zł	- zł	- zł	- zł
SUMA	132 900 000,00 zł	143 385 000,00 zł	153 265 000,00 zł	142 695 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach

c	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2024-2043	132 900 000,00 zł	143 385 000,00 zł	153 265 000,00 zł	142 695 000,00 zł
Zmiana do W0		10 485 000,00 zł	20 365 000,00 zł	9 795 000,00 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 MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych MPK Legnica z 2023 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 MPK Legnica z 2023 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 MPK Legnica z 2023 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 MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych MPK Legnica z 2023 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 MPK Legnica z 2023 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 MPK Legnica z 2023 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 2022 i 2023.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2022 i 2023.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2022 i 2023.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2022 i 2023.
Średnie zużycie energii	-	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 125 kWh/ 100 km).	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 125 kWh/ 100 km).	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 125 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)
Koszty zużycia wodoru	-	-	-	Oszacowano na podstawie kosztu 1kg na funkcjonujących stacjach tankowania wodoru (tj. 69,00 zł brutto/ 1 kg)
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych MPK Legnica z 2023 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	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
		energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XLIX/564/22 Rady Miejskiej w Legnicy z dnia 28 listopada 2022 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XLIX/564/22 Rady Miejskiej w Legnicy z dnia 28 listopada 2022 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XLIX/564/22 Rady Miejskiej w Legnicy z dnia 28 listopada 2022 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr XLIX/564/22 Rady Miejskiej w Legnicy z dnia 28 listopada 2022 r. w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych
Ubezpieczenia	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych MPK Legnica z 2023 r. wyrażonych w zł na pojazd.
Koszty wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Założono, że koszty 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 50,46 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	35 680 000,00 zł	35 195 000,00 zł	35 680 000,00 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	132 795 000,00 zł	141 680 000,00 zł	129 220 000,00 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	168 475 000,00 zł	176 875 000,00 zł	164 900 000,00 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 3%.

Tab. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.

Kategoria	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
FNPV/C	- 29 040 116,27	- 42 846 842,70	- 52 706 210,31
FRR/C	-7%	-12%	-14%

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 uępa wyniósł 79% w przypadku wariantu W1.

5.7. Ocena sytuacji finansowej miasta i wpływu programu wymiany pojazdów na jej stabilność

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż elektryfikacja komunikacji miejskiej w Legnicy zaplanowana w wariantcie W1, którego wskaźnik ENPV w dalszej części analizy jest najwyższy spośród wszystkich wariantów inwestycyjnych, nie zaburzy stabilności finansowej Gminy Legnica 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 2023 r. poz. 1270 ze zm.), 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 2023 r. poz. 1270 ze zm.), po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń w oparciu o wykonanie roku poprzedzającego pierwszy rok prognozy (wskaźnik ustalony w oparciu o średnią arytmetyczną z 3 poprzednich lat).

5.8. Ocena sytuacji finansowej podmiotu odpowiedzialnego za realizację usług transportowych

Bieżąca sytuacja finansowa

Operator legnickiej komunikacji miejskiej (MPK) prowadzi działalność w formie spółki prawa handlowego, dlatego też analiza jego sytuacji finansowej sporządzona została na podstawie

wskaźników rentowności, płynności oraz zadłużenia. Analiza wskaźnikowa przeprowadzona została na podstawie historycznych sprawozdań finansowych z lat 2021-2023.

Tab. 5.11 Rachunek zysków i strat – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy

Kategoria/Okres projekcji	2021	2022	2023
Przychody ze sprzedaży i zrównane z nimi	26 552 623,46	31 090 024,29	33 361 507,57
Przychody netto ze sprzedaży produktów	26 550 728,06	31 090 024,29	33 361 045,17
Zmiana stanu produktów	0,00	0,00	0,00
Koszt wytworzenia produktów na własne potrzeby jednostki	0,00	0,00	0,00
Przychody netto ze sprzedaży towarów i materiałów	1 895,40	0,00	462,40
Koszty działalności operacyjnej	29 324 726,83	33 946 358,36	36 694 025,56
Amortyzacja	2 795 365,13	2 860 306,20	2 775 190,76
Zużycie materiałów i energii	6 518 237,17	9 940 600,47	9 200 521,05
Usługi obce	2 544 598,40	2 675 086,18	3 051 384,67
Podatki i opłaty	638 985,55	665 446,29	724 084,56
Wynagrodzenia	13 310 001,15	14 029 638,49	16 749 516,75
Ubezpieczenia społeczne i inne świadczenia	3 198 929,70	3 455 169,66	3 812 164,00
Pozostałe koszty rodzajowe	318 609,73	320 111,07	381 163,77
Wartość sprzedanych towarów i materiałów	0,00	0,00	0,00
Zysk/strata ze sprzedaży	-2 772 103,37	-2 856 334,07	-3 332 517,99
Pozostałe przychody operacyjne	3 377 105,21	2 691 130,95	3 299 773,68
Zysk z tytułu rozchodu niefinansowych aktywów trwałych	162,60	49 544,70	0,00

Kategoria/Okres projekcji	2021	2022	2023
Dotacje	0,00	0,00	0,00
Inne przychody operacyjne	3 376 942,61	2 641 586,25	3 299 773,68
Pozostałe koszty operacyjne	124 306,74	128 196,17	284 730,69
Zysk/Strata na działalności operacyjnej	480 695,10	-293 399,29	-317 475,00
Przychody finansowe	41,51	27 085,74	106 403,60
Koszty finansowe	331 464,28	282 490,71	231 639,29
Zysk/Strata brutto na działalności gospodarczej	149 272,33	-548 804,26	-442 710,69
Zyski nadzwyczajne	0,00	0,00	0,00
Straty nadzwyczajne	0,00	0,00	0,00
Zysk/Strata brutto	149 272,33	-548 804,26	-442 710,69
Podatek dochodowy	0,00	0,00	0,00
Pozostałe obowiązkowe obciążenia	0,00	0,00	0,00
Zysk/Strata netto	149 272,33	-548 804,26	-442 710,69

Źródło: Dane finansowo- księgowe Operatora

Tab. 5.12 Bilans - Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy

Kategoria/Okres projekcji	2021	2022	2023
Aktywa trwałe	25 871 343,07	23 573 462,58	21 344 447,73
Wartości niematerialne i prawne	244 315,62	199 283,58	174 601,54
Rzeczowe aktywa trwałe	25 627 027,45	23 374 179,00	21 169 846,19
Należności długoterminowe	0,00	0,00	0,00
Inwestycje długoterminowe	0,00	0,00	0,00
Długoterminowe rozliczenia międzyokresowe	0,00	0,00	0,00
Aktywa obrotowe	6 484 165,45	6 132 945,23	7 003 825,21
Zapasy	271 877,85	448 827,66	306 943,00
Należności krótkoterminowe	1 617 067,57	1 538 217,05	1 632 179,92
Inwestycje krótkoterminowe w tym:	4 584 888,34	4 133 655,13	5 052 804,91
Papiery wartościowe	0,00	0,00	0,00
Krótkoterminowe aktywa finansowe	0,00	0,00	0,00
Środki pieniężne	4 584 888,34	4 133 655,13	5 052 804,91
Krótkoterminowe rozliczenia międzyokresowe	10 331,69	12 245,39	11 897,38
AKTYWA RAZEM	32 355 508,52	29 706 407,81	28 348 272,94
PASYWA			
Kapitał własny	15 827 198,72	15 278 394,46	14 835 683,77
Kapitał podstawowy	43 114 000,00	43 114 000,00	43 114 000,00
Kapitał zapasowy	390,24	390,24	390,24
Kapitał z aktualizacji wyceny	0,00	0,00	0,00
Pozostałe kapitały rezerwowe	0,00	0,00	0,00
Zysk (strata) netto	149 272,33	-548 804,26	-442 710,69
Zysk (strata) netto z lat ubiegłych	-27 436 463,85	-27 287 191,52	-27 835 995,78
Zobowiązania i rezerwy na zobowiązania	16 528 309,80	14 428 013,35	13 512 589,17
Rezerwy na zobowiązania	4 291 442,60	3 917 625,03	4 357 614,63
Zobowiązania długoterminowe	6 149 665,43	4 891 675,57	3 580 479,37
Zobowiązania krótkoterminowe	6 009 054,85	5 577 047,19	5 544 912,23
z tytułu dostaw i usług, pozostałe	6 009 054,85	5 577 047,19	5 544 912,23
Kredyty i pożyczki	0,00	0,00	0,00
Rozliczenia międzyokresowe (rozliczenie dotacji)	78 146,92	41 665,56	29 582,94
PASYWA RAZEM	32 355 508,52	29 706 407,81	28 348 272,94

Źródło: Dane finansowo- księgowe Operatora

Tab. 5.13 Rachunek przepływów pieniężnych - Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy

Kategoria/Okres projekcji	2021	2022	2023
Przepływy środków pieniężnych z działalności operacyjnej			
Zysk/Strata netto	149 272,33	-548 804,26	-442 710,69
Korekty razem	3 175 430,33	3 163 412,63	3 531 232,96
Amortyzacja	2 795 365,13	2 860 306,20	2 775 190,76
Zyski/Straty z tyt. różnic kursowych	0,00	0,00	0,00
Odsetki i udziały w zyskach	331 464,28	282 487,78	231 441,02
Zysk/Strata z działalności inwestycyjnej	-162,60	-49 544,70	129 416,03
Zmiana stanu rezerw	101 015,63	-373 817,57	439 989,60
Zmiana stanu zapasów	37 399,30	-176 949,81	141 884,66
Zmiana stanu należności	-249 181,08	78 850,52	-93 962,87
Zmiana stanu zobowiązań krótkoterm. z wyj. pożyczek i kredytów	191 131,51	580 475,27	-80 991,63
Zmiana stanu rozliczeń międzyokresowych	-31 601,84	-38 395,06	-11 734,61
Inne korekty	0,00	0,00	0,00
Przepływy pieniężne z działalności operacyjnej	3 324 702,66	2 614 608,37	3 088 522,27
Przepływy środków pieniężnych z działalności inwestycyjnej			
Wpływy	162,60	49 544,70	72 747,97
Wydatki	1 252 546,11	1 625 955,40	752 689,58
Przepływy pieniężne netto z działalności inwestycyjnej	-1 252 383,51	-1 576 410,70	-679 941,61
Przepływy środków pieniężnych z działalności finansowej			
Wpływy	0,00	0,00	0,00
Wpływy netto z wydania udziałów (emisji akcji) i innych instrumentów kapitałowych, dopłat do kapitału	0,00	0,00	0,00
Kredyty i pożyczki	0,00	0,00	0,00
Emisja dłużnych papierów wartościowych	0,00	0,00	0,00
Inne wpływy finansowe	0,00	0,00	0,00
Wydatki	1 489 431,39	1 489 430,88	1 489 430,88
Spłaty kredytów i pożyczek	0,00	0,00	0,00
Odsetki	331 464,28	282 487,78	231 441,02
Płatności zobowiązań z tytułu umów leasingu finansowego	1 157 967,11	1 206 943,10	1 257 989,86
Przepływy pieniężne netto z działalności finansowej	-1 489 431,39	-1 489 430,88	-1 489 430,88
Przepływy pieniężne netto razem	582 887,76	-451 233,21	919 149,78
Środki pieniężne na początek okresu	4 002 000,58	4 584 888,34	4 133 655,13
Środki pieniężne na koniec okresu	4 584 888,34	4 133 655,13	5 052 804,91

Źródło: Dane finansowo-księgowe Operatora

Wyniki analizy wskaźnikowej kształtują się następująco:

- a) Wskaźnik stanu nadwyżki finansowej
Wartość wskaźnika jest dodatnia w każdym roku i wynosi od 2,3 mln zł do 2,9 mln zł. Oczekuje się, iż wskaźnik będzie wyższy od sumy spłat kapitału kredytów i pożyczek w każdym roku. Wartość oczekiwana jest spełniona w każdym roku.
- b) Wskaźnik płynności II stopnia
Wartość wskaźnika kształtuje się na poziomie od 1,02 do 1,21 w okresie analizy. Oczekuje się, iż wartość będzie wyższa lub równa 0,75 w każdym roku analizy. Zatem wskaźnik jest wyższy od wartości oczekiwanej w każdym roku analizy.
- c) Stan środków pieniężnych
Wartość wskaźnika kształtuje się na poziomie od 4,1 mln zł do 5,1 mln zł w

- okresie analizy. Oczekuje się, iż wartość będzie wyższa lub równa 0 w każdym roku analizy. Zatem wskaźnik jest wyższy od wartości oczekiwanej.
- d) Wskaźnik pokrycia obsługi zadłużenia (WPOD)
Wartość wskaźnika kształtuje się na poziomie od 3,78 do 4,39 w każdym roku, w którym występuje dług. Oczekuje się, iż wartość będzie wyższa lub równa 1,2 w każdym roku analizy. Zatem wskaźnik jest wyższy od wartości oczekiwanej poza ostatnim okresem sprawozdawczym.
- e) Wskaźnik zadłużenia
Wartość wskaźnika kształtuje się na poziomie od 0,32 do 0,38 w okresie analizy. Oczekuje się, iż wartość będzie

niższa lub równa 0,60 w każdym roku analizy. Zatem wskaźnik jest na akceptowalnym poziomie.

- f) Analiza funkcji dyskryminacyjnej wg wzoru E. Mączyńskiej
Wartość wskaźnika kształtuje się na poziomie od 0,535 do 0,900 w okresie analizy. Oczekuje się, iż wartość będzie wyższa od 0,00 w każdym roku analizy. Zatem wskaźnik jest wyższy od wartości oczekiwanej.

Na podstawie przeprowadzonej oceny bieżącej sytuacji finansowej operatora stwierdza się, iż znajduje się on w dobrej sytuacji finansowej i jest w stanie zapewnić wykonalność elektryfikacji legnickiej komunikacji miejskiej.

Tab. 5.14 Historyczne wskaźniki finansowe – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy

Kategoria/Okres projekcji	2021	2022	2023
1. Wskaźnik stanu nadwyżki finansowej	2 944 637,46	2 311 501,94	2 332 480,07
<i>sumy spłat kapitału kredytów i pożyczek</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
2. Wskaźnik płynności II stopnia	1,03	1,02	1,21
3. Stan środków pieniężnych	4 584 888,34	4 133 655,13	5 052 804,91
4. Wskaźnik pokrycia obsługi zadłużenia (WPOD)	4,08	3,78	4,39
5. Wskaźnik zadłużenia	0,376	0,352	0,322
6. Analiza funkcji dyskryminacyjnej wg wzoru E. Mączyńskiej	0,900	0,535	0,646
<i>X1 - amortyzacja + zysk netto/zobowiązania</i>	<i>0,242</i>	<i>0,221</i>	<i>0,256</i>
<i>X2 - suma bilansowa/zobowiązania</i>	<i>2,661</i>	<i>2,838</i>	<i>3,107</i>
<i>X3 - EBIT/suma bilansowa</i>	<i>0,015</i>	<i>-0,009</i>	<i>-0,007</i>
<i>X4 - EBIT/przychody ze sprzedaży</i>	<i>0,018</i>	<i>-0,009</i>	<i>-0,006</i>
<i>X5 - zapasy/przychody ze sprzedaży</i>	<i>0,010</i>	<i>0,014</i>	<i>0,009</i>
<i>X6 - przychody ze sprzedaży/ suma bilansowa</i>	<i>0,821</i>	<i>1,047</i>	<i>1,177</i>

Źródło: Opracowanie własne

6. Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji

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}, PM₁₀ prowadzi do³⁰:

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

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

³⁰ Update of the Handbook on External Costs of Transport, RICARDO-AEA, 2014.

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.



Rys. 6.1 *Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Berlinie, Niemcy*

Źródło: Zbiory własne

W poniższej tabeli zestawiono zmianę wielkości emisji spalin i gazów cieplarnianych w wyniku realizacji poszczególnych wariantów inwestycyjnych na przestrzeni lat 2024-2043. 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_x (o 39,65 Mg w W1, w W2 o 35,84 Mg) oraz metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 13,22 Mg w W1 i 11,29 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. określa ich udział w strukturze wytwarzania energii elektrycznej w 2030 r. na poziomie co najmniej 27% (według danych KOBIZE za 2022 r. udział wyniósł ponad 17%). 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_x o 26,61 Mg,
- pyły zawieszone PM 2,5 o 0,49 Mg,
- metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC o 9,03 Mg,
- oraz dwutlenek węgla CO₂ o 10 967,91 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			
2024	-	-	-	-	31,41	31,37	31,37	31,37	0,55	0,55	0,55	0,55	5,61	5,60	5,60	5,60	3475,37	3453,09	3453,09	3453,09
2025	0,15	0,20	0,20	0,19	22,18	21,94	21,94	21,97	0,35	0,36	0,36	0,36	4,19	4,09	4,09	4,10	3146,84	3367,46	3367,46	3373,44
2026	0,19	0,45	0,39	0,19	13,25	11,12	11,24	10,72	0,17	0,16	0,16	0,14	3,07	2,45	2,51	2,42	2831,32	3277,56	3300,99	2641,53
2027	0,19	0,45	0,39	0,19	11,39	9,77	9,89	9,37	0,16	0,15	0,16	0,14	2,92	2,41	2,47	2,38	2630,81	3062,61	3088,07	2434,72
2028	0,19	0,66	0,54	0,19	11,39	6,84	7,06	7,70	0,16	0,13	0,13	0,12	2,92	1,69	1,80	1,95	2630,81	2972,84	3023,90	2027,47
2029	0,19	0,66	0,54	0,19	8,16	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,24	1,49	1,60	1,75	2487,93	2796,98	2851,81	1866,14
2030	0,19	0,66	0,54	0,19	8,16	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,24	1,49	1,60	1,75	2487,93	2776,77	2835,37	1860,46
2031	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2736,46	2802,58	1849,14
2032	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2696,15	2769,79	1837,81
2033	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2655,84	2737,00	1826,49
2034	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2615,52	2704,21	1815,16
2035	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2575,21	2671,42	1803,83
2036	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2553,00	2653,35	1797,59
2037	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2530,78	2635,28	1791,35
2038	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2508,57	2617,21	1785,11
2039	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2486,37	2599,16	1778,87
2040	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2464,15	2581,09	1772,63
2041	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2464,15	2581,09	1772,63
2042	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2464,15	2581,09	1772,63
2043	0,19	0,66	0,54	0,19	7,96	5,91	6,14	6,78	0,14	0,12	0,13	0,11	2,20	1,49	1,60	1,75	2485,36	2464,15	2581,09	1772,63
Suma	3,50	11,71	9,60	3,54	209,37	169,73	173,53	182,77	3,46	3,20	3,26	2,97	51,79	38,58	40,51	42,76	52000,66	54921,81	56435,07	41032,75
Zmiana do W0		8,21	6,10	0,03		-39,65	-35,84	-26,61		-0,26	-0,20	-0,49		-13,22	-11,29	-9,03		2921,15	4434,41	-10967,91

Źródło: Opracowanie własne

7. Analiza społeczno-ekonomiczna

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 Tablicach kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści³¹. Zakładają one uwzględnienie:

- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla gazów cieplarnianych CO₂, 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 (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej,
- w wariantcie W3 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych wyłącznie przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej, uwzględniając brak emisji z autobusów wodorowych.

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE³² za 2022 rok, wskaźniki emisyjności NO_x, PM_{2,5}, SO₂ w Polsce obniżyły się w latach 2019 - 2022 odpowiednio o 20,8%, 37,9% i 14,7%. Dlatego też

³¹ Źródło: <https://www.cupt.gov.pl/strefa-beneficjenta/wdrazanie-projektow/analiza-kosztow-i-korzysci/narzedzia/tablice-kosztow-jednostkowych-do-wykorzystania-w-analizach-kosztow-i-korzysci/>

³² Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji z 2022 roku

na potrzeby niniejszego dokumentu uwzględniono następujące wartości rzeczywiste z 2022 r. emisji szkodliwych substancji przy produkcji energii elektrycznej w Polsce:

- dla NO_x: 0,456 g/kWh,
 - dla PM: 0,018 g/kWh,
 - dla CO₂: 685 kg/MWh,

- dla SO₂: 0,436 g/kWh.

Niemniej jednak w przypadku CO₂ przyjęto jeszcze niższą wartość, wynikającą wprost z Kalkulatora kosztów jednostkowych CUPT, obejmującą prognozowaną zmianę emisyjności w czasie.

Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2024-2043

Związek chemiczny	W0	W1	W2	W3
	Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych			
SO ₂	401 793,06 zł	1 358 660,74 zł	1 039 901,90 zł	404 728,43 zł
Zmiana do W0		956 867,69 zł	638 108,85 zł	2 935,37 zł
NO _x	21 408 313,62 zł	16 808 654,79 zł	17 228 482,45 zł	18 496 767,11 zł
Zmiana do W0		-4 599 658,83 zł	-4 179 831,17 zł	-2 911 546,51 zł
PM 2,5	5 863 995,45 zł	4 639 723,31 zł	4 886 119,96 zł	4 757 883,53 zł
Zmiana do W0		-1 224 272,14 zł	-977 875,49 zł	-1 106 111,92 zł
NHMC/NMVOC	673 520,26 zł	493 566,72 zł	520 093,23 zł	552 223,15 zł
Zmiana do W0		-179 953,55 zł	-153 427,03 zł	-121 297,11 zł
CO ₂	12 607 707,81 zł	13 251 044,44 zł	13 643 891,14 zł	9 802 092,05 zł
Zmiana do W0		643 336,64 zł	1 036 183,33 zł	-2 805 615,76 zł
SUMA	40 955 330,20 zł	36 551 650,00 zł	37 318 488,69 zł	34 013 694,28 zł
Zmiana do W0		-4 403 680,20 zł	-3 636 841,51 zł	-6 941 635,92 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_x i pyłów zawieszonych PM 2,5. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x oraz PM 2,5 wynosić będą odpowiednio w wariantach W1 ok. 4,6 oraz 1,2 mln zł, a wariantach W2 ok. 4,2 i 1,0 mln zł. Koszty emisji metanowych lotnych związków organicznych w wariantach W1 i W2 spadną odpowiednio o ok. 0,18 i 0,15 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji wzrosną o ok. 0,64 mln zł w wariantach W1 i 1,04 mln zł w wariantach W2, 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. 0,96 mln zł w wariantach W1 i ok. 0,64 mln zł w wariantach W2.

Znacznie korzystniej prezentują się efekty płynące z monetyzacji kosztów emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w wariantach inwestycyjnym W3, który przewiduje eksploatację autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Redukcja wszystkich analizowanych związków przełoży się na zmniejszenie kosztów zewnętrznych emisji tlenków azotu NO_x o ok. 2,9 mln zł, pyłów zawieszonych PM 2,5 o ok. 1,1 mln zł, metanowych lotnych związków organicznych o ok. 0,12 mln zł, a dwutlenku węgla o ok. 2,8 mln zł.

W wyniku wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych poprawie ulegnie poziom i jakość życia w Legnicy oraz ościennych gminach, za sprawą zmniejszonej emisji

szkodliwych substancji poprawiającej jakość powietrza, jak i ograniczonemu hałasowi polepszając tym samym stan klimatu akustycznego. Elektryfikacja floty operatora komunikacji miejskiej nie będzie się wiązała ze zmianą oferty przewozowej dla pasażerów, toteż nie będzie ona wpływała na dostępność usług komunikacyjnych.

Podsumowując:

- realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 4,4 mln zł,
- realizacja wariantu W2 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ponad 3,6 mln zł,
- realizacja wariantu W3 przełoży się na spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych związków chemicznych o ok. 6,9 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.



Rys. 7.1 Autobus MAXI elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania
Źródło: Zbiory własne

Dla obliczenia kosztów emitowanego hałasu przez autobusy elektryczne oraz spalinowe założono zindeksowaną jednostkową cenę za

hałas typowy dla autobusów, wskazaną w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT. Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty wewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów na obszarze miejskim wskazane Kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT,
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,85 oraz noc=0,15), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,
- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych³³

Poniższa tabela przedstawia zindeksowane koszty hałasu emitowanego we wszystkich wariantach analizy w latach 2024-2043 oraz zmonetyzowane korzyści zewnętrzne w wyniku jego redukcji.

³³ Quieter buses socioeconomic effects”, Koucky & Partners A.B, 2014.

Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2024-2043

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
2024	130 662,28 zł	129 896,64 zł	129 896,64 zł	129 896,64 zł
2025	123 804,24 zł	121 180,73 zł	121 180,73 zł	122 145,58 zł
2026	125 517,92 zł	111 285,97 zł	114 832,01 zł	111 637,11 zł
2027	128 800,80 zł	114 196,63 zł	117 835,41 zł	114 556,94 zł
2028	132 188,92 zł	105 463,58 zł	112 399,08 zł	105 040,19 zł
2029	135 579,83 zł	108 168,93 zł	115 282,34 zł	107 734,68 zł
2030	139 077,49 zł	110 959,46 zł	118 256,37 zł	110 514,00 zł
2031	142 573,40 zł	113 748,58 zł	121 228,91 zł	113 291,93 zł
2032	146 179,80 zł	116 625,85 zł	124 295,40 zł	116 157,65 zł
2033	149 781,82 zł	119 499,63 zł	127 358,17 zł	119 019,89 zł
2034	153 493,27 zł	122 460,72 zł	130 513,99 zł	121 969,10 zł
2035	157 192,68 zł	125 412,20 zł	133 659,56 zł	124 908,72 zł
2036	160 872,21 zł	128 347,82 zł	136 788,23 zł	127 832,56 zł
2037	164 526,13 zł	131 263,01 zł	139 895,13 zł	130 736,05 zł
2038	168 146,61 zł	134 151,51 zł	142 973,59 zł	133 612,95 zł
2039	171 590,51 zł	136 899,14 zł	145 901,90 zł	136 349,55 zł
2040	175 116,96 zł	139 712,63 zł	148 900,42 zł	139 151,75 zł
2041	178 586,33 zł	142 480,58 zł	151 850,39 zł	141 908,58 zł
2042	181 989,73 zł	145 195,89 zł	154 744,27 zł	144 613,00 zł
2043	185 466,91 zł	147 970,08 zł	157 700,89 zł	147 376,04 zł
SUMA	3 051 147,82 zł	2 504 919,58 zł	2 645 493,41 zł	2 498 452,89 zł
Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu w latach 2024 – 2043	-	546 228,25 zł	-	405 654,41 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że elektryfikacja legnickiej 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 ponad 0,55 mln zł w całym okresie objętym analizą, zaś w przypadku autobusów elektrycznych akumulatorowych na

poziomie od ok. 0,40 mln zł w wariantcie W2 do ok. 0,55 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 2024-2043.

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3
Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w latach 2024-2043	40 955 330,20 zł	30 881 055,62 zł	36 441 802,26 zł	32 305 188,63 zł
Zmiana do W0		- 10 074 274,58 zł	- 4 513 527,94 zł	- 8 650 141,57 zł

Źródło: opracowanie własne

7.4. Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Analiza została przeprowadzona w oparciu o „Niebieską Księgę – Wydanie uaktualnione 2023 – Sektor transportu publicznego w miastach, aglomeracjach i regionach”. Przeprowadzając analizę ekonomiczną, a zarazem porównawczą dwóch wariantów, przyjęto następujące założenia:

- wskaźniki efektywności ekonomicznej wyliczono metodą różnicową,
- społeczna stopa dyskontowa wynosi 3%,
- analiza została przeprowadzona w latach 2024-2043,
- 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	0,81

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 3,0%,
- 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 Legnicy nie jest wymagane. Niemniej jednak, uwzględniając potencjalne korzyści finansowe, ekonomiczne i społeczne dla mieszkańców Legnicy i ościennych gmin, planowane jest przeprowadzenie modernizacji floty MPK Legnica 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 19 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. 1 544 000 PLN netto.

Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	W1	W2	W3
ENPV	- 13 646 360,19 zł	- 29 613 498,24 zł	- 35 744 031,20 zł
ERR (%)	-2,4%	-8,9%	-8,2%
B/C	0,67	0,45	0,47

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 legnickiej 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
Wartość bazowa		-13 646 360,19 zł		-2,4%		0,67	
Nakłady inwestycyjne	25%	-20 885 099,28 zł	53,05%	-3,96%	63%	0,58	-15%
	15%	-17 989 603,65 zł	31,83%	-3%	40%	0,61	-9%
	-15%	-9 303 116,74 zł	-1,23%	-1,35%	-45%	0,75	12%
	-25%	-6 407 621,10 zł	-53,05%	-0,24%	-90%	0,82	21%
Koszty operacyjne	25%	-16 310 700,70 zł	19,52%	-3,43%	41%	0,63	-6%
	15%	-15 244 964,50 zł	11,71%	-3,03%	25%	0,65	-4%
	-15%	-12 047 755,89 zł	-11,71%	-1,83%	-25%	0,70	4%
	-25%	-10 982 019,68 zł	-19,52%	-1,42%	-42%	0,72	7%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		-19 588 207,95 zł	43,54%	-3,95%	62%	0,59	-12%

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. Zwiększenie udziału autobusów elektrycznych akumulatorowych dostosowanych do szybkiego ładowania pantografowego do poziomu 30% floty operatora będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 48,23%.

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
Nakłady inwestycyjne (+1%)	- 13 935 909,75 zł	2,12%	-48,23%
Koszty operacyjne (+1%)	- 13 752 933,81 zł	0,78%	-

Źródło: Opracowanie własne

7.6. 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. 7.8 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
Ryzyko techniczne			
R1	Bardzo wysoki popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Zbyt duża liczba zamówień na autobusy elektryczne wynikająca z obowiązku spełnienia minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych wskazanych w uepa.	Ryzyko może wpłynąć na opóźnienie we wdrażaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu w terminach wynikających z uepa.
R2	Opóźnienia w budowie ładowarek terenowych	Opóźnienie w budowie ładowarek na pętach może wynikać z dużej liczby zamówień na ładowarki. Mogą również wystąpić opóźnienia ze względu na sezonowość robót budowlanych (brak możliwości prowadzenia robót w miesiącach zimowych przy bardzo niskich temperaturach).	Opóźnienie we wprowadzaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu lub niepełna obsługa linii przez autobusy elektryczne akumulatorowe (brak możliwości doładowywania pojazdów).
R3	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.)	Nieodpowiednie zarządzanie firmy wykonującej roboty.	Wzrost kosztów pojazdów i infrastruktury. Opóźnienie we wprowadzaniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
Ryzyko eksploatacyjne			
R4	Awaryjne stacje 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, sezonowymi wzrostami poboru energii	W zależności od długości przerwy w dostawie – zaburzenie harmonogramu ładowania autobusów elektrycznych lub częściowe zaburzenie funkcjonowania systemu komunikacji zbiorowej.
R6	Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych	Częstsze naprawy pojazdów, wyższe koszty paliwa i energii.	Wzrost kosztów eksploatacyjnych.
R7	Ryzyko nieznanymi rzeczywistymi parametrami operacyjnymi taboru	Rzeczywista, mniejsza pojemność akumulatorów niż podana w danych technicznych	Krótszy zasięg autobusu, problemy z eksploatacją autobusu na liniach komunikacyjnych

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

L.p.	Ryzyko	Przyczyny	Skutki
R19	Opóźnienia w realizacji procedur	Problem z wyborem wykonawcy	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
R20	Zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska	Konieczność zmiany w przepisach prawnych dotyczących ochrony środowiska.	Opóźnienie we wdrożeniu autobusów zeroemisyjnych do ruchu.
Ryzyko finansowe			
R21	Dostępność środków krajowych lub wspólnotowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych	Zaprzestanie prowadzenia programów wspierających rozwój elektromobilności.	Opóźnienie w realizacji projektu lub zaprzestanie wdrażania ze względu na poszukiwanie innych źródeł finansowania lub ich brak.
R22	Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych	Wzrost popytu na autobusy elektryczne i infrastrukturę do ładowania pojazdów oraz rosnący koszt usług budowlanych.	Opóźnienie w realizacji oraz zwiększenie kosztów projektu
R23	Wzrost kosztów realnych, wynikających z ogólnych tendencji rynkowych	Mechanizmy popytowo-podażowe funkcjonujące na rynkach oraz cykle koniunkturalne	Opóźnienie w realizacji projektu oraz zwiększenie kosztów projektu
R24	Wzrost kosztów finansowania	Wzrost stopy procentowej i oprocentowania kredytów	Opóźnienie w realizacji oraz zwiększenie kosztów projektu lub zaprzestanie wdrażania ze względu na poszukiwanie innych źródeł finansowania lub ich brak.
Ryzyko klimatyczne i środowiskowe			
R25	Zmiana zasięgu autobusu podczas nadzwyczajnych upałów lub mrozów	Pomimo podanych danych eksploatacyjnych dotyczących zasięgu przez producentów taboru (około min.200 km), występuje różnica w warunkach ekstremalnych. Pojemność akumulatorów w sezonie zimowym jest mniejsza względem miesięcy letnich, a zasięg jest obniżany przez dodatkowe zużycie energii na ogrzewanie, natomiast w sezonie letnim w związku z uruchamianą klimatyzacją.	Koszty sprowadzenia autobusu do bazy lub punktu ładowania, gdy zostanie przeszacowany zasięg autobusu.
R26	Możliwość wystąpienia szkody w środowisku	Modyfikacja środowiska spowodowana budową infrastruktury	Wystąpienie szkody w środowisku
Ryzyko popytowe			
R27	Poziom ruchu niższy, niż prognozowany	Przyspieszenie negatywnych tendencji demograficznych, starzenie się społeczeństwa, mniejsza mobilność osób starszych.	Spadek ekonomicznej opłacalności projektu.

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 7.9 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. 7.10 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. 7.11 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. 7.12 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko

L.p.	Ryzyko	Działania zapobiegawcze	Wpływ na ryzyko
Ryzyko techniczne			
R1	Zbyt duży popyt na autobusy elektryczne akumulatorowe	Założenie dłuższego czasu produkcji pojazdu lub wcześniejsze rozpisanie przetargu, wprowadzenie kar umownych dla producenta.	średni
R2	Opóźnienia w budowie ładowarek terenowych	Założenie dłuższego czasu produkcji ładowarek oraz budowy w okresie letnim, wprowadzenie kar umownych dla wykonawcy, odpowiednie zaplanowanie inwestycji.	średni
R3	Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.)	Wybór wykonawcy, który może się wykazać realizacją podobnych inwestycji i posiada stabilną sytuację finansową i kadrową. Zabezpieczenie materiałów przez wykonawcę u kontrahentów na wypadek problemów z dostępnością komponentów.	średni
Ryzyko eksploatacyjne			
R4	Awarie stacji wolnego ładowania (ładowarek 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 niezajomości 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 taborem 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
Ryzyko administracyjne			
R14	Opóźnienia związane z podłączeniem do sieci dystrybucyjnych	Przyspieszenie negocjacji z dystrybutorem energii, odpowiednie zaplanowanie inwestycji.	średni
R15	Polityczne zmiany priorytetów inwestycyjnych	brak	niski
R16	Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę)	Staranne przygotowanie wniosku o wydanie pozwolenia na realizację inwestycji.	średni
R17	Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych	Wcześniejsze złożenie wniosku o wydanie decyzji.	średni

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

Źródło: Opracowanie własne

8. Rekomendacje w zakresie wymiany taboru, podsumowanie i wnioski

Wymiana taboru legnickiej komunikacji zbiorowej jest działaniem wynikającym ze Strategii rozwoju Miasta Legnicy 2030 Plus, w której założono realizację celu strategicznego 5 „Wzmocnienie i poprawa wewnętrznych i zewnętrznych powiązań komunikacyjnych” m.in. poprzez cel operacyjny 5.1. „Nowoczesna infrastruktura i tabor transportu publicznego w Legnicy”. W ramach tego celu jednym ze zdefiniowanych kierunków działań jest „Modernizacja taboru transportu publicznego w kierunku zeroemisyjności”.

Funkcjonowanie komunikacji miejskiej jest permanentnym procesem, wymagającym ciągłego monitorowania i udoskonalania prowadzącego do podnoszenia jakości świadczonych usług. Z uwagi na naturę zużywających się w wyniku eksploatacji pojazdów, konieczna jest systematyczna wymiana autobusów, najlepiej w okresach przyjętych w niniejszym dokumencie, tak aby odpowiadały one aktualnym potrzebom i oczekiwaniom pasażerów. Stale rosnące koszty przewozów przy coraz większych niedoborach kierowców w zasadzie w całej Unii Europejskiej wymuszają, aby komunikacja miejska funkcjonowała sprawnie i efektywnie. Wprowadzanie do eksploatacji wysoce wartościowych autobusów zeroemisyjnych przemawia za nadawaniem transportowi publicznej większego znaczenia w systemie komunikacyjnym. Jednym ze skutecznych rozwiązań jest wprowadzanie skutecznego priorytetu w ruchu, którego swoistym beneficjentem dzięki różnym sposobom, mogą być m.in. poddane niniejszej analizie autobusy zeroemisyjne. Finalnie jednak, największe korzyści mogą objąć mieszkańców, którym zapewnione mogłyby zostać szybsze, bardziej punktualne i niezawodne przewozy w komunikacji miejskiej.

Każdy pojazd wprowadzany do eksploatacji w komunikacji miejskiej w Legnicy powinien spełniać zalecenia określone w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, nowe autobusy przeznaczone do świadczenia usług w legnickiej komunikacji miejskiej powinny:

- spełniać wymagania środowiskowe, być nowoczesne w zakresie rozwiązań w układach napędowych i hamulcowych,
- mieć estetyczny wygląd i być wykonane z trudnych do zniszczenia materiałów (dotyczy to szczególnie wnętrza pojazdów),
- mieć obniżoną podłogę, szczególnie przy drzwiach wejściowych i w przestrzeni przeznaczonej dla wózków inwalidzkich i dziecięcych,
- posiadać rampę wjazdową,
- być wyposażone w przyklęk w autobusach, uruchamiany przez kierowcę, aby ułatwić wejście osobom niepełnosprawnym na wózkach inwalidzkich lub z wózkami dziecięcymi - jako obowiązujący standard,
- posiadać system lokalizacji GPS oraz monitoring przestrzeni pasażerskiej,
- posiadać system elektronicznej i fonicznej informacji pasażerskiej,
- posiadać całopojazdową klimatyzację,
- posiadać kompleksowy system audiowizualnej informacji pasażerskiej.

Uwzględniając znaczny koszt wymiany taboru, należy przyjąć, że w ramach służb całodziennych oraz w dni wolne od pracy powinien być eksploatowany nowy, ekologiczny tabor, natomiast starszy tabor w ograniczonym zakresie – służby szczytowe, jednozmianowe, rezerwa.

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.

Strategia Rozwoju Elektromobilności dla miasta Legnicy wyznacza katalog działań planowanych przez Gminę Legnica do wdrażania elektromobilności, wynikającego ze strategicznych dokumentów krajowych, a także ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. W treści dokumentu zawarto cel strategiczny związany z transportem publicznym – rozwój zero- i niskoemisyjnej komunikacji miejskiej składający się z 3 celów operacyjnych:

- II.1 – modernizacja infrastruktury transportu publicznego - głównymi zadaniami tego celu operacyjnego będzie budowa ładowarek pantografowych przy pętlach, dostosowanie zajezdni autobusowej MPK do obsługi pojazdów zero- i niskoemisyjnych (m.in. wyposażenie w ładowarki dedykowane do pojazdów elektrycznych, przebudowa hal warsztatowych), wybudowanie wiat przystankowych z zasilaniem fotowoltaicznym, wyposażenie części przystanków w tablice Dynamicznej Informacji Pasażerskiej, wdrażanie antyzatok w obszarze śródmiejskim podczas przebudowy układu drogowego, budowa węzła przesiadkowego przy dworcu

kolejowym w Legnicy (integrującego transport kolejowy, miejski, autobusowy regionalny, rowerowy), wyposażonego w stacje wypożyczania miejskich samochodów elektrycznych i rowerów,

- II.2 – usprawnienie komunikacji miejskiej poprzez wyznaczenie wydzielonych pasów dla autobusów (w szczególności na odcinkach generujących opóźnienia pojazdów) oraz rozbudowa systemu przyznającego wysoki priorytet w formie zielonego światła dla pojazdów komunikacji miejskiej, zamontowane urządzeń zliczających pasażerów oraz analizujące ich podróże.

II.3 – ograniczenie emisji generowanej przez komunikację publiczną poprzez wymianę najstarszych autobusów z najniższymi normami na pojazdy zero- i niskoemisyjne oraz wycofanie z ruchu wszystkich pojazdów o normach emisji spalin niższych niż EURO 5.



**Rys. 8.1 Niskoemisyjny autobus hybrydowy MAXI
eksploatowany przez MPK Legnica**

Źródło: Zbiory własne

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

Gmina Legnica deklaruje gotowość do wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych, przy uzyskaniu środków zewnętrznych na ten cel. Realizacja zakupu powinna zostać poprzedzona odpowiednią analizą wykonalności inwestycji, w tym np. analizą kosztów i korzyści sporządzoną wyłącznie w zakresie np. zakresu rzeczowego projektu, w przeciwieństwie do niniejszego

dokumentu, w którym analizowany jest kompleksowo cały system komunikacji miejskiej w Legnicy

W zależności od potrzeb i uwarunkowań zewnętrznych, dopuszcza się nakłady inwestycyjne na zakup pojazdów zeroemisyjnych w latach wcześniejszych, aniżeli w terminach wskazanych w AKK.

9. 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 Legnicy nie jest zasadne (w praktyce bez dofinansowania zewnętrznego), niemniej jednak przewidziano aktualizację „Planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Legnica (...)”. Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie zostały przedstawiony w Tab. 9.1.

Tab. 9.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym

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

Zakres	Konieczność aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	Dotyczy rozdziału 12 Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Legnicy, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne: Całościowo elektryfikowane linie: 5, 6, 23, 24 Częściowo elektryfikowane linie: 15, 16, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 8, 18 oraz wszystkie pozostałe linie w sieci komunikacyjnej wcześniej niewymienione Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.
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”	Nie wymaga uwzględnienia
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalane z dostawcą energii.
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

10. Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

Wskaźnik luki finansowej wyniósł 79%, co oznacza, że niezbędne jest uzyskanie dofinansowania zewnętrznego przy inwestycjach polegających na zakupie autobusów zeroemisyjnych.

W perspektywie finansowej 2021 – 2027 źródłem finansowania mogą być programy operacyjne ze środków Unii Europejskiej. W Umowie 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)**,
- **budowa i rozbudowa infrastruktury do ładowania i tankowania zeroemisyjnych** 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.³⁴ 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 FRPA³⁵). Jako dotąd, przeprowadzone zostały 3 nabory wniosków w programie priorytetowym Zielony Transport Publiczny, przy czym ostatni z nich z 2023 r. nie został jeszcze rozstrzygnięty.

Budżet na realizację naboru wynosił do 480 435 670,00 zł, w tym:

- dla bezzwrotnych form dofinansowania (dotacji) – do 276 679 011,00 zł, docelowo 2 055 268 688,00 zł (pod warunkiem uruchomienia środków w ramach Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO)),
- dla zwrotnych form dofinansowania (pożyczek) – do 203 756 659,00 zł.

Łączna kwota wnioskowanych dotacji ze wszystkich złożonych 79 wniosków wyniosła 2 720 277 110,00 zł, przekraczając tym samym dostępną wówczas alokację. Zawarcie umów o dofinansowanie powyżej kwoty budżetu naboru (do 276 679 011,00 zł) uzależnione jest od uruchomienia środków w ramach KPO. Na rozstrzygnięcie naboru oczekuje także MPK Legnica sp. z o.o. z projektem „Zeroemisyjna komunikacja miejska – zakup autobusów elektrycznych wraz z niezbędną infrastrukturą ładowania przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne spółka z ograniczoną odpowiedzialnością w Legnicy” (6 autobusów elektrycznych akumulatorowych MAXI i 7 punktów ładowania).

³⁴ 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)

³⁵ 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.)

11. Spis tabel

Tab. 2.1 Liczba ludności w latach 2013 – 2023 w analizowanym obszarze.	13
Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w tys. wozokilometrów w latach 2021-2023 .	15
Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Legnicy (stan na dzień 23.06.2021 r.	16
Tab. 3.3 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 17.05.2024 r.)	19
Tab. 3.4 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 17.05.2024 r.).....	19
Tab. 3.5 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.....	20
Tab. 3.6 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.....	20
Tab. 3.7 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 17.05.2024 r.)	20
Tab. 3.8 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny	22
Tab. 3.9 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów MPK (dane dla dni roboczego szkolnego)	22
Tab. 3.10 Długości przerw międzycursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny.....	23
Tab. 3.11 Punkty kolejowej obsługi pasażerskiej na terenie Legnicy	24
Tab. 4.1 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na dzień 03.06.2024 r.).....	25
Tab. 4.2 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym.	27
Tab. 4.3. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	28
Tab. 4.4 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	28
Tab. 4.5 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym	29
Tab. 4.6 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	31
Tab. 4.7 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.).....	33
Tab. 4.8 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	33
Tab. 4.9 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową.....	37
Tab. 4.10 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu	37
Tab. 4.11 Koszty netto zakupu trolejbusów	41
Tab. 4.12 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów	41
Tab. 4.13 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym.....	42
Tab. 4.14 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom.....	43
Tab. 4.15 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych.....	44
Tab. 4.16 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Legnicy.	46
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1	48
Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2	48
Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3	48
Tab. 5.4 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych – wszystkie warianty inwestycyjne	49
Tab. 5.5 Okres eksploatacji środków trwałych.....	49
Tab. 5.6 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach objętych analizą	50

Tab. 5.7 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach	50
Tab. 5.8 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	51
Tab. 5.9 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych	54
Tab. 5.10 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.	54
Tab. 5.11 Rachunek zysków i strat – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy .	55
Tab. 5.12 Bilans - Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy	56
Tab. 5.13 Rachunek przepływów pieniężnych - Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy.....	57
Tab. 5.14 Historyczne wskaźniki finansowe – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Legnicy.....	58
Tab. 6.1 Roczne zestawienia emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery oraz gazów cieplarnianych w analizowanych wariantach [w Mg].....	61
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2024-2043.....	63
Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2024-2043	65
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2024-2043.	66
Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej	66
Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	67
Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy.....	68
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości	68
Tab. 7.8 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki	69
Tab. 7.9 Skala prawdopodobieństwa	72
Tab. 7.10 Siła oddziaływania na projekt.....	72
Tab. 7.11 Macierz oceny ryzyka.....	72
Tab. 7.12 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	73
Tab. 9.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym	78

12. Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Opolu w trakcie szybkiego ładowania ze stacji ładowania pantografowego	5
Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18	6
Rys. 1.3 Obszar funkcjonowania legnickiej komunikacji miejskiej.....	6
Rys. 1.4 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego.....	7
Rys. 1.5 Autobus elektryczny akumulatorowy MEGA18 na stacji szybkiego ładowania w trakcie postoju wyrównawczego.....	9
Rys. 1.6 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na stacji szybkiego ładowania w Świdnicy	9
Rys. 1.7 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi MAXI w Poznaniu.....	10
Rys. 3.1.1 Wielkość popytu na legnicką komunikację miejską w latach 2018 - 2022.....	15
Rys. 4.1 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI	26
Rys. 4.2 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI w Seulu, Korea Południowa	27
Rys. 4.3 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI	28
Rys. 4.4 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI w Gdańsku	31
Rys. 4.5 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI na ciągu pieszo-jezdnym w Düsseldorf, Niemcy	31
Rys. 4.6 Autobus elektryczny akumulatorowy MAXI podczas szybkiego ładowania, Nicea, Francja	32
Rys. 4.7 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MAXI z terenowej ładowarki typu plug-in zlokalizowanej przy dworcu kolejowym w Jeleniej Górze	33
Rys. 4.8 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej	34
Rys. 4.9 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego MEGA18 z ładowarki pantografowej we Wrocławiu	35
Rys. 4.10 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek	36
Rys. 4.11 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją	37
Rys. 4.12 Trolejbus MAXI w Lyon, Francja.....	38
Rys. 4.13 Trolejbus MEGA18 na odcinku bez sieci trakcyjnej w Lublinie.....	39
Rys. 4.14 Trolejbus MEGA25 w Zürich, Szwajcaria	40
Rys. 4.15 Trolejbus typu MAXI w Lublinie	41
Rys. 4.16 Symulacja sieci trolejbusowej dla spełnienia warunków z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych	42
Rys. 4.17 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych.....	44
Rys. 4.18 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK.....	45
Rys. 6.1 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Berlinie, Niemcy.....	60
Rys. 7.1 Autobus MAXI elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania	64
Rys. 8.1 Niskoemisyjny autobus hybrydowy MAXI eksploatowany przez MPK Legnica.....	76