

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisji gazów cieplarnianych dla miasta Płocka



**WROCŁAW - PŁOCK
2021**

 **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	Cel analizy.....	5
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	6
2	Uwarunkowania techniczne i prawne.....	8
2.1	Uwarunkowania prawne	8
2.2	Uwarunkowania techniczne	9
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej.....	12
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	12
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązującej umowy o świadczenie usług przewozowych	12
3.1.2	Obecny układ sieci.....	12
3.1.3	Koszty eksploatacyjne	18
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy.....	19
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	19
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane	19
3.2.2	Normy emisji spalin.....	20
3.2.3	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych	22
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	23
3.3.1	Wskaźnik wykorzystania taboru	24
3.3.2	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzkm przez brygady.....	24
3.3.3	Analiza rozkładów jazdy.....	25
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych	27
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	27
4.1.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	29
4.1.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	31
4.1.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów.....	32
4.1.4	Niezbędna infrastruktura, zmiany wyposażenia i organizacji pracy na zajezdni autobusowej.....	33
4.1.5	Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Płocku	34
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	34
4.2.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	34
4.2.2	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	37

4.2.3	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in.....	37
4.2.4	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami typu „plug-in” i za pomocą pantografu	38
4.2.5	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi	38
4.3	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów	41
4.3.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów.....	41
4.3.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	42
4.3.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	43
4.3.4	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Płocku.....	43
4.4	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	45
4.5	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	46
5	Analiza finansowa.....	49
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej	49
5.2	Nakłady inwestycyjne	50
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych	51
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych	53
5.5	Wartość rezydualna	57
5.6	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru.....	57
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi.....	59
7	Analiza społeczno-ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji	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	66
7.4	Wskaźniki efektywności ekonomicznej	67
7.5	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności ekonomicznej	68
8	Analiza ryzyka.....	70
9	Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru.....	76
10	Wskazania dotyczące konieczności aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w oparciu o rekomendowane rozwiązania.....	77
11	Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych	79

1 Cel analizy

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

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U. z 2021 r., poz. 1371),
- Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.).

Ponadto opracowanie sporządzono zgodnie z niżej wymienionymi dokumentami:

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

alternatywnych analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej. Praktyczny przewodnik dla samorządów”, PTC Public Transport Consulting Marcin Gromadzki, 2018 r.



Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

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 Płocku.

Następnie przeprowadzono analizę strategiczną wyboru najbardziej korzystnego typu autobusów zeroemisyjnych, uwzględniając koszty wdrożenia danego rozwiązania oraz parametry eksploatacyjne. Dla wybranego typu autobusu opracowana została szczegółowa analiza finansowa i ekonomiczna, uwzględniająca potencjalne korzyści społeczne i środowiskowe, która została zestawiona z alternatywnym wariantem bazującym na odtwarzaniu floty w oparciu o obecnie eksploatowane autobusy spalinowe i hybrydowe. W końcowej części opracowania

przedstawiono analizę ryzyka, rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru komunikacji miejskiej w Płocku oraz wskazano potencjalne źródła finansowania inwestycji w tabor zeroemisyjny.



Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern

Źródło: Zbiory własne

1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- **AKK** – analiza kosztów i korzyści,
- **BCR, B/C** – (ang. benefit cost ratio) wskaźnik korzyści do kosztów,
- **Brygada** – zadanie w rozkładzie jazdy zaplanowane do realizacji przez 1 autobus w ciągu dnia (zamiennie stosowanym określeniem jest kursówka),
- **CF** – (ang. conversion factor) wskaźnik konwersji,
- **CNG** – (ang. compressed natural gas) sprężony gaz ziemny,
- **ENPV** – (ang. economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto,
- **ERR** – (ang. economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu,
- **FNPV** – (ang. financial net present value) finansowa wartość bieżąca netto,
- **FNPV/c** – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji,
- **FRPA** – Fundusz rozwoju przewozów autobusowych o charakterze użyteczności publicznej,
- **FRR/c** – (ang. financial internal rate of return on investment) finansowa stopa zwrotu z inwestycji,
- **HVAC** – (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*) ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja,
- **IMC** – (ang. In Motion Charging) ładowanie w trakcie jazdy pojazdu,
- **KM** – Komunikacja Miejska – Płock, Sp. z o.o.,
- **LNG** – (ang. liquefied natural gas) ciekły gaz ziemny,
- **LPG** – (ang. liquefied petroleum gas) ciepla 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. 8 - 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,
- **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 z późn. zm.),
- **W0** – wariant bazowy,
- **W1** – wariant inwestycyjny,
- **Wariant podstawowy trasy** – wariant trasy danej linii komunikacyjnej, na którym realizowanych jest najwięcej kursów,
- **Wartość rezydualna** - wartość środków trwałych netto uzyskanych na etapie realizacji projektu lub w okresie jego eksploatacji, wynikająca z nakładów inwestycyjnych na realizację projektu oraz nakładów odtworzeniowych, ustalona na koniec ostatniego roku okresu odniesienia przyjętego do analiz,
- **Wozogodzina** – jednostka miary czasu zaangażowania środka transportu w wykonanie zaplanowanego rozkładu jazdy lub harmonogramu,
- **Wozokilometr liniowy** – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach przewozów regularnych, na kursach ogólnodostępnych dla pasażerów, które są prezentowane w rozkładach jazdy,
- **Wozokilometr techniczny** - długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach kursów dojazdowych z zajezdni do przystanków krańcowych, kursów zjazdowych z przystanków krańcowych do zajezdni,
- **Wzkm** – wozokilometr,
- **Ve** – prędkość eksploatacyjna (uwzględnia postoje na pętlach końcowych),
- **Vk** – prędkość komunikacyjna (wynikająca wyłącznie z realizacji przewozów).

2 Uwarunkowania techniczne i prawne

2.1 Uwarunkowania prawne

Rozwój elektromobilności w Polsce wspierany jest przez Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.), której zapisy odnoszą się również do sektora transportu publicznego. Wskazana w ustawie definicja autobusu zeroemisyjnego precyzuje ten typ pojazdu jako autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r., poz. 1077 z późn. zm.) oraz trolejbus¹. Analizując ustalenia Ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, w której wskazano, że do grona tych substancji należą m.in. tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), cząstki stałe (PM), węglowodory (HC), benzo(α)piren, to za autobusy zeroemisyjne można uznać wyłącznie:

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

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

hybrydowo – elektryczne oraz autobusy gazowo - elektryczne.



Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego

Źródło: Zbiory własne

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

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

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 (Dz. U. z 2021 r., poz. 110 z późn. zm.).

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

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

liczby pojazdów przeznaczonych 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.

Miasto Płock z liczbą mieszkańców 118 268⁵, pełniące funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest jednostką samorządu terytorialnego ustawowo zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

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

2.2 Uwarunkowania techniczne

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

środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. z 2021 r., poz. 247 z późn. zm.).

Dokument ten zostanie poddany pod konsultacje społeczne. Na podstawie uzasadnionych uwag zostaną wprowadzone stosowne modyfikacje niniejszego dokumentu.

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

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

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

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

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

Na przestrzeni ostatnich lat coraz większą popularność zdobywają autobusy elektryczne

⁴ Ibidem, art. 72.

⁵ Dane według stanu na dzień 31.12.2020 r., źródło: <https://bdl.stat.gov.pl>, dostęp 13.08.2021 r.

akumulatorowe, poruszające się dzięki zainstalowanym akumulatorom, ładowanym na rozmaite sposoby. Podstawowa metoda wolnego ładowania, tj. plug – in, polega na dostarczaniu energii bezpośrednio ze stacji ładowania („z gniazdka”).



Rys. 2.2 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

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

- podnoszonych, które są montowane na dachach autobusów i na czas ładowania unoszone są podczas postoju pod ładowarką,

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

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



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

Źródło: Zbiory własne

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

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

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

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



Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi

*Źródło: Travelarz,
<https://commons.wikimedia.org/wiki/>, dostęp:
23.08.2021 r.*

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

Trolejbusy są swego rodzaju hybrydą pomiędzy autobusem i tramwajem. Tradycyjne pojazdy tego typu wymagają ciągłego połączenia odbieraków z siecią trakcyjną, jednak coraz więcej trolejbusów wyposażonych jest w dodatkowe akumulatory pozwalające na przejechanie do ok. 30 km na odcinkach bez sieci trakcyjnej. Rozwiązanie to pozwala na ograniczenie kosztów infrastruktury, gdyż

eliminuje ono konieczność budowy sieci trakcyjnej na całej trasie. Ponadto akumulatory mogą być doładowywane zarówno w trakcie postoju jak i jazdy, co nie powoduje konieczności wydłużania postojów na pętlach, jak ma to miejsce w przypadku pojazdów poruszających się wyłącznie na zasilaniu bateryjnym. Rozszerza to możliwości zastosowania tego typu pojazdów, aczkolwiek pod względem ekonomii głównie dla sieci posiadających kursujące względnie często linie, ze względu na wysokie koszty budowy infrastruktury liniowej (sieci trakcyjnej) – 1 km sieci to równowartość ok. 4 ładowarek pantografowych.

3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

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

Obecnie obowiązująca umowa pomiędzy organizatorem, a operatorem (Komunikacją Miejską – Płock Sp. z o. o. zwanym dalej KM) została zawarta w dniu 4.09.2018 r. jako umowa wykonawcza o powierzeniu podmiotowi wewnętrznemu Gminy – Miasto Płock wykonywania zadań własnych gminy w zakresie publicznego transportu zbiorowego na terenie Miasta Płock oraz regularnych liniach komunikacyjnych łączących Gminę Płock oraz Gmin: Bielsk, Gąbin, Gozdowo, Łąck, Radzanowo, Słupno i Stara Biała. Kontrakt obowiązuje do dnia 3.09.2028 r. W umowie mają zastosowanie przepisy rozporządzenia 1370/2007 oraz ustawy o publicznym transporcie zbiorowym. Umowa określa funkcje organizatora jako podmiotu: zapewnienia środków finansowych, planowanie transportu i opracowywanie Planu Świadczenia Usług.

Wymiar realizowanej pracy eksploatacyjnej przez operatora jest określony w załączniku do umowy określającym roczny Plan Świadczenia Usług określający planowane linie oraz liczbę wozokilometrów w podziale na teren Miasta Płock oraz Gmin Ościennych, z którymi Miasto podpisało porozumienia międzygminne dotyczące świadczenia usług publicznych z zakresu

publicznego transportu zbiorowego, będące określone w ramach załącznika nr 10 do Umowy. Planowana liczba wozokilometrów nie może ulec zmianie o więcej niż +/- 10% w stosunku do roku poprzedniego, za wyjątkiem korekt wynikających z ustaleń z Gminami Ościennymi.

Pomimo tego, Organizator posiada prawo do zmiany zakresu wykonywanych przewozów podczas konsultacji z Operatorem, a także w okresach zwiększonego zapotrzebowania może narzucić Operatorowi zwiększenie zakresu usług przy uwzględnieniu możliwości Operatora.

Oprócz działalności związanej z wykonywaniem przewozów pasażerskich Operator realizuje emisję i sprzedaż biletów, a przychody uzyskane w ten sposób są należne Operatorowi (Operator może wystąpić z wnioskiem do Organizatora o zmianę taryfy).

W ramach umowy jak i załączników do niej określono szczegółowe wytyczne związane z identyfikacją wizualną pracowników, pojazdów (wraz z rozmieszczeniem oznaczeń informacyjnych wewnątrz pojazdów - np. o apteczce czy monitoringu), rozkładów jazdy jak i warunki techniczne pojazdów (m.in. liczbę kasowników) oraz wymogi związane z ogrzewaniem i klimatyzacją.

3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Płocku składa się z 41 linii komunikacyjnych, wśród których można wyróżnić:

- według kryterium przestrzennego:

- 28 linii miejskich: 0, 2, 3, 4, 7, 10, 14, 15, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 31, 32, 33, 35, 37, 44, 60, 61, 62, A, B, N1, N2, N3,
- 13 linii podmiejskich: 43, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 110, 111, 112, 120, 130, 140;

- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - 39 linii całorocznych: 0, 2, 3, 4, 7, 10, 14, 15, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 31, 32, 33, 35, 37, 60, 61, 62, A, B, N1, N2, N3, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 110, 111, 112, 120, 130, 140,
 - 2 linie o charakterze sezonowym: 43, 44;
 - według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
 - 20 linii kursujących codziennie: 0, 2, 3, 4, 7, 10, 14, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 31, 32, 33, 35, 60, N1, N3,
 - 8 linii kursujących od poniedziałku do soboty i w niedziele handlowe: 101, 102, 103, 104, 105, 111, 130, 140,
 - 2 linie kursujące wyłącznie w okresie wakacyjnym: 43, 44,
 - 10 linii kursujących od poniedziałku do piątku: 15, 37, 61, 62, 100, 110, 112, 120, A, B
 - 1 linia kursująca w noc z piątku na sobotę i z soboty na niedzielę: N2;
 - według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:
 - 23 linie kursujących przez cały dzień lub większą część dnia: 0, 2, 3, 4, 7, 10, 14, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 35, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 111, 112, 130
 - 15 linii okresowych: 15, 31, 32, 33, 37, 43, 44, 60, 61, 62, 110, 120, 140, A, B,
 - 3 linie nocne: N1, N2, N3;
 - według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - 3 linie priorytetowe: 3, 19, 22,
 - 9 linii podstawowych: 0, 2, 7, 10, 14, 18, 20, 26, 35,
 - 3 linie uzupełniające: 4, 15, 24,
 - 4 linie szczytowe („wahadłowe”): 31, 32, 33, 37,
 - 2 linie szczytowe pospieszne: A, B,
 - 2 linie sezonowe: 43, 44,
 - 3 linie nocne: N1, N2, N3,
 - 3 linie specjalne (zjazdowe): 60, 61, 62,
 - 12 linii dodatkowych: 100, 101, 102, 103, 104, 105, 110, 111, 112, 120, 130, 140.
- Oprócz wymienionych regularnych linii w okresie wzmożonego zapotrzebowania mogą być uruchamiane linie okazjonalne np. w okresie Wszystkich Świętych (linie 24C oraz 70-77).
- Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Miasta Płock, pełniącemu funkcję jej organizatora oraz Gmin: Bielsk, Gąbin, Gozdowo, Łąck, Radzanowo, Słupno i Stara Biała, na mocy stosownych porozumień międzygminnych.
- W
- Tab. 3.1 przedstawiono wielkość pracy eksploatacyjnej w płockiej komunikacji miejskiej. Widoczna jest względna stabilizacja, pomimo zmian w ofercie przewozowej i zmniejszenia wielkości obsługiwanego obszaru (od 01.01.2020 r. ma miejsce brak obsługi Gminy Nowy Duninów i ograniczenia obsługi Gminy Gąbin, zaś od 01.06.2021 płocka komunikacja miejska przestała funkcjonować na terenie Gminy Brudzeń Duży). Rok 2020 ze względu na ograniczeń epidemicznych spowodował gwałtowny spadek wielkości pracy eksploatacyjnej. Na przestrzeni lat 2015-2019 liczba przewożonych pasażerów w płockiej komunikacji miejskiej spadła z poziomu ok. 19,7 mln do ok. 18,4 mln pasażerów rocznie. W związku z obostrzeniami epidemii COVID-19 liczba pasażerów w 2020 r. spadła do poziomu 10,9 mln. Przewiduje się, że zniesienie ograniczeń w życiu społecznym i gospodarczym spowoduje odbudowę popytu na usługi transportu publicznego, co będzie wymagało utrzymania istniejącej liczby dysponowanych pojazdów KM Płock przeznaczonych do obsługi płockiej komunikacji miejskiej.

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2020

Rok	Wozokilometry w tys. wzkm	Dynamika r/r
2015	6 223	
2016	6 417	+3,1%
2017	6 225	-3,0%
2018	6 429	+3,3%
2019	6 431	0,0%
2020	5 053	-21,4%

Źródło: opracowanie własne na podstawie Biuletynu IGKM „Komunikacja miejska w liczbach” za lata 2015, 2016, 2017 oraz danych otrzymanych z UM Płock.



Rys. 3.1 Przewiezeni pasażerowie w latach 2015-2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KM Płock

W Tab. 3.2 zestawiono przebiegi tras linii płockiej komunikacji miejskiej. W bieżącym roku nastąpiło skrócenie tras 3 linii ze względu na

zmianę funkcjonowania transportu publicznego na terenie gminy Brudzeń Duży, która uruchomiła własną komunikację gminną.

Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Płocku stan na dzień 05.08.2021 r.

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe
0	Linia okrężna jednokierunkowa (w przeciwną stronę kursuje linia 10) WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – I. Mościckiego – Miodowa – Tysiąclecia – Bielska – J. Kwiatka – Kolegialna – al. J. Kilińskiego – al. J. Piłsudskiego – Dworcowa – F. Chopina – A. Mickiewicza – Tysiąclecia – Miodowa – I. Mościckiego – Dobrzyńska – Medyczna – WINIARY, SZPITAL
2	WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – K. I. Gałczyńskiego – Miodowa – Tysiąclecia – Bielska – J. Kwiatka – Kolegialna – al. J. Kilińskiego (w drodze powrotnej: al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska) – Mostowa – most Legionów J. Piłsudskiego – pl. I. Mościckiego – Portowa – Popłacińska – Popłacińska STOCZNIA – Popłacińska – Kolejowa – Cicha (powrót Kościelna) – Dobrzykowska – Dobrzykowska TOKARY – Dobrzykowska – trasa J. Popiełuszki – most Solidarności – trasa J. Popiełuszki – Wyszogrodzka – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE
3	WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – K. I. Gałczyńskiego – Batalionów Chłopskich – Narodowych Sił Zbrojnych – Bielska – al. S. Jachowicza – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – Wyszogrodzka - Harcerska - Borowicka - BOROWICZKI

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe
4	<p>CMENTARZ KOMUNALNY – Bielska – Wiadukt – Kostrogaj – Przemysłowa – Narodowych Sił Zbrojnych – Batalionów Chłopskich – K. I. Gałczyńskiego – Dobrzyńska – al. F. Kobyleńskiego – I. Łukasiewicza – A. J. Nowowiejskiego – J. Kwiatka – Kolejalna - pl. Obrońców Warszawy (w drodze powrotnej: pl. Obrońców Warszawy – 1 Maja – H. Sienkiewicza – A. J. Nowowiejskiego) – T. Kościuszki - pl. Gen. J. Dąbrowskiego – Warszawska – al. J. Kilińskiego – Wyszogrodzka (w drodze powrotnej: Wyszogrodzka - Pułku Strzelców Konnych – al. J. Kilińskiego) – Południowa – Słoneczna – Grabówka – ks. S. Niedzielaka – Gościniec – J. Korczaka – Harcerska – Borowicka – Parcele – ŚW. HUBERTA</p>
7	<p>KOSTROGAJ – Przemysłowa – KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA – Przemysłowa – Narodowych Sił Zbrojnych – 7 Czerwca 1991 r. – I. Łukasiewicza – Tysiąclecia – Bielska – J. Kwiatka – Kolejalna – al. J. Kilińskiego (w drodze powrotnej al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska) – Mostowa – most Legionów Piłsudskiego – pl. I. Mościckiego – Portowa – Popłacińska – Kolejowa (w drodze powrotnej: Kolejowa – Cicha – Kościelna – Kolejowa) – Kutnowska – Góry – Łącka – Ciechomska – Górkki: CIECHOMICE Wybrane kursy w obydwu kierunkach przez przystanek Kutnowska lub wydłużone do pętli GÓRKI</p>
10	<p>Linia okrężna jednokierunkowa (w przeciwną stronę kursuje linia 0) WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – I. Mościckiego – Miodowa – Tysiąclecia – A. Mickiewicza – F. Chopina – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska – Tysiąclecia – Miodowa – I. Mościckiego – Dobrzyńska – Medyczna – WINIARY, SZPITAL</p>
14	<p>WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – al. F. Kobyleńskiego – al. S. Jachowicza – Obrońców Westerplatte – A. Mickiewicza – F. Chopina – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – al. Armii Krajowej – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE Wybrane kursy wydłużone: al. Jana Pawła II – W. Nowickiego – Gościniec – GOŚCINIEC / GOŚCINIEC – Gościniec – Grabówka – ks. S. Niedzielaka – W. Nowickiego – al. Jana Pawła II</p>
15	<p>DWORZEC KOLEJOWY – F. Chopina – Bielska – Tysiąclecia – I. Łukasiewicza – al. F. Kobyleńskiego – Bielska – J. Kwiatka – Kolejalna – al. J. Kilińskiego (w drodze powrotnej: al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska) – al. J. Piłsudskiego – Otolińska – Boryszewska – BORYSZEWSKA Wybrane kursy wydłużone FABRYKA MASZYN – Targowa – Bielska, CM. KOMUNALNY – Bielska lub Boryszewska – Żyzna – ŻYZNA</p>
18	<p>DWORZEC KOLEJOWY – A. Mickiewicza – Północna – Lotników – J. Kochanowskiego – Bielska – Narodowych Sił Zbrojnych – H. i S. Rutkich – R. Rembieleńskiego – Tysiąclecia – Bielska – Zduńska – S. Okrzei – J. Kwiatka – Kolejalna – pl. Obrońców Warszawy (w drodze powrotnej: pl. Obrońców Warszawy – 1 Maja – H. Sienkiewicza – Bielska – Zduńska – S. Okrzei – J. Kwiatka - Bielska) – T. Kościuszki – pl. Gen. J. Dąbrowskiego – Warszawska – al. J. Kilińskiego – Słoneczna (w drodze powrotnej: Słoneczna – B. Głowackiego – Wyszogrodzka – 4 Pułku Strzelców Konnych – al. J. Kilińskiego) – Południowa – Wyszogrodzka – Filtrowa – Imielnicka – Rieczna – Górna – Źródłana – Wyszogrodzka – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – al. Armii Krajowej – Żyzna – ŻYZNA</p>
19	<p>WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – I. Mościckiego – Miodowa (w drodze powrotnej: Miodowa – K. I. Gałczyńskiego – Dobrzyńska) – Tysiąclecia – Bielska – J. Kwiatka – Kolejalna – Wyszogrodzka (w drodze powrotnej: Wyszogrodzka – H. Sienkiewicza – Bielska) – al. Armii Krajowej – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE</p>
20	<p>KOSTROGAJ – Przemysłowa – KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA – Przemysłowa – Narodowych Sił Zbrojnych – 7 Czerwca 1991 r. – I. Łukasiewicza – al. F. Kobyleńskiego – Bielska – J. Kwiatka – Kolejalna – al. J. Kilińskiego (w drodze powrotnej: al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska) – al. J. Piłsudskiego – Dworcowa – F. Chopina – Otolińska – S. Banacha – W. Lachmana – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – al. Armii Krajowej – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE</p>
22	<p>WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – K. I. Gałczyńskiego – Batalionów Chłopskich – Narodowych Sił Zbrojnych – Bielska – J. Kwiatka – Kolejalna – Wyszogrodzka (w drodze powrotnej: Wyszogrodzka – H. Sienkiewicza – Bielska) – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE</p>

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe
24	<p>CMENTARZ KOMUNALNY – Bielska – Wiadukt – Kostrogaj – Przemysłowa – Narodowych Sił Zbrojnych – Batalionów Chłopskich – K. I. Gałczyńskiego – Dobrzyńska – al. F. Kobylińskiego – I. Łukasiewicza – A. J. Nowowiejskiego – J. Kwiatka – Kolegiarna – 1 Maja (w drodze powrotnej: 1 Maja – H. Sienkiewicza – A. J. Nowowiejskiego) – 3 Maja – 11 Listopada – al. S. Jachowicza – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – al. Armii Krajowej – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE</p> <p>Wybrane kursy wydłużone do Brochocina</p> <p>W okresie Wszystkich Świętych po tej samej trasie kursuje dodatkowo linia wzmacniająca 24C</p>
26	<p>WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – I. Mościckiego – Miodowa (w drodze powrotnej: Miodowa – K. I. Gałczyńskiego – Dobrzyńska) – I. Łukasiewicza – al. F. Kobylińskiego – al. S. Jachowicza – al. J. Piłsudskiego – Dworcowa – F. Chopina – Otolińska – S. Banacha – W. Lachmana – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – al. Armii Krajowej – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE</p> <p>Wybrane kursy: wydłużone MASZEWSKA – Traktowa – Szpitalna – Medyczna – WINIARY, SZPITAL</p>
31	<p>SKARPA – Dobrzyńska – al. F. Kobylińskiego – Bielska – Narodowych Sił Zbrojnych – 7 Czerwca 1991 r. – I. Łukasiewicza – ORLEN, BRAMA II – I. Łukasiewicza – Długa – POLMO – Długa – ORLEN, BRAMA XI</p> <p>Wybrane kursy wydłużone WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – SKARPA</p>
32	<p>ORLEN, BRAMA I – Chemików – I. Łukasiewicza – ORLEN, BRAMA II – I. Łukasiewicza – K. I. Gałczyńskiego – Miodowa – Tysiąclecia – A. Mickiewicza – F. Chopina – W. Lachmana – LACHMANA (w drodze powrotnej: LACHMANA – W. Lachmana – S. Banacha – Otolińska – Chopina)</p> <p>Wybrane kursy wydłużone: LACHMANA – W. Lachmana – S. Banacha – Otolińska – Targowa – TARGOWA</p>
33	<p>PODOLSZYCE – al. Jana Pawła II – Wyszogrodzka – 4 Pułku Strzelców Konnych – H. Sienkiewicza – A. J. Nowowiejskiego (w drodze powrotnej: A. J. Nowowiejskiego – J. Kwiatka – Kolegiarna – Wyszogrodzka) – I. Łukasiewicza – ORLEN, BRAMA II – I. Łukasiewicza – Chemików – ORLEN, BRAMA I</p>
35	<p>BOROWICZKI – Borowicka – Harcerska – Wyszogrodzka – al. Armii Krajowej lub PODOLSZYCE – al. Jana Pawła II – al. Armii Krajowej – Wyszogrodzka – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – al. F. Kobylińskiego – I. Łukasiewicza – ORLEN, BRAMA II – I. Łukasiewicza – Chemików – ORLEN, BRAMA I – Chemików – W. Zglenickiego – Biała: A. Kordeckiego – NAFTOBUDOWA</p>
37	<p>BOROWICZKI – Borowicka – Harcerska – Wyszogrodzka – al. Armii Krajowej lub PODOLSZYCE – al. Jana Pawła II – al. Armii Krajowej – Wyszogrodzka – al. J. Piłsudskiego – W. Lachmana – S. Banacha – Otolińska – Targowa – Bielska – Wiadukt – Kostrogaj – Przemysłowa – KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA</p>
43	<p>Linia sezonowa kursująca w okresie wakacji szkolnych</p> <p>DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – J. Kwiatka – Kolegiarna – al. J. Kilińskiego (powrót al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska) – Mostowa – most Legionów Piłsudskiego – pl. I. Mościckiego – Kolejowa – Kutnowska – Łąck: Płocka – Grabina: Łącka – GRABINA</p>
44	<p>Linia sezonowa kursująca w okresie wakacji szkolnych – w 2021 jednokierunkowa</p> <p>DWORZEC KOLEJOWY – A. Mickiewicza – Bielska – H. Sienkiewicza – A. J. Nowowiejskiego – I. Łukasiewicza – Topolowa – Kazimierza Wielkiego – Parowa – Rybaki – Mostowa – Tumska – Grodzka – T. Kościuszki – pl. Obrońców Warszawy – 1 Maja – H. Sienkiewicza – Bielska – al. S. Jachowicza – Obrońców Westerplatte – A. Mickiewicza – DWORZEC KOLEJOWY</p>
60	<p>KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA – Przemysłowa – Narodowych Sił Zbrojnych – F. Chopina – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE</p>
61	<p>Linia jednokierunkowa</p> <p>ORLEN, BRAMA I – Chemików – I. Łukasiewicza – W. Zglenickiego – Maszewo Duże: W. Zglenickiego – Dobrzyńska – Płock: Dobrzyńska – Medyczna – WINIARY, SZPITAL</p>
62	<p>ORLEN, BRAMA I – Chemików – I. Łukasiewicza – ORLEN, BRAMA II – I. Łukasiewicza – 7 Czerwca 1991 r. – Narodowych Sił Zbrojnych – Przemysłowa – KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA</p>
70	<p>Linia okrężna, kursuje w okresie Wszystkich Świętych</p> <p>CMENTARZ KOMUNALNY – Bielska – Tysiąclecia – I. Łukasiewicza – A. J. Nowowiejskiego – J. Kwiatka – Bielska – CMENTARZ KOMUNALNY</p>

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe
71	Linia kursuje w okresie Wszystkich Świętych PODOLSKYCE – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – al. Armii Krajowej – Wyszogrodzka – H. Sienkiewicza (powrót J. Kwiatka – Kolegialna) – A. J. Nowowiejskiego – I. Łukasiewicza – Tysiąclecia – Bielska - CMENTARZ KOMUNALNY
72	Linia kursuje w okresie Wszystkich Świętych PODOLSKYCE – al. Jana Pawła II – al. Armii Krajowej – Wyszogrodzka – al. J. Piłsudskiego – F. Chopina – W. Lachmana – S. Banacha – F. Chopina – Bielska – CMENTARZ KOMUNALNY
73	Linia kursuje w okresie Wszystkich Świętych BOROWICZKI – Borowicka – Harcerska – Wyszogrodzka – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – Wyszogrodzka – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – CMENTARZ KOMUNALNY
74	Linia kursuje w okresie Wszystkich Świętych SKARPA – Dobrzyńska – I. Mościckiego – Miodowa – I. Łukasiewicza – Batalionów Chłopskich – Narodowych Sił Zbrojnych – Przemysłowa – Kostrogaj – Wiadukt – Bielska (w dniu powszednim) / Narodowych Sił Zbrojnych - Bielska – CMENTARZ KOMUNALNY Oprócz 1 listopada z dodatkowym wjazdem przez Przemysłowa – Kostrogaj – Wiadukt
75	Linia kursuje w okresie Wszystkich Świętych WINIARY, SZPITAL – Medyczna – Dobrzyńska – K. I. Gałczyńskiego – Miodowa – Tysiąclecia – Bielska – CMENTARZ KOMUNALNY
76	Linia kursuje w okresie Wszystkich Świętych BOROWICZKI – Borowicka – Harcerska – J. Korczaka – Gościniec – W. Nowickiego – PODOLSKYCE
77	Linia kursuje w okresie Wszystkich Świętych CMENTARZ KOMUNALNY – Bielska – A. Mickiewicza – F. Chopina – W. Lachmana – S. Banacha – BANACHA
100	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – al. F. Kobylińskiego – Dobrzyńska – Maszewo Duże: Dobrzyńska – W. Zglenickiego – Płock: W. Zglenickiego – Biała: A. Kordeckiego – Stara Biała: STARA BIAŁA – Biała: A. Kordeckiego – H. Sienkiewicza – Poświętne – Dziarnowo: DZIARNOWO Wybrane kursy skrócone do Starej Białej
101	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – Tysiąclecia – Miodowa – I. Mościckiego – Dobrzyńska – Maszewo Duże: Dobrzyńska – W. Zglenickiego – Płock: W. Zglenickiego – Biała: A. Kordeckiego – Stara Biała: – Kamionki: – Miłodróż: – Stare Proboszczewice: Bielska – Nowe Proboszczewice: Bielska – Sierpecka – Stare Proboszczewice: Sierpecka - STARE PROBOSZCZEWICE
102	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – Tysiąclecia – Miodowa – I. Mościckiego – Dobrzyńska – Maszewo Duże: Dobrzyńska – W. Zglenickiego – Płock: W. Zglenickiego – Biała: A. Kordeckiego – H. Sienkiewicza – Srebrna: – Kobierniki: KOBIERNIKI, WIERZBICA
103	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – al. F. Kobylińskiego – Dobrzyńska – Maszewo Duże: Dobrzyńska – Lipnowska – Mańkowo: – Srebrna: SREBRNA
104	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – al. F. Kobylińskiego – Dobrzyńska – Maszewo Duże: Dobrzyńska – Lipnowska – Mańkowo: Brwileńska – Wyszyna: – Ludwikowo: Bursztynowa - Brylantowa – Wyszyna: WYSZYNA (powrót Mańkowo – Maszewo Duże: Lipnowska)
105	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – al. F. Kobylińskiego – Dobrzyńska – Medyczna – Szpitalna – Maszewo: – Brwilno: Płocka – BRWILNO, ANTONIÓWKA
110	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – Nowe Trzepowo: – Bronowo-Zalesie: BRONOWO-ZALESIE – Machcino: – Sękowo: – Żągoty: – Umienino-Łubki: UMIENINO – Jączewo: – Łysakowo: Sierpecka – Bonisław: Sierpecka – Płocka – Lelice: Płocka – Słupecka – LELICE
111	DWORZEC KOLEJOWY – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – Sierpecka – Nowe Trzepowo: Sierpecka – Stare Draganie: – Nowe Bronowo: – Bronowo Kmiece: – Kruszczewo: – Ogorzelice: – Nowe Proboszczewice: Bielska – Sierpecka – Stare Proboszczewice: Sierpecka – Pęszyno: – Golejewo: – Gozdowo: Strażacka – Płocka – Dworcowa – K. Gozdawy – Rempieńska – Rempin: Długa – Rękawczyn: Wesoła – Świerkowa(tylko w stronę Rempina) – Rempin: Długa – REMPIN

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe
112	Dworzec Kolejowy – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – Nowe Trzepowo: – Brochocin: – Goślice: – Dźwierzno: – Goślice: – Ciachcin Nowy: – Drwały: – Kłobie: –Bolechowice: – Bielsk: Płocka – BIELSK
120	Linia okrężna: w godzinach porannych kursy zgodnie z opisem, w popołudniowych w kierunku przeciwnym JACHOWICZA (TEATR) – al. S. Jachowicza – al. J. Piłsudskiego – Otolińska – Kostrogaj: – Nowe Boryszewo: – Stare Boryszewo: – Stróżewko: – Rogozino: Płocka – Imielnicka – Mazowiecka – Wiejska – Juryszewo: – Ślepkowo Szlacheckie: – Ślepkowo Królewskie: – Ciótkówko: – Ciótkowo: – Woźniki-Paklewy: – Woźniki: – Radzanowo: Szkolna – Płocka – Ślepkowo Królewskie: – Wodzymin: – Juryszewo: – Rogozino: Wiejska – Mazowiecka – Imielnicka – Płocka – Stróżewko: – Stare Boryszewo: – Nowe Boryszewo: – Kostrogaj: – Płock: Otolińska – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – JACHOWICZA (TEATR)
130	JACHOWICZA (TEATR) – al. S. Jachowicza – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – Nowe Gulczewo: Szlachecka – Ketlinga – Rogozińska – Płock: Wyszogrodzka (wybrane kursy przez Gulczewo – Mirosław) – Cekanowo: Płocka – Wiejska – Królewska – Szeligi: – Słupno: Miszewska – Warszawska – Krzelewo – Jesionowa – Klonowa – Szeligi: SZELIGI
140	Dworzec Kolejowy – Dworcowa – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – J. Kwiatka – Kolegialna – al. J. Kilińskiego (w drodze powrotnej: al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska) – Mostowa – most Legionów Piłsudskiego – pl. I. Mościckiego – Kolejowa – Cicha (powrót Kościelna) – Dobrzykowska – Jordanów: – Dobrzyków: Obrońców Dobrzykowa – Gąbińska (powrót Gąbińska – Słoneczna – Obrońców Dobrzykowa) – Góry Małe: – Potrzebna: – Nowe Grabie: – Gąbin: Dobrzykowska – Płocka – Ciasna – Kutnowska – Topolowa (powrót Topolowa – S. Składkowskiego – Ciasna)– GĄBIN, DWORZEC
A	Linia pospieszna PODOLSZYCE – al. Jana Pawła II – al. Armii Krajowej – Wyszogrodzka – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – al. F. Kobylińskiego – I. Łukasiewicza – Orlen, brama II – I. Łukasiewicza – Chemików – ORLEN, BRAMA I
B	Linia pospieszna PODOLSZYCE – al. Jana Pawła II - Czwartaków – al. Jana Pawła II – al. Armii Krajowej – Wyszogrodzka – T. Mazowieckiego – W. Bartoszewskiego – obwodnica miasta – Długa – I. Łukasiewicza – ORLEN, BRAMA II – I. Łukasiewicza – Chemików – ORLEN, BRAMA I
N1	KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA – Przemysłowa – Narodowych Sił Zbrojnych – Batalionów Chłopskich – K. I. Gałczyńskiego – Dobrzyńska (w stronę Kostrogaju wybrane kursy przez Winiary, szpital) – I. Mościckiego – Miodowa – Tysiąclecia – Bielska – J. Kwiatka – Kolegialna – al. J. Kilińskiego (w drodze powrotnej al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska lub al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza – Bielska – Narodowych Sił Zbrojnych – Przemysłowa – KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA – Przemysłowa – Tysiąclecia) – Dworcowa – F. Chopina – al. J. Piłsudskiego – Wyszogrodzka – al. Armii Krajowej – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – PODOLSZYCE – al. Jana Pawła II – Wyszogrodzka – Harcerska – Borowicka – BOROWICZKI
N2	Górki: CIECHOMICE – Płock: Ciechomicka – Łącka – Góry – Kutnowska – Kolejowa – Popłacińska – Portowa – pl. I. Mościckiego – most Legionów Piłsudskiego – Mostowa – al. J. Kilińskiego – H. Sienkiewicza - Bielska (w drodze powrotnej Bielska – J. Kwiatka – Kolegialna – al. J. Kilińskiego) – Narodowych Sił Zbrojnych – Przemysłowa – KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA
N3	BOROWICZKI – Borowicka – Harcerska – Wyszogrodzka – al. Jana Pawła II – Czwartaków – al. Jana Pawła II – Wyszogrodzka – al. J. Piłsudskiego – al. S. Jachowicza – Bielska – Tysiąclecia – Miodowa – I. Mościckiego – Dobrzyńska – K. I. Gałczyńskiego – Batalionów Chłopskich – Narodowych Sił Zbrojnych – Przemysłowa – KOSTROGAJ, ZAJEZDNIA

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych UM Płock

3.1.3 Koszty eksploatacyjne

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

wozokilometr zgodną z Rozporządzeniem 1370/2007, ustawą o publicznym transporcie zbiorowym. Kwotę planowanej rekompensaty

oblicza się zgodnie z załącznikiem 3 do Umowy. Najpierw obliczana jest wartość w oparciu o wynik finansowy netto będący różnicą pomiędzy kosztami i przychodami związanymi ze świadczeniem powierzonych usług publicznych pomniejszona o dodatni wynik finansowy z działalności komercyjnej oraz formy pomocy publicznej spełniające definicję rekompensaty (poza rekompensatą i aportu, np. dopłata do kapitału zapasowego). Stopa zwrotu z niniejszej wartości nie może przekroczyć 1,5%

średniorocznie w całym okresie Umowy. Następnie uwzględnia się rozsądny zysk oraz wylicza średnia wartość rekompensaty na 1 wykonany wzkm. Rekompensata wypłacana jest w formie miesięcznych zaliczek (w wielkości 1/12 rekompensaty z zyskiem) pomniejszanej o potrącenia związane z karami umownymi. Dodatkowo corocznie wypłacona rekompensata podlega kontroli zasadności otrzymanej kwoty, a także sprawdzenia czy pozwoliła pokryć koszty świadczenia usług.

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

Jednym z zadań własnych Miasta Płock, określonego w Ustawie z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym, jest zapewnianie lokalnego transportu zbiorowego, poprzez organizację przewozów w komunikacji miejskiej. Płock posiada własny plan transportowy (Plan Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego dla Miasta Płocka i Gmin, z którymi zawarto porozumienie międzygminne w zakresie organizacji publicznego transportu zbiorowego na lata 2014-2023) będący aktem prawa miejscowego, gwarantujący realizację przewozów o charakterze użyteczności publicznej na terenie

Miasta Płock oraz gmin posiadających odpowiednie porozumienia w sprawie organizacji lokalnego transportu zbiorowego. Komunikacja miejska w Płocku została opisana w Planie Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Płocka, który zawiera ocenę aktualnego stanu środowiska oraz opis przedsięwzięć pozwalających na ograniczenie nadmiernego zużycia ciepła, energii elektrycznej i paliw gazowych. Realizację przewozów gwarantuje wieloletnia współpraca z operatorem komunikacji miejskiej (obecnie obowiązuje umowa do 03.09.2028 r.).

3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

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

3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

W ostatnich latach w Płocku zakupiono 47 autobusów przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej. W 2015 roku dokonano zakupu 4 autobusów Solaris Urbino o normie spalania EURO 6 (3 MAXI, 1 MEGA18). Dwa lata później zakupiono kolejne 3 pojazdy klasy MAXI. W 2018 r. zakupiono 25 pojazdów hybrydowych

Solaris Urbino o normie spalania EURO 6 (17 MAXI, 8 MEGA18). Ostatnie zakupy pojazdów nastąpiły w 2020 r., w którym flota wzbogaciła się o 15 pojazdów o normie spalania EURO 6: 7 autobusów klasy MIDI, 4 hybrydowe klasy MAXI oraz po 2 spalinowe klasy MAXI i MEGA18.



Rys. 3.2 Karsan Atak w barwach KM Płock

Źródło: Zbiory UM Płock

Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na 01.08.2021 r.)

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania
2015	Solaris Urbino 12	MAXI	3	2015	EURO 6
	Solaris Urbino 18	MEGA18	1	2015	EURO 6
2017	Solaris Urbino 12	MAXI	3	2017	EURO 6
2018	Solaris Urbino 12 Hybrid	MAXI	17	2018	EURO 6
	Solaris Urbino 18 Hybrid	MEGA18	8	2018	EURO 6
2020	Solaris Urbino 12	MAXI	2	2020	EURO 6
	Solaris Urbino 18	MEGA18	2	2020	EURO 6
	Solaris Urbino 12 Hybrid	MAXI	4	2020	EURO 6
	Karsan Atak	MIDI	7	2020	EURO 6

Źródło: Opracowanie własne

3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby obsługi płockiej komunikacji miejskiej eksploatowanych jest 113 pojazdów. Wszystkie pojazdy posiadają silniki spalinowe zasilane olejem napędowym, w tym 29 pojazdów wykorzystujących napęd hybrydowy spalinowo-elektryczny. Zdecydowana większość pojazdów jest niskopodłogowa lub niskowejściowa (pojazdy MIDI), a w planach wymiany taboru zaplanowano wycofanie wszystkich 6 pojazdów średniopodłogowych klasy MAXI. Największym udziałem cechują się pojazdy o najwyższej normie spalania EURO 6 – 47 pojazdów (42%) oraz 27 pojazdów (24%) o nieco mniej restrykcyjnej EURO 5. Obie te grupy stanowią przez znaczącą większość pojazdów klasy MIDI i MEGA18 oraz przez ponad połowę grupy autobusów typu MAXI. Kolejną liczną grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 3 z udziałem 18% całego taboru tworzoną przez 20 pojazdów (wszystkie 2 pojazdy MEGA15, ok. 20% - 15 szt. MAXI, 1 pojazd MIDI oraz 2 szt. MEGA18). Pozostałe wykorzystywane we flocie 19 pojazdów klasy MAXI spełnia normy EURO 4 (10 szt.) oraz EURO 2 (9 szt.). Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 01.08.2021 r.)

Paliwo i Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
ON EURO 2			9			9
ON EURO 3		1	15	2	2	20
ON EURO 4			10			10
ON EURO 5			19		8	27
ON EURO 6		7	29		11	47
Liczba pojazdów		8	82	2	21	113

Źródło: Opracowanie własne Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru

Obecnie średni wiek pojazdów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Płocku wynosi ok. 9 lat (mediana wynosi 9 lat). Najstarsze pojazdy wyprodukowano w 1999 r. – MAN A 21 klasy MAXI i normie spalania EURO 2, a najmłodsze autobusy w 2020 r. – 7 szt. Karsan Atak klasy MIDI, 4 szt. Solaris Urbino Hybrid klasy MAXI oraz po 2 pojazdy Solaris Urbino klasy MAXI i MEGA18.

Pojazdy w wieku 2-4 lata stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – aż 24,8% (część pojazdów MAXI oraz największa grupa wśród pojazdów MEGA18). Kolejną grupę stanowią pojazdy w wieku 15 lat i więcej – 23,9% (wszystkie pojazdy klasy MEGA15, 1 klasy MINI oraz największa grupa wśród pojazdów klasy MAXI). W Tab. 3.5 zaprezentowano obecną strukturę pojazdów według wieku i typu.

Tab. 3.5 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 1.08.2021 r.)

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT		7	6		2	15
2-4 LATA			20		8	28
4-6 LAT			3		1	4
6-8 LAT			5		2	7
8-10 LAT			11		5	16
10-15 LAT			13		3	16
15 LAT I WIĘCEJ		1	24	2		27

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z planem wymiany taborowej w najbliższym czasie mają zostać wycofane wszystkie pojazdy z grupy 15 lat i więcej oraz część z grupy 10-15 lat. Zaplanowano wymianę 1 pojazdu MIDI, 29 pojazdów MAXI oraz po 2 pojazdy MEGA15 i MEGA18 na 34 nowe pojazdy MAXI. W kolejnych tabelach przedstawiono przewidywaną strukturę wieku pojazdów eksploatowanych w sieci komunikacji miejskiej w Płocku w perspektywie do 2028 r., z wyszczególnieniem okresów przejściowych analogicznych do wskazanych w Ustawie z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności

i paliwach alternatywnych. Symulacja wymiany taboru została sporządzona w oparciu o:

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

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

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

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			11			11
2-4 LATA		7	6		2	15
4-6 LAT			20		8	28
6-8 LAT			3		1	4
8-10 LAT			5		2	7
10-15 LAT			20		6	26
15 LAT I WIĘCEJ		1	19		2	22

Źródło: Opracowanie własne

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

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			12			12
2-4 LATA			11			11
4-6 LAT		7	6		2	15
6-8 LAT			20		8	28
8-10 LAT			3		1	4
10-15 LAT			18		7	25
15 LAT I WIĘCEJ			15		3	18

Źródło: Opracowanie własne

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

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			11			11
2-4 LATA			12			12
4-6 LAT			11			11
6-8 LAT		7	6		2	15
8-10 LAT			17		8	25
10-15 LAT			11		3	14
15 LAT I WIĘCEJ			19		6	25

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. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez operatora (stan na dzień 05.08.2021 r.)

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOc w g	NOx w g	PM w g	CO2 w kg
EURO 2				
MAN A 21	1 417 271,02	9 018 997,40	193 264,23	334 808,38
EURO 3				
Cacciamali Iveco	14 637,28	110 888,50	2 217,77	5 763,05
Jelcz M181MB3	294 993,93	2 234 802,50	44 696,05	116 146,26
MAN A 26	244 700,74	1 853 793,50	37 075,87	96 344,61
MAN NL 223	204 795,10	1 551 478,00	31 029,56	80 632,79
MAN NL 283	822 466,72	6 230 808,50	124 616,17	323 825,09
Mercedes Conecto	850 132,40	6 440 397,00	128 807,94	334 717,74
EURO 4				
Solaris Urbino 12	1 036 138,82	7 883 664,95	45 049,51	585 323,83
EURO 5				
Solaris Urbino 12	2 558 145,33	11 122 371,00	111 223,71	1 445 118,54
Solaris Urbino 18	873 423,30	3 797 492,60	37 974,93	493 404,42
EURO 6				
Karsan Atak	134 316,00	413 280,00	10 332,00	268 485,29
Solaris Urbino 12	319 554,47	983 244,52	24 581,11	638 759,89
Solaris Urbino 12H	630 436,39	1 939 804,28	48 495,11	1 260 184,15
Solaris Urbino 18	99 135,63	305 032,72	7 625,82	198 162,98
Solaris Urbino 18H	282 334,95	868 722,92	21 718,07	564 361,50
roczna sumaryczna emisja szkodliwych substancji ze wszystkich pojazdów w komunikacji miejskiej:	9 782 482,09	54 754 778,39	868 707,85	6 746 038,52

Źródło: Opracowanie własne na podstawie kalkulatora emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego CUPT oraz danych taboru KM Płock

3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne sieci linii komunikacji miejskiej w Płocku. 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 powszedni szkolny – 20 151,741 wzkm,

- dzień powszedni feryjny – 19 904,020 wzkm,
- dzień powszedni wakacyjny – 20 193,579 wzkm,
- sobota i niedziela handlowa w roku szkolnym – 9 667,610 wzkm,
- sobota i niedziele handlowa w wakacje – 10 050,471 wzkm,
- niedziela niehandlowa i święta w roku szkolnym – 6 696,711 wzkm,
- niedziela niehandlowa i święta w wakacje – 6 855,728 wzkm.

Najwięcej kilometrów realizowanych jest na linii 3 (w dni powszednie generuje ok. 11% całości pracy eksploatacyjnej, w soboty ok. 19%, zaś w niedziele i święta ok. 25%), która łączy Osiedle Winiary ze Szpitalem Wojewódzkim na zachodzie, Osiedle Łukasiewicza wraz z

kompleksem sportowym i filią Politechniki Warszawskiej na północny, trasą drogi krajowej nr 60 obrzeżem śródmieścia, przez Podolszyce, Imielnicę do Borowiczek przy wschodniej granicy

3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

KM Płock dysponuje 113 autobusami, z czego do obsługi liniowej (nie licząc rezerw) płockiej komunikacji miejskiej eksploatowane są:

- w dni powszednie szkolne 96 autobusów – 85,0% taboru,
- w dni powszednie feryjne 94 autobusy – 83,2% taboru,
- w dni powszednie wakacyjne 94 autobusy – 83,2% taboru,

3.3.2 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wzkm przez brygady

Wszystkie brygady wykorzystywane do realizacji przewozów w ramach komunikacji miejskiej w dzień powszedni szkolny wykonują łącznie 20 151,74 wzkm. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie na dystansie o długości 94,021 km (pojazd MIDI), zaś najdłuższe zadanie ma przebieg o długości 455,169 km (pojazd MAXI). Przeciętna długość pracy eksploatacyjnej brygady w całej sieci wynosi 214,380 km. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

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

Równanie 1 Współczynnik zmienności

gdzie:

s – odchylenie standardowe

\bar{x} – przeciętna długość brygady.

Cała sieć charakteryzuje się przeciętnym zróżnicowaniem przebiegów brygad na poziomie 35,19%.

W odniesieniu do poszczególnych typów taboru najmniejsza zmienność występuje w przypadku pojazdów klasy MEGA18 (28,40%). Pojazdy klasy MEGA15 nie są wyodrębnione jako oddzielna grupa pojazdów w rozkładzie jazdy.

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

Parametr / typ taboru	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
liczba brygad		5	68		21	94
minimalna długość [km]		94,021	101,390		112,390	94,021
maksymalna długość [km]		257,355	455,169		319,861	455,169
przeciętna długość [km]		186,348	221,196		198,983	214,380
odch. standardowe		69,220	81,493		56,520	76,819
wsp. zmienności		37,15%	36,84%		28,40%	35,83%
suma wzkm		931,742	15 041,350		4 178,649	20 151,741

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 obsługiwane przez autobusy zeroemisyjne. Zdiagnozowano również najczęściej występujące długości przerw

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

Tab. 3.11 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów (dane dla dnia powszedniego szkolnego)

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych		5	68	0	21	94
Liczba brygad poj. zeroemisyjnych		0	0	0	0	0
Liczba brygad w ruchu		5	68	0	21	94
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych		8	82	2	21	113
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych		0	0	0	0	0
Stan taboru		8	82	2	21	113
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych		63%	83%	0%	100%	83%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych		0%	0%	0%	0%	0%
Udział pojazdów zeroemisyjnych		0%	0%	0%	0%	0%

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 kursów lub par kursów (np. „k1” oznacza 1 kurs, „p1” oznacza 1 parę kursów). Z analizy wyłączone zostały dedykowane przerwy posiłkowe, które nie są zaplanowane jako powtarzalne postoje wyrównawcze.

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

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień powszedni 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
0	Winiary Szpital	-	40	0	-	-	30	20	-	-
2	Winiary Szpital	Podolszyce	40	20	5	-	30	22	31	7

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień powszedni szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Interwały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
3	Winiary Szpital	Borowiczki	20	14	3	-	15	0	4	-
4	Cmentarz Komunalny	Św. Huberta	60	27	6	-	60	15	11	
7	Kostrogaj	Ciechomice	40	21	18	14	30	7	12	16
10	Winiary Szpital	-	40	1	-	-	30	20	-	-
14	Winiary Szpital	Podolszyce	30	11	5		30	0	24	19
15	Dworzec Kolejowy	Boryszewska	p4			10	p1			7
18	Dworzec Kolejowy	Żyzna	40	14	7		30	12-32	4-24	
19	Winiary Szpital	Podolszyce	20	3	8		15	6	11	
20	Podolszyce	Kostrogaj	40	9	21		30	8	19	
22	Winiary Szpital	Podolszyce	20	13	18		15	0	2	
24	Podolszyce	Cmentarz Komunalny	60	13	30		60	18	-	16
26	Winiary Szpital	Podolszyce	40	28	14		30	29	12	23
31	Skarpa	Orlen, brama XI	-				k1			
32	Lachmana	Orlen, brama I	-				k5	-	11	
33	Podolszyce	Orlen, brama I	k1				k7	7	5	
35	Podolszyce	Orlen brama	60	44	7		15/30	8	13	4
37	Borowiczki	Kostrogaj, zajezdnia	-				k2			
A	Podolszyce	Orlen, brama I	-				k3			
B	Podolszyce	Orlen, brama I					k2			

Pominięto linie sezonowe (4*), zjazdowe (6*), nocne (N*), podmiejskie (1**) oraz uruchamiane w okresie Wszystkich Świętych (24C, 7*)

Źródło: Opracowanie własne

4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W niniejszym rozdziale przedstawiono 5 wariantów inwestycyjnych:

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

Każdy typ pojazdu został scharakteryzowany pod względem podstawowych parametrów technicznych, analizy ostatnich postępowań na kupno takich pojazdów. Następnie oceniono możliwość wprowadzenia danego wariantu w analizowanej sieci komunikacyjnej w Płocku oraz potencjalne koszty wprowadzenia. Pod koniec rozdziału przeprowadzono analizę wielokryterialną (MCA) w celu wybrania

wariantów do dalszych analiz kosztów i korzyści wynikających z ich wdrożenia.

W kontekście ustaleń płynących z zapisów uepa, przy obecnie eksploatowanych, w sieci komunikacji miejskiej w Płocku, 113 pojazdach, teoretycznie wymagana liczba posiadanych pojazdów zeroemisyjnych wynosi⁶:

- w terminie od 01.01.2021 r. – 6 pojazdów (tj. 5% spośród planowanej posiadanej liczby autobusów),
- w terminie od 01.01.2023 r. – 11 pojazdów (tj. udział na poziomie 10%),
- w terminie od 01.01.2025 r. – 23 pojazdy (tj. udział na poziomie 20%),
- w terminie od 01.01.2028 r. – 34 pojazdy (tj. udział na poziomie 30%).

Poniższe analizy uwzględniają plany wymiany taboru operatora polegające na wymianie 1 pojazdu MIDI, 2 pojazdów MEGA15 oraz 2 pojazdów MEGA18 na pojazdy klasy MAXI.

4.1 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy z wodorowym ogniwem paliwowym (FCEB – Fuel Cell Electric Bus) do napędu wykorzystują silnik elektryczny. W pojeździe wodorowym energia elektryczna do zasilania silnika wytwarzana jest na bieżąco w wodorowym ogniwie paliwowym zasilanym wodorem zgromadzonym w zbiornikach znajdujących się najczęściej na dachu pojazdu. W wodorowym ogniwie paliwowym zachodzi reakcja chemiczna, w wyniku której wodór w połączeniu z tlenem z powietrza wytwarza

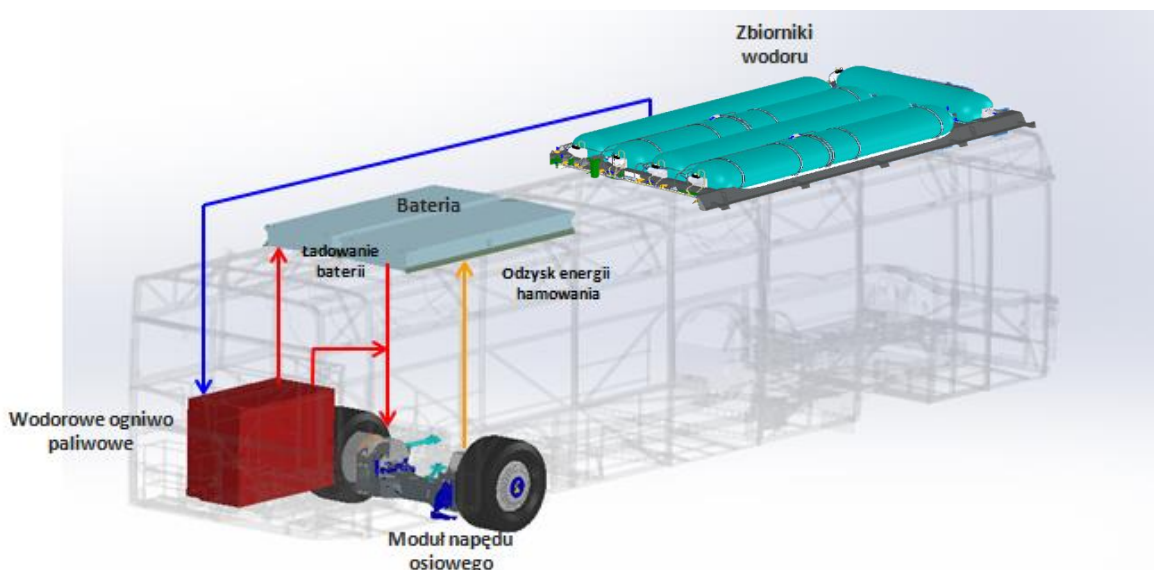
energię elektryczną. Produktem reakcji jest także para wodna i ciepło.

Autobus FCEB posiada przewagę nad elektrycznym wynikającą z możliwości zmagazynowania większej ilości energii niż akumulator elektryczny przy tej samej masie, co daje możliwość pokonania większego dystansu – nawet do ok. 450 km. Kolejną zaletą jest krótki czas tankowania wodoru trwający około 15 minut, pozwalający na uzupełnienie 35 kg wodoru. Autobusy elektryczne potrzebują wielokrotnie więcej czasu na pełne

⁶ Obliczając liczbę wymaganych autobusów zeroemisyjnych, przyjęto metodę zaokrąglania matematycznego dla wartości z ułaskami.

doładowanie baterii, który wynosi kilka godzin. Eksploatacja autobusów wodorowych wiąże się jednak z koniecznością inwestycji w budowę stacji do ich tankowania.

Normy prawne dotyczące wykorzystania wodoru jako paliwa nie są jeszcze tak dopracowane jak w przypadku innych paliw i ciągle powstają ich aktualizacje.



Rys. 4.1 Struktura i podzespoły autobusu elektrycznego z wodorowym ogniwem paliwowym

Autobusy o napędzie elektrycznym wykorzystujące wodorowe ogniwa paliwowe (w skrócie określane jako „autobusy wodorowe”) stanowią najbardziej zaawansowane rozwiązanie technologiczne wśród pojazdów zeroemisyjnych. Podczas eksploatacji autobusów wodorowych osiągnięta jest zerowa emisyjność zanieczyszczeń w miejscu użytkowania pojazdu. W wyniku reakcji chemicznej wodoru z tlenem zachodzącej w ogniwie paliwowym, powstaje energia elektryczna, a produktem ubocznym jest para wodna.

Najważniejszą i niezbędną inwestycją infrastrukturalną jest stacja tankowania wodoru (HRS - hydrogen refueling station). Przy czym najkorzystniejszą lokalizacją dla stacji tankowania wodoru jest teren zajezdni autobusowej, ponieważ eliminuje się w ten sposób dodatkowe koszty związane z dojazdami w celu uzupełnienia paliwa.

Wybrane aktualnie obowiązujące normy to⁷:

SAE J2601 wskazuje jako zestandaryzowane ciśnienia tankowania 350 bar (35 MPa) i 700 bar (70 MPa). Informuje ona także o obowiązku oznaczania złącza do tankowania, o podaniu maksymalnego ciśnienia oraz o minimalnej temperatury pracy:

- SAE J2799 – dotyczy wymagań dla stacji tankowania wodoru,
- SAE J2579 – dotyczy wymagań dla zbiorników przechowujących wodór,
- DIN EN 17124 – określa stopień czystości wodoru do zastosowania w ogniwach paliwowych PEM8.

W 2020 r. 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 wodorowe są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak: Kolonia, Londyn, Pau, Hamburg, Oslo, Mediolan, czy Wuppertal. Są to

⁷ <http://gashd.eu/wodor-h2/>

⁸ <https://emcel.com/de/reinheit-von-wasserstoff/>

niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk, poza przewoźnikiem z Kolonii⁹ posiadającym 50 autobusów wodorowych we flocie oraz obsługującym także obszary podmiejskie. Ilość autobusów wodorowych wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie dzięki programowi współfinansowanemu przez Unię Europejską o nazwie JIVE & JIVE 2, do końca 2021 r. zakontraktowano ponad 200 nowych pojazdów napędzanych wodorem (w tym 15 kolejnych dla Kolonii)¹⁰. Co warto podkreślić, od 2019 r. złożono już zamówienia na ponad 60 pojazdów produkowanych na terenie Polski.

W ramach zakończonego 1 etapu programu NFOŚiGW „Zielony Transport Publiczny” złożono 4 wnioski o dotację na zakup ponad 120 pojazdów zasilanych czystym wodorem. Aktualnie beneficjentami zostały Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (20 autobusów) i Miasto Chełm (15 autobusów). Na rozstrzygnięcie oczekują jeszcze MPK Poznań (84 autobusy) i MPK Włocławek (3 autobusy).¹¹ Niniejsze miasta nie są jedynymi w Polsce, w których planowane jest wykorzystanie autobusów wodorowych – 23.06 MZK Konin wybrał dostawcę w formie oddania w dzierżawę 1 12-metrowego autobusu wodorowego¹².

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

Miasto	Liczba autobusów	Producent autobusów	Typ autobusu
Kolonia	50	Van Hool; Solaris	12 m
Aberdeen	10	Van Hool	13 m
Londyn	8	Wright	12 m
Ryga	10(20)	Solaris	Przegubowy, 18,75 m, trolejbus z ogniwami wodorowymi
Hamburg	6	4x Mercedes (EvoBus) i 2x Solaris	4x 12 m i 2x 18,75 m
Aargau	5	Mercedes (EvoBus)	12 m
Oslo	5	Van Hool	12 m
Pau	8	Van Hool (ExquiCity FC)	18 m
Wuppertal	10	Van Hool	12 m

Źródło: Opracowanie własne

4.1.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

Autobusy napędzane energią pochodzącą z czystego wodoru różnią się od klasycznych autobusów elektrycznych tym, że źródłem energii elektrycznej jest wodorowe ogniwo paliwowe, natomiast akumulatory pełnią funkcję buforu energii – są zasilane zarówno z

ogniwa paliwowego jak i systemu rekuperacji energii uzyskiwanej podczas hamowania pojazdu.

Wśród korzystnych cech autobusów wodorowych w porównaniu z elektrycznymi

⁹ Regionalverkehr Köln GmbH (RVK) jest pionierem zastosowań autobusów wodorowych – pierwsze wdrożenie w 2011 r.

¹⁰ https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Knowledge%20Brief-%20Fuel%20Cell%20Buses_web.pdf, dostęp: 20.08.21

¹¹ <https://www.transport-publiczny.pl/mobile/zielony-transport-publiczny-samorzady-mierza-wysoko-67564.html>, dostęp: 20.08.21

¹² POSTĘPOWANIE NR Z3/51472 MZK Konin, https://mzk-konin.logintrade.net/zapytania_email,42525,3c77791b126e1e33dc95c13a3d914e11.html, dostęp 20.08.21

można wymienić następujące, które wpływają na ich wyższą operacyjność:

- krótki czas tankowania pojazdu trwający około 15 minut (standardowe ładowanie baterii autobusu elektrycznego to kilka godzin),
- większy możliwy do pokonania dystans wynoszący ok. 400 – 450 km,
- niższa masa własna pojazdu przy możliwym do przejechania dystansie,
- zdolność do przewożenia większej ilości pasażerów.

Zbiorniki wodoru umieszczone na dachu autobusu mają pojemność ok. 35 kg wodoru, co w zależności od warunków, wystarcza na przejechanie ok. 350-450 km, bez konieczności uzupełniania na trasie (jak to ma miejsce w przypadku pojazdów elektrycznych akumulatorowych). Wodór gromadzony jest w zbiornikach pod ciśnieniem 35 MPa.

Przyjmuje się, że autobus wodorowy zużywa średnio 9 kg wodoru na przejechanie 100 km. Zużycie jest uzależnione od parametrów zabudowanych podzespołów i ilości

przewożonych pasażerów, ale wpływ ma także technika jazdy kierowcy, oraz warunki pogodowe (temperatura zewnętrzna). Większe zużycie będzie występować w porze letniej ze względu na potrzebę zasilania urządzeń klimatyzacji przestrzeni pasażerskiej oraz w porze zimowej z uwagi na konieczność wykorzystania części energii elektrycznej na ogrzewanie pojazdu.

Eksplatacja autobusów z napędem wodorowym wiąże się z koniecznością budowy odpowiedniej infrastruktury do tankowania. Obecnie w Polsce nie są dostępne stacje tankowania wodorem – czysty wodór na potrzeby transportowe nie jest jeszcze dystrybuowany. Pojawiły się natomiast pierwsze porozumienia mające na celu stworzenie infrastruktury do tankowania takich pojazdów¹³. Obecnie planowane jest uruchomienie kilku pilotażowych stacji: w Poznaniu, Gdańsku oraz Warszawie.

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

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

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
Solaris Urbino 12 Hydrogen	12 m	2019	29,2 kWh	2 x 125 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
Ursus Demo Hydrogen	12 m	2017	70 kWh	226 kW (2 x 113 kW silnik w piastach kół)	450 km	ok. 80 pasażerów

Źródło: Opracowanie własne

¹³ Miasto Gdynia i Grupa Lotos podpisały list intencji dotyczący ewentualnych dostaw wodoru (data podpisania 3 kwietnia 2018 r.), w późniejszym czasie także Wejherowo,

Tczew oraz Rzeszów (22.10.2020). Krakowskie MPK podpisało podobne porozumienie z PKN Orlen w maju 2020.

4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

Projekty związane z wdrażaniem autobusów wodorowych, generują koszty zakupu taboru jak i infrastruktury niezbędnej do tankowania pojazdu.

Ceny pojazdów aktualnie kształtują się na poziomie od 625 000 do 650 000 Euro. Ze względu na rosnącą ich liczbę, ceny autobusów z ogniwem paliwowym, prognozowane przez niektórych producentów autobusów, w najbliższych kilku latach znajdują się w przedziale od 380 000 do 550 000 Euro za autobus. Ceny generalnie odnoszą się do rocznej produkcji 100 pojazdów (rzadziej 200 pojazdów). Efekty skali odpowiedzialne za obniżkę cen występują przede wszystkim w łańcuchu dostaw¹⁴. Rozwój technologii zbiorników wodoru, ogniw paliwowych oraz baterii i jednocześnie wzrost ilości zamówień prowadzić mogą do znacznych obniżek cen. Podobnie koszty zakupu autobusu przedstawiają się w materiałach oceniających projekty JIVE i MEHRLIN - autobus typu MAXI szacuje się na poziomie 650 tys. euro, zaś autobusu typu MEGA18 na poziomie 1 miliona euro¹⁵.

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów

wodorowych 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 nowy i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹⁶.**

Istotną kwestią, przy formułowaniu warunków zamówienia na autobusy wodorowe, jest określenie wymaganego okresu gwarancji na podstawowe podzespoły tj. wodorowe ogniwo paliwowe oraz akumulatory trakcyjne.

Przedstawienie wymogu gwarancji na okres 10 – 12 lat, może skutkować wyższą ceną ofertową producenta pojazdu z uwagi na konieczność utrzymania użytkowych parametrów eksploatacyjnych tych podzespołów w okresie gwarancji (zastosowanie akumulatorów pożądanego typu LTO, regeneracja ogniwa paliwowego, lub wymiana całych komponentów).

Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI z ogniwem paliwowym na poziomie 680 000 Euro z perspektywą obniżania ceny zakupu o 5% w 2024 i 2027 r.

¹⁴<https://emcel.com/de/preise-fuer-brennstoffzellenbusse/?fbclid=IwAR2R33FCPYJKRNWZu-6q5B7e4EJGCzggITH6GolthGrLoSPEYRb9F0OCKE8>

¹⁵JIVE and MEHRLIN Performance Assessment Handbook, Stefan Eckert, Michael Faltenbacher, Klaus Stolzenburg, Martin Gallmetzer

¹⁶ https://www.rvk.de/fileadmin/images/Null_Emissio/2018_Datenblatt_Van_Hool.pdf, dostęp: 16.06.2021

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

Zamawiający	Wielkość zamówienia	Typ autobusu	Wartość zamówienia	Wartość jednego autobusu
Rotterdam ¹⁷	2	Van Hool 13m	1,7mln €	850 tys. €
Kolonia* (2018)	30	Van Hool 13m	13,0mln €	430 tys. €
Kolonia* (2020)	15	Solaris Urbino 12 Hydrogen	Brak danych	<625 tys. € (warunek przetargu, Van Hool zaproponował 650 tys. €)
Aberdeen ¹⁸	10	Van Hool 13m	brak danych	~500 tys. £≈560 tys. €
Wuppertal	10	Van Hool	12,0 mln €	650 tys. €

Zamówienia dla Kolonii były częścią wspólnego zamówienia Kolonii i Wuppertalu, w 2018 30+10, w 2020 15+10

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykułów branżowych

4.1.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów

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

- magazyny wodoru (zbiornik niskociśnieniowy i wysokociśnieniowy),
- sprężarka wodoru,
- wymiennik ciepła (chłodnica),
- dystrybutory,
- układ sterowania stacją.



Ważnym parametrem stacji tankowania wodoru jest jej wydajność w kg wodoru na dzień, która przekłada się na możliwość i czas tankowania zbiorników autobusów do ciśnienia 35 MPa.

Koszt stacji tankowania wodoru zależy od jej konfiguracji, wydajności, sposobu dostarczania wodoru do stacji, a także wymagań, jakie są stawiane odnośnie sposobu jej użytkowania przez flotę autobusów¹⁹. 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 €²⁰²¹.

Z informacji prasowych wynika, że ZE PAK nabył stację tankowania wodoru w cenie 14,82 mln zł (3,2 mln €)²²

¹⁷ <https://www.3emotion.eu/news/ret-orders-two-fuel-cell-buses-van-hool>, dostęp: 22.08.2021

¹⁸ <https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses>, dostęp: 22.08.2021

¹⁹ <https://h2stationmaps.com/costs-and-financing>, dostęp: 22.08.2021

²⁰ Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, Forschungszentrum Jülich GmbH, 2018.

²¹ <https://ecomento.de/2018/02/16/wasserstoff-elektroauto-tankstellen-2017-deutschland-europa-welt/>, dostęp: 17.06.2021

²² <https://www.gramwielone.pl/woddor/104023/ze-pak-kupuje-stacje-tankowania-wodorem-za-32-mln-euro>

Koszt budowy własnej stacji na potrzeby eksploatacji autobusów z wodorowymi ogniwami w płockiej komunikacji miejskiej szacuje się na poziomie²³ 11 460 000 zł. W dalszej części opracowania analizę finansowo – ekonomiczną dla autobusów z ogniwami paliwowymi wykonano w dwóch podwariantach dla jednakowej liczby pojazdów:

- w wariantcie W3A założono, że autobusy będą korzystały z infrastruktury

wybudowanej przez inwestora zewnętrznego, bez wykorzystania środków finansowych Gminy – Miasta Płocka lub operatora komunikacji miejskiej,

- w wariantcie W3B przyjęto rozwiązanie, w którym stacja tankowania wodoru powstaje ze środków Gminy – Miasta Płocka lub Komunikacji Miejskiej – Płock Sp. z o.o.

4.1.4 Niezbędna infrastruktura, zmiany wyposażenia i organizacji pracy na zajezdni autobusowej

Dla przeprowadzania efektywnych i bezpiecznych prac diagnostycznych i napraw autobusów wodorowych niezbędne jest odpowiednie wyposażenie hal z miejscami postojowymi dla pojazdów oraz warsztatów serwisowych.

Dostawca autobusu w dołączonej do pojazdu dokumentacji technicznej (tj. np.: instrukcja obsługi dla kierowcy, warsztatowa instrukcja obsługi, książka przeglądów okresowych, katalog części zamiennych, szczegółowe schematy, wymagane parametry i instrukcje obsługi podzespołów) określa zakres niezbędnych usług oraz zasady bezpieczeństwa pracy podczas diagnostyki, konserwacji i napraw pojazdu.

Mając na uwadze złożoność techniczną instalacji HV/H₂, (HV - high voltage) - a także różnorodność interwencji wymaganych przez ten system, wymagane jest przeprowadzenie szkolenia dla techników serwisu w zakresie obsługi wysokonapięciowych układów napędowych oraz instalacji wodorowej.

Podstawowe wyposażenie stacji serwisowej dedykowanej dla autobusów wodorowych to między innymi:

1. przyrządy do kontroli szczelności instalacji wodorowej zainstalowanej w pojeździe,
2. urządzenia do diagnostyki układu napędowego: zbiorniki H₂, ogniwo paliwowe, akumulator, instalacja trakcyjna wysokonapięciowa HV, silnik trakcyjny,
3. specjalistyczne oprogramowanie diagnostyczne do instalacji HV/H₂.

Dla prawidłowej i bezpiecznej obsługi, konserwacji i serwisowania autobusów wodorowych niezbędne jest specjalistyczne wyposażenie pomieszczeń zajezdni autobusowej oraz warsztatu serwisowego:

1. odpowiednia wentylacja pomieszczeń zapobiegająca tworzeniu się stężeń wodoru grożących wybuchem (np. otwory wentylacyjne na dachu hal, w których znajdują się autobusy wodorowe),
2. Detektory obecności wodoru:
 - ostrzegające o niebezpiecznym stężeniu gazu (alarmy dźwiękowe i wizualne),
 - powodujące dezaktywację potencjalnie niebezpiecznych systemów (np. systemu grzewczego),
 - aktywujące działanie systemu mechanicznej wentylacji przeciwpożarowej,
3. alarm ostrzegawczy – informujący o potencjalnym zagrożeniu pożarowym,
4. uziemienie całego pojazdu,
5. usuwanie wodoru – instalacja odpowietrzająca pomieszczenie, służąca do usuwania ewentualnych wycieków wodoru z instalacji autobusu,
6. pomieszczenia, w których znajdują się autobusy wodorowe, nie mogą być wyposażone w potencjalne źródła zapłonu (np. grzejniki na podczerwień lub zasilane paliwem gazowym, urządzenia generujące iskry i ogień).

²³ <https://www.nrel.gov/hydrogen/sera-model.html>

Dobłą praktyką, która powinna być zastosowana przy eksploatacji autobusów wodorowych, jest opracowanie procedur postępowania w przypadku wystąpienia nagłych zdarzeń stanowiących zagrożenie dla zdrowia i życia pracowników.

Ponadto należy przygotować odpowiednie zapisy w instrukcjach przeciwpożarowych i BHP oraz przeprowadzić szkolenie w tym zakresie dla pracowników obsługi.

4.1.5 Możliwość wprowadzenia autobusów napędzanych wodorem w Płocku

Do obsługi komunikacji miejskiej w Płocku przeznaczonych jest 113 pojazdów. Dla spełnienia warunku 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie komunikacji miejskiej w 2028 r., niniejsza ocena obejmuje prognozę nakładów inwestycyjnych dla docelowo 34 sztuk autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi klasy MAXI. Wymianę autobusów spalinowych na autobusy napędzane wodorem założono w stosunku 1 do 1.

- Poniższe tabele przedstawiają nakłady inwestycyjne w kolejnych latach 2022, 2024 i 2027 dla osiągnięcia docelowej ilości 34 sztuk autobusów. Przedstawiono dwa warianty:
 - 1 – koszt budowy stacji tankowania ponosi Gmina – Miasto Płock lub KM Płock (w wariantcie W3A),
 - 2 – koszt budowy stacji tankowania ponosi dostawca wodoru (wariant analizowany w części finansowo – ekonomicznej w wariantcie W3B).

Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym (koszt budowy stacji tankowania po stronie KM Płock)

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	99,36 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	2,00 mln zł
Stacja tankowania wodoru	11,46 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	112,82 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 4.5 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym (koszt budowy stacji tankowania po stronie dostawcy wodoru)

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Zakup taboru	99,36 mln zł
Dostosowanie zajezdni do obsługi autobusów o napędzie wodorowym	2,00 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	101,36 mln zł

Źródło: Opracowanie własne

4.2 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

4.2.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

Obecnie liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych dynamicznie wzrasta. W styczniu 2021 r. w Polsce zarejestrowane były

442 autobusy elektryczne akumulatorowe²⁴. Większość z nich wprowadzono do eksploatacji w 2020 r., kiedy zarejestrowano aż 201 sztuk (wzrost o 253% względem 2019 r.)²⁵. Autobusy elektryczne w Polsce produkuje wielu producentów, w tym ARP E-Vehicles Sp. z o.o., Autosan sp. z o.o., MAN Truck & Bus, Solaris Bus & Coach S.A oraz Volvo Polska sp. z o.o.. Autobusy elektryczne mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych²⁶, ze względu na konieczność montażu akumulatorów. Wyróżniają się lepszymi charakterystykami dynamicznymi – stosowane w autobusach elektrycznych silniki asynchroniczne, w przeciwieństwie do spalinowych, osiągają maksymalny moment obrotowy już przy rozruchu. Do ich zasilania używa się przeważnie akumulatorów litowo-jonowych m.in.:

- litowo-niklowo-manganowo-kobaltowych – NMC, które charakteryzują się niskimi kosztami, niską masą, ale również niską żywotnością i małym zakresem temperatur pracy (>-10°C),
- litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C,
- litowo-tytanowych LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²⁷.

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 1,22 kWh/km.

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

²⁴ <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-wzrasta-zainteresowanie-hybridami-plug-in/>

²⁵ <https://pspa.com.pl/2021/informacja/licznik-elektromobilnosci-rok-2020-rekordowy-na-polskim-rynku-samochodow-elektrycznych/>

²⁶ Koncepcja wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych w lubelskiej komunikacji miejskiej, Poznań 2014

²⁷ Przegląd aktualnych doświadczeń w eksploatacji autobusów elektrycznych, MZA Sp. z o.o., Kraków 2017

w ruchu liniowym, zanim konieczny będzie zjazd na ładowanie.



Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Jaworznie podczas szybkiego ładowania
Źródło: Zbiory własne

Trzecią metodą, pod względem eksploatacji autobusu zbliżoną do ładowania pantografowego, jest ładowanie indukcyjne. Ładowarka indukcyjna o natężeniu 125A potrafi w ciągu 10 minut 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	Ursus	12m	11	2,830	Brak
Włocławek	Solaris	12m	3	2,285	5x plug-in
Warszawa	Solaris	18m	130	2,166	brak
Radom	Solaris	12m	10	2,599	10x plug-in i 2x pantografowe
Katowice	Solaris	12m	5	2,490	5x plug-in
Tychy	Solaris	12m	2	2,300	1x plug-in i 1x pantografowa
Ostrów Wielkopolski	Solaris	12m	10	2,408	5x plug in
Bełchatów	Solaris	12m	3	2,028	2x plug in
Świdnica	Volvo	12m	2	2,803	1x plug-in i 1x pantografowa
Opole	Solaris	12m	5	3,747	3x plug-in i 1x pantografowa

Źródło: Opracowanie własne

W Tab. 4.6 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 – 1,7 mln zł,
- MIDI – 2,0 mln zł,
- MAXI – 2,3 mln zł,
- MEGA18 – 2,8 mln zł.

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

Koszt zakupu ładowarek plug-in jest relatywnie niski – koszt jednego urządzenia to około 225 000 zł netto. W celu efektywnego ładowania pojazdów zwykle wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek (jednej na pojazd dla urządzeń jednostanowiskowych lub jednej na dwa pojazdy - dla urządzeń dwustanowiskowych). Stosując ładowarki typu plug-in, bez doładowywania autobusów na trasie, istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że liczba autobusów elektrycznych

akumulatorowych potrzebnych do obsłużenia 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

przewoźnika. W analizie przyjęto założenie, że autobus elektryczny może przejechać 215 km na jednym pełnym naładowaniu akumulatorów.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe		5	36	0	19	60
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe		0	34	0	0	34
Przyrost liczby brygad w ruchu		0	2	0	-2	0
Liczba brygad w ruchu		5	70	0	19	94

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy pozwalają na obsługę autobusami elektrycznymi akumulatorowymi 36 brygad klasy MAXI w wersji bez doładowywania w trakcie dnia. Niniejsze działanie wymaga wykorzystania 36 pojazdów elektrycznych, co przy braku modyfikacji oferty przewozowej i floty taborowej spełnia wymogi prawnych nałożonych na organizatora, zapewnia poziom 32%, tj. większy niż wymagany. Do celów porównawczych z bliźniaczym wariantem wykorzystującym ładowanie pantografowe przyjęto taką samą liczbę brygad, tj. 34 pojazdów, co wypełnia wymogi prawne

związane z udziałem pojazdów elektrycznych we flocie na poziomie 30%.

Powszechnie ładowanie autobusów w tym modelu odbywa się wyłącznie na terenie zajezdni operatora. Z uwagi na zasadną maksymalizację wykorzystania autobusów elektrycznych w dalszych częściach finansowo - ekonomicznych przyjęto rozwiązanie, w którym autobusy doładowywane wyłącznie metodą plug - in, będą uzupełniająco ładowane z 5 szt. terenowych ładowarek wolnego ładowania, które zostaną zlokalizowane na pętłach Podolszyce (2 szt.), Winiary (2 szt.) oraz na terenie zajezdni KM (1 szt.).

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 wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe		7	53	0	19	79
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe		0	34	0	0	34
Stan taboru		7	87	0	19	113
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych		71%	68%	0%	100%	76%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych		0%	100%	0%	0%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych		0%	39%	0%	0%	30%

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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



Rys. 4.3 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze

Źródło: Zbiory własne

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

Analogicznie jak w modelu wyłącznie z ładowarkami plug-in wykonana została pogłębiona analiza rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od operatora komunikacji miejskiej oraz analiza wielokryterialna linii. W ramach niniejszego dokumentu zaplanowano także budowę 5 stacji szybkiego ładowania na terenie miasta oraz budowę 17 ładowarek dwustanowiskowych lub

34 ładowarek jednostanowiskowych wolnego ładowania w zajezdni KM Płock.

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

- regularna częstotliwość kursowania,

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

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy wielokryterialnej do całkowitej wymiany taboru na pojazdy zeroemisyjne wytypowano następujące linie: 0, 2, 7, 10, 14, 20, 22, 24, 26 dające sumarycznie 34 brygady. Dla uzyskania wysokiego wykorzystania pojazdów założono też, że w przypadku zmniejszonego zapotrzebowania taborowego na wymienionych liniach, pojazdy zeroemisyjne pojawią się także na zadaniach obsługujących inne linie w charakterze uzupełniającego tabor z napędem konwencjonalnym.

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

Aspekt	0	2	3	4	7	10	14	15	18	19	20	22	24	26
Techniczno - eksploatacyjny	3,07	2,96	2,21	2,78	2,93	3,07	3,00	3,00	2,06	2,49	3,40	3,00	2,96	2,93
Społeczny	0,97	1,11	0,90	0,65	0,91	0,97	1,16	0,61	1,02	1,11	1,23	1,01	0,65	1,16
Suma ocen	4,04	4,07	3,11	3,43	3,84	4,04	4,16	3,61	3,09	3,60	4,63	4,01	3,62	4,09

Źródło: Opracowanie własne

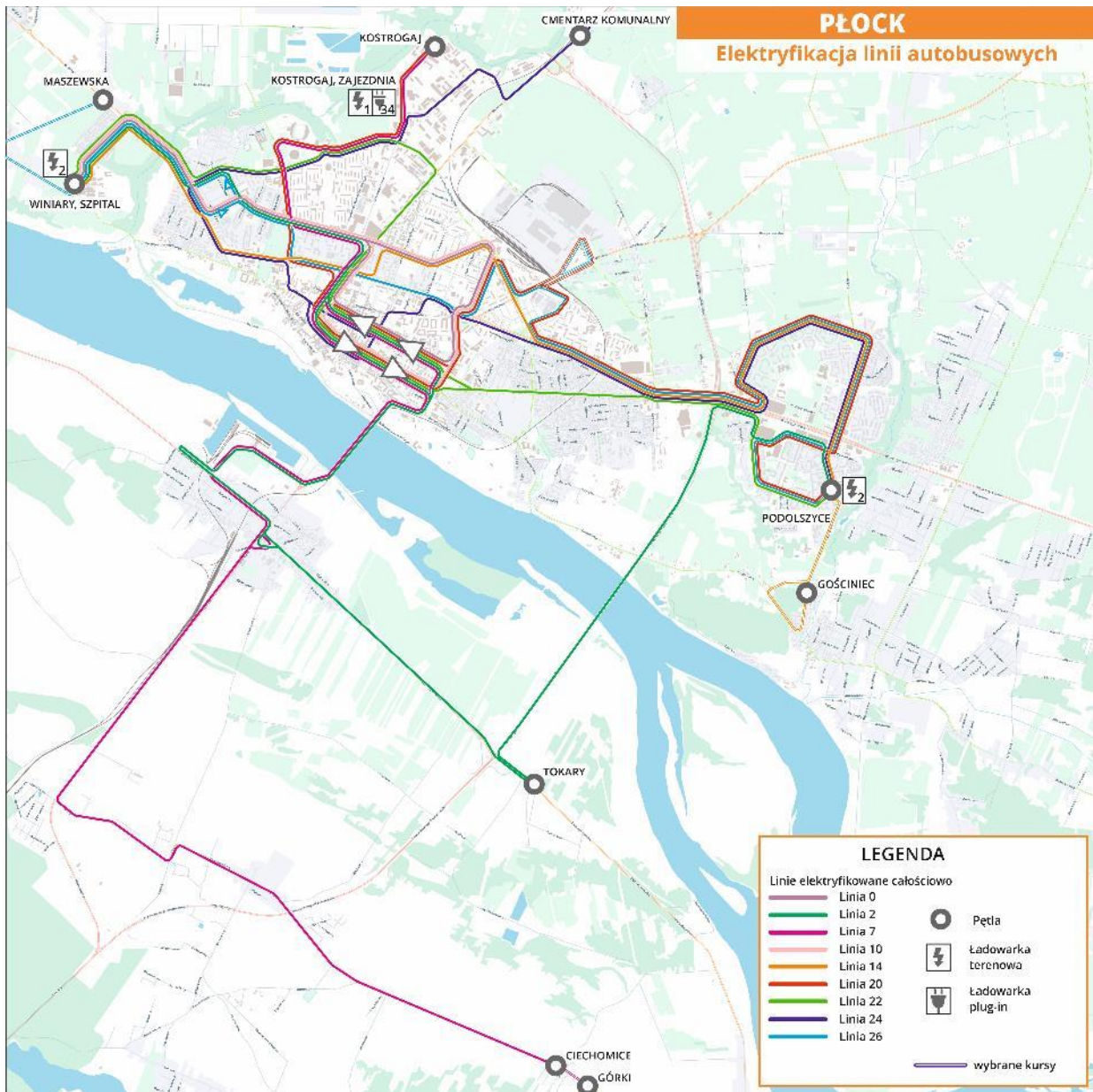
Dla zmaksymalizowania korzyści wynikających z niższych kosztów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych akumulatorowych, założono, że będą one silniej eksploatowane od autobusów spalinowych, pomimo konieczności wydłużenia przerw międzykursowych na doładowanie akumulatorów; przyjęto, że nawet jeśli zwiększy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



Rys. 4.4 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie

Źródło: Zbiory własne

Jako miejsca ładowania przyjęto główne krańce linii podstawowych na terenie miasta – pętla Winiary (2 szt.), Podolszyce (2 szt.) oraz Kostrogaj, zajezdnia (1 szt.) ze względu na możliwość szybkiego doładowania w trakcie dnia.



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

Źródło: Opracowanie własne

Przedstawione powyżej działania pozwolą na uruchamianie w sieci 34 brygad obsługiwanych przez pojazdy elektryczne. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu utrzymania

obecnie stosowanych częstotliwości kursowania do obsługi przewozów potrzebna będzie taka sama liczba pojazdów. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej zatem nie wzrośnie.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MIDI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	5	36	19	60
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:	0	34	0	34
Przyrost liczby brygad w ruchu	0	+2	-2	0
Liczba brygad w ruchu	5	70	19	94

Źródło: Opracowanie własne

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

i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebne będzie łącznie 113 pojazdów, w tym 34 autobusy 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	MEGA15	MEGA18	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe		7	53	0	19	79
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe		0	34	0	0	34
Stan taboru		7	87	0	19	113
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych		71%	68%	0%	100%	76%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych		0%	100%	0%	0%	100%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych		0%	39%	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. 4.6 Trolejbus typu MAXI w Tychach

Źródło: Zbiory własne

4.3.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 r. w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup 15 sztuk trolejbusów klasy MEGA18. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²⁸. 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 brutto²⁹. W Gdyni w 2018 r. zakupiono 14 sztuk trolejbusów MAXI z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 typu MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy trolejbus przegubowy klasy MEGA kosztował 3,15 mln zł brutto³⁰. 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 brutto³¹. 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 brutto³². Pod koniec 2020 r. także w tym mieście rozpisano przetarg na zakup 6 pojazdów klasy MAXI o akumulatorowych o minimalnej pojemności 80 kWh, których

podstawową metodą ładowania mają być odbieraki i trolejbusowa sieć trakcyjna. 5 marca 2021 rozstrzygnięto przetarg, przeznaczając

²⁸ <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obsługi-linii-komunikacji-miejskiej-15-szt-trolejbusow-przegubowych-mega-numer-sprawy-dz-381-516/> , dostęp: 22.08.2021

²⁹ <https://biuletyn.lublin.eu/ztm/zamowienia-publiczne/ogloszone-do-25062018/przetarg-nieograniczony-na-dostawe-pod-nazwa-zakup-taboru-do-obsługi-linii-komunikacji-miejskiej-10-szt-trolejbusow-maxi-numer-referencyjny-dz-381-ue-118/> . dostęp: 22.08.2021

³⁰ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/gdynia-tylko-z-jedna-i-droga-oferta-na-trolejbusy-56995.html> , dostęp: 22.08.2021

³¹ <https://bip.um.gdynia.pl/zamowienia-publiczne,738/postepowanie-na-dostawe-autobusow-elektrycznych-ladowanych-w-ruchu-i-na-postoju,529604> , dostęp: 22.08.2021

³² <https://tlt.bip.gov.pl/publiccontracts/view/9727> , dostęp: 22.08.2021

prawie 18,23 mln zł brutto (3,04 mln zł brutto za pojazd)³³.



Rys. 4.7 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem

Źródło: Zbiory własne

4.3.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową

W latach 2013-2015 w Lublinie wybudowano za 42 mln zł zajezdnię trolejbusową na 100 trolejbusów i 25 pojazdów zaplecza technicznego³⁴. 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)³⁵.

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 brutto³⁶.



Rys. 4.8 Trolejbus typu MAXI w Pireusie

Źródło: Zbiory własne

4.3.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Płocku

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych przeznaczonych do obsługi komunikacji miejskiej powinien wynosić 30%. KM Płock użytkuje 113 pojazdów (w tym maksymalnie 94 pojazdy w ruchu liniowym komunikacji

miejscowej), zatem przy utrzymaniu wielkości floty powinno posiadać 34 pojazdów zeroemisyjnych w celu spełnienia wymogów płynących z uepa. Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy zakłada się w stosunku 1 do 1. Optymalny

³³ <https://platformazakupowa.pl/transakcja/384851>, dostęp: 22.08.2021

³⁴ http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184, dostęp: 22.08.2021

³⁵ <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczone/2016/2016-12-14-robota-budowlana-przetarg-nieograniczony-na-budowe-trakcji-trolejbusowej->

[w-ul-jana-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-jana-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-jana-pawla-ii-i-ul-/2017-01-25-informacja-z-otwarcia-ofert,4,14202,1.html](https://ul-jana-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-jana-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-jana-pawla-ii-i-ul-/2017-01-25-informacja-z-otwarcia-ofert,4,14202,1.html), dostęp: 22.08.2021

³⁶ https://transinfo.pl/infobus/tychy-z-umowa-na-dluzsza-siec-trolejbusowa_more_106289/, dostęp: 22.08.2021

wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby wymianę autobusów kursujących na liniach 0, 10, 14, 19, 20, 22 i 26, ponieważ tworzą one wiązkę linii na możliwie długich wspólnych odcinkach trasy. Obecnie linie te w szczycie komunikacyjnym obsługiwane są przez 31 autobusów MAXI. Trasa linii 0, 10, 19 w całości będzie pokryta siecią trakcyjną, natomiast linie 14, 20, 22, 26 nie będą posiadały sieci trakcyjnej na całej trasie, dlatego też zakłada się kursowanie trolejbusów z napędem pomocniczym. Linia 14 nie będzie wyposażona w sieć trakcyjną na fragmencie trasy od przystanku Podolszyce do przystanku Gościniec, natomiast linia 20 na ulicy Przemysłowej od skrzyżowania z ulicą Narodowych Sił Zbrojnych do pętli Kostrogaj, a także na wspólnym odcinku z linią 26 na ulicy Otolińskiej od skrzyżowania z ulicą S. Banacha do przystanku WORD oraz na ulicy

Czwartaków i Al. J. Pawła II do przystanku Podolszyce. Założono, iż na linii 22 trolejbusy będą mogły korzystać z napędu pomocniczego na ulicy Bielskiej i Narodowych Sił Zbrojnych oraz na Alei J. Pawła II od skrzyżowania z Wyszogrodzką do przystanku Podolszyce. Linia 26 nie będzie posiadała trakcji na Alei S. Jachowicza od skrzyżowania z Kilińskiego do Obrońców Westerplatte. Wyjazdy z zajezdni będą odbywać się z wykorzystaniem akumulatorów. Wprowadzanie trolejbusów wymagać będzie zmiany przydziałów pojazdów do brygad, jako że na chwilę obecną stosowane są służby łączące różne linie, w tym takie, na których nie jest możliwa obsługa trakcją trolejbusową. Łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Płocku docelowo może wynieść 50,2 km (w tym jest 3,4 km odcinka jednokierunkowego).

Tab. 4.11 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
MAXI	1,80 mln zł	34	61 200 000,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

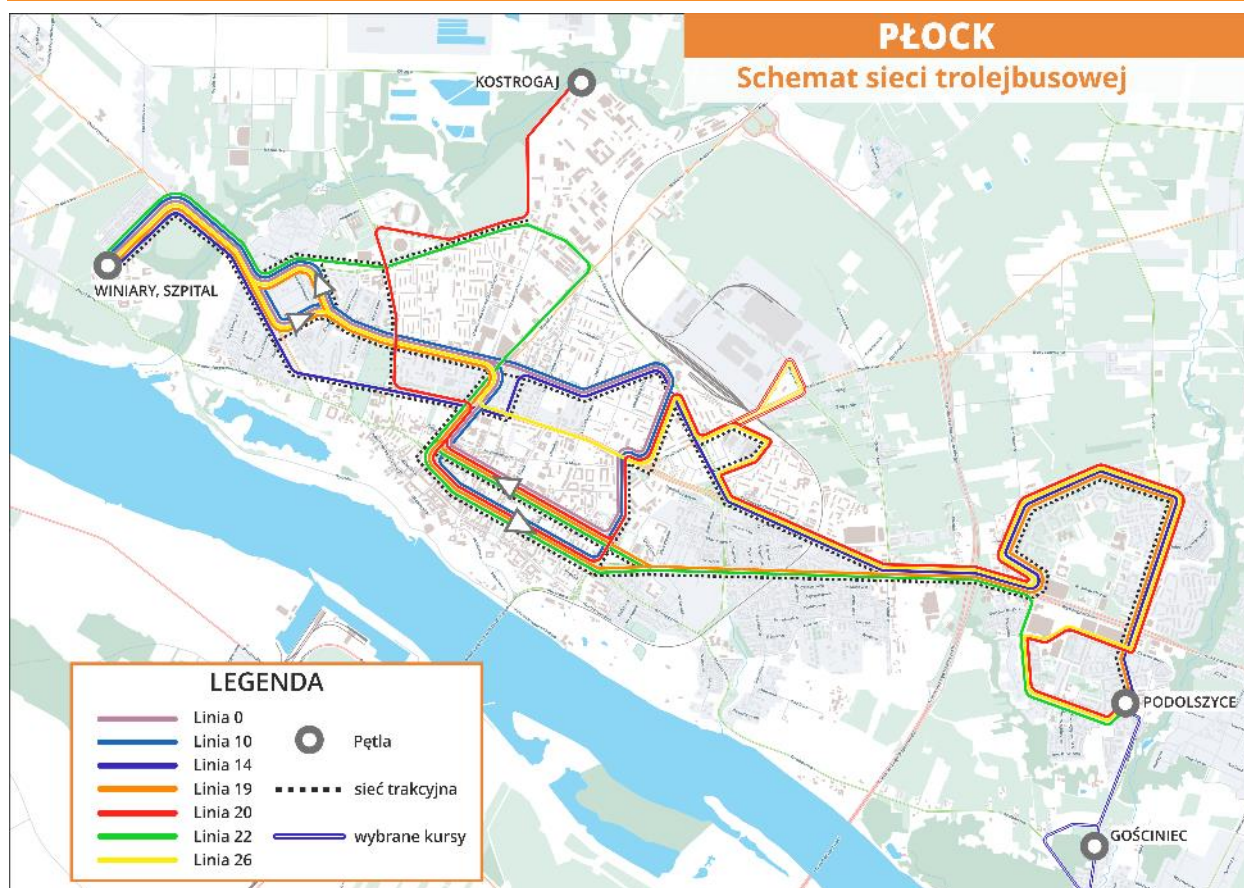
Do obsługi liniowej założonej symulacji sieci potrzebnych będzie 31 trolejbusów klasy MAXI, a jako rezerwę 3 dodatkowe pojazdy. Koszt budowy 1 km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem komunikacji trolejbusowej są

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 Płocku.

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	61,20 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	100,40 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	14,70 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	188,50 mln zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.9 Schemat koncepcji sieci trolejbusowej

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

Tab. 4.13 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto
MAXI ON	34	1,05 mln zł	35,70 mln zł
Koszt całkowity inwestycji:			35,70 mln zł

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,

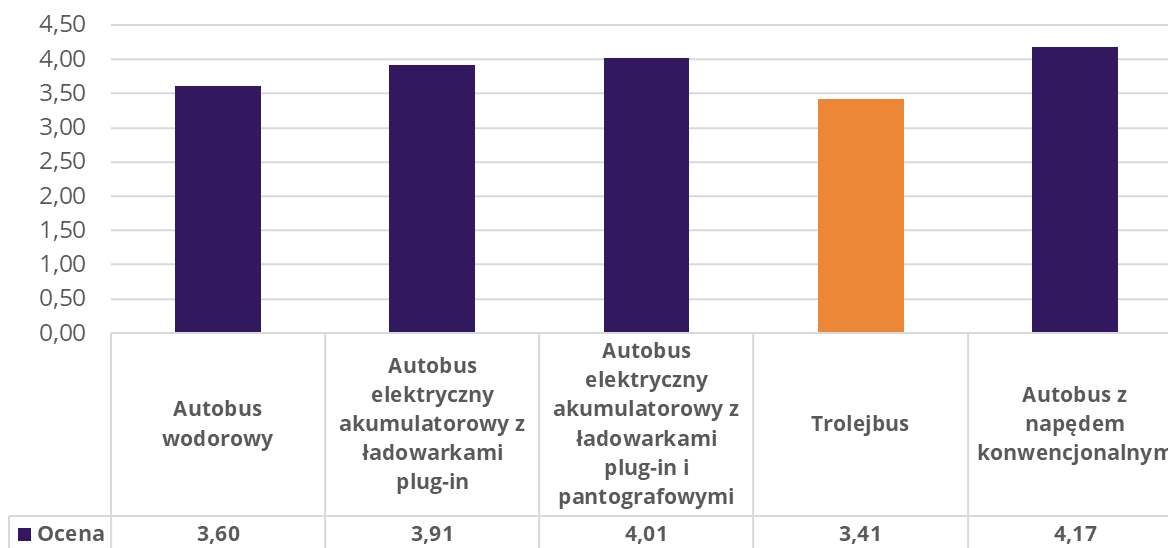
Kolejnym etapem było przypisanie ocen poszczególnym wariantom, które zostały zaprezentowane w poniższej tabeli, a następnie

- 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.

przemnożono poszczególne oceny wariantów przez wagi aspektów szczegółowych.

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie ocen wyboru wariantów poprzez obliczenie iloczynu ocen wariantów w aspektach szczegółowych z wagami ocen aspektów. **Najlepszym wariantem z minimalną przewagą okazały się autobusy z napędem konwencjonalnym z oceną na poziomie 4,17. 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, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów o napędzie elektrycznym, przystosowanych do ładowania wyłącznie z ładowarek typu plug – in,
- W3A – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi, zakładający, że stacja tankowania wodoru w Płocku zostanie zbudowana przez inwestora zewnętrznego,
- W3B – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi, zakładający, że stacja tankowania wodoru w Płocku zostanie zbudowana i sfinansowana przez Gminę – Miasto Płock lub Komunikację Miejską – Płock Sp. z o.o..

Tab. 4.14 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Płocku.

W0 autobusy z obecnym napędem	W1 autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane z ładowarek pantografowych	W2 autobusy elektryczne akumulatorowe doładowywane wyłącznie z ładowarek zajezdniowych plug-in z akumulatorami o dużej pojemności energii	W3A autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi (zewnątrzna stacja tankowania)	W3B autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi (komunalna stacja tankowania)
Odnowa floty w oparciu o autobusy konwencjonalne z napędem spalinowym	Wprowadzenie do eksploatacji 34 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI Całościowo elektryfikowane linie: 0, 2, 7, 10, 14, 20, 22, 24, 26 Częściowo elektryfikowane linie: 31, 35, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 19, 32, 33, 60, 61, 62, 103, 104, 105, 140 Budowa 17 szt. dwustanowiskowych lub 34 szt. jedno stanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 5 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania na pętłach Podolszyce (2 szt.), Winiary (2 szt.) oraz na terenie zajezdni KM (1 szt.) działających w systemie OppCharge oraz gniazdem plug-in Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe	Wprowadzenie do eksploatacji 34 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI Całościowo elektryfikowane linie: 0, 2, 7, 10, 14, 20, 22, 24, 26 Częściowo elektryfikowane linie: 31, 35, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 19, 32, 33, 60, 61, 62, 103, 104, 105, 140 Budowa 17 szt. dwustanowiskowych lub 34 szt. jedno stanowiskowych ładowarek zajezdniowych Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe	Wprowadzenie do eksploatacji 34 szt. autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI Całościowo elektryfikowane linie: 0, 2, 7, 10, 14, 20, 22, 24, 26 Częściowo elektryfikowane linie: 31, 35, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 19, 32, 33, 60, 61, 62, 103, 104, 105, 140	
			Założono, że stacja tankowania wodoru zostanie zbudowana przez inwestora zewnętrznego bez udziału finansowego Gminy – Miasta Płocka lub operatora komunikacji miejskiej	Założono, że stacja tankowania wodoru zostanie zbudowana i sfinansowana przez Gminę – Miasto Płock lub operatora komunikacji miejskiej
			Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe	

Źródło: Opracowanie własne

5 Analiza finansowa

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

- z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in i pantografowymi (wariant W1),
- z autobusami elektrycznymi akumulatorowymi z ładowarkami plug-in i pantografowymi (wariant W2),
- z autobusami wyposażonymi w wodorowe ogniwa paliwowe, które będą tankowane ze stacji wybudowanej przez inwestora zewnętrznego (wariant W3A),
- z autobusami wyposażonymi w wodorowe ogniwa paliwowe, które będą tankowane ze stacji wybudowanej przez Gminę – Miasto Płock lub Komunikację Miejską – Płock Sp. z o.o. (wariant W3B).

5.1 Założenia i metodyka analizy finansowej

- Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji.
- Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.
- Analiza została przeprowadzona na lata 2022-2043.
- W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 4%.
- Analiza została przeprowadzona w cenach stałych i nie uwzględnia wpływu inflacji.
- Analizę sporządzono w cenach netto (bez podatku VAT).
- Analiza została przeprowadzona w oparciu o model różnicowy.
- Prognoza finansowa została przeprowadzona w okresach rocznych.
- Pierwsze nakłady inwestycyjne w analizie zostaną podjęte w 2022 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2023 roku.
- Wartość rezydualna inwestycji została skalkulowana jako wartość środków trwałych po odpisach amortyzacyjnych w ostatnim roku analizy.
- Wartości kosztów operacyjnych oparto o dane historyczne lub na podstawie metody eksperckiej.
- Założono, że projekt wymiany taboru nie generuje dochodów oprócz wartości rezydualnej.
- Wymiana taboru nie spowoduje wzrostu wielkości popytu (tj. liczby pasażerów) oraz wozokilometrów – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej. W 2019 r. z usług komunikacji miejskiej w Płocku skorzystało 18,380 mln pasażerów.
- Autobusy elektryczne akumulatorowe typu MAXI przystosowane do szybkiego ładowania z ładowarek pantografowych realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 37% do poziomu ok. 73 tys. wzkm rocznie, kosztem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów,
- Autobusy z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI będą realizować zwiększoną pracę eksploatacyjną o 61% do poziomu ok. 90 tys. wzkm rocznie, zastępując pracę eksploatacyjną autobusów spalinowych typu MAXI z normą spalania EURO 6.

5.2 Nakłady inwestycyjne

Koszty inwestycyjne zostały oszacowane w oparciu o analizę rynku oraz wiedzę ekspercką osób przeprowadzających analizę. Wszystkie nakłady inwestycyjne zostały podane w kwotach netto. Założono, że lata inwestycji będą zbieżne z okresami przejściowymi w ustawie o 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 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	25 300 000 zł
Budowa 6 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2022	1 350 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Winiary	2022	1 550 000 zł
Przystosowanie zajezdni	2022	1 000 000 zł
Zakup 12 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	27 600 000 zł
Budowa 6 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2024	1 350 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Podolszyce i zajezdnia KM (Kostrogaj)	2024	950 000 zł
Zakup 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	25 300 000 zł
Budowa 5 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania	2027	1 125 000 zł
Budowa 2 ładowarek pantografowych z awaryjnym wyjściem plug-in razem z budową infrastruktury energetycznej – pętla Podolszyce	2027	1 900 000 zł
	Suma:	87 425 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2

Wariant W2		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	29 700 000 zł
Budowa 6 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania oraz 2 ładowarek terenowych wolnego ładowania	2022	2 150 000 zł
Przystosowanie zajezdni	2022	1 000 000 zł
Zakup 12 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	32 400 000 zł
Budowa 6 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania oraz 2 ładowarek terenowych wolnego ładowania	2024	2 150 000 zł
Zakup 11 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	29 700 000 zł
Budowa 5 ładowarek dwustanowiskowych wolnego ładowania oraz 1 ładowarki terenowej wolnego ładowania	2027	1 350 000 zł
	Suma:	98 450 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3A

Wariant W3A		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 11 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2022	33 809 600 zł
Przystosowanie zajezdni	2022	2 000 000 zł
Zakup 12 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2024	35 039 040 zł
Zakup 11 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2027	33 809 600 zł
	Suma:	101 361 804 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.4 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3B

Wariant W3B		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 11 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2022	33 809 600 zł
Przystosowanie zajezdni	2022	2 000 000 zł
Budowa stacji tankowania wodoru	2022	11 460 000 zł
Zakup 12 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2024	35 039 040 zł
Zakup 11 autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi typu MAXI o dł. 12 m	2027	33 809 600 zł
	Suma:	112 821 804,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.5 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

Stopień elektryfikacji linii			
LINIE	2023 r.	2025 r.	2028 r.
0	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
2	CZĘŚCIOWA	CZĘŚCIOWA	PEŁNA
7	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
10	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
14	BRAK	BRAK	PEŁNA
20	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
22	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
24	BRAK	BRAK	PEŁNA
26	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

5.3 Wartość nakładów odtworzeniowych

W obu wariantach inwestycyjnych założono ponoszenie nakładów o charakterze odtworzeniowym, które mają na celu utrzymanie poziomu świadczonych usług. Założono, że nakłady te będą ponoszone po 15 latach użytkowania pojazdu o napędzie zeroemisyjnym. W przypadku obecnie posiadanych pojazdów o napędzie

konwencjonalnym okres eksploatacji wynosić będzie nie mniej niż 15 lat, przy czym po każdej ich kolejnej wymianie okres żywotności wynosić będzie 10 lat. Dla każdego autobusu z napędem konwencjonalnym wyprodukowanego po 2021 r. pierwsze nakłady odtworzeniowe zostaną poniesione po 10 latach 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. 5.7 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych we wszystkich analizowanych wariantach.

Tab. 5.6 Okres eksploatacji środków trwałych

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.7 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 – W3A	Wartość nakładów odtworzeniowych – W3B
2021	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł
2022	7 350 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
2023	13 850 000,00 zł	9 650 000,00 zł	9 650 000,00 zł	9 650 000,00 zł	9 650 000,00 zł
2024	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł
2025	4 200 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
2026	2 100 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
2027	6 600 000,00 zł	1 350 000,00 zł	1 350 000,00 zł	1 350 000,00 zł	1 350 000,00 zł
2028	2 100 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł
2029	18 300 000,00 zł	6 750 000,00 zł	6 750 000,00 zł	6 750 000,00 zł	6 750 000,00 zł
2030	12 450 000,00 zł	19 545 000,00 zł	23 505 000,00 zł	20 315 000,00 zł	20 315 000,00 zł
2031	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł
2032	10 500 000,00 zł	10 890 000,00 zł	15 210 000,00 zł	11 730 000,00 zł	11 730 000,00 zł
2033	52 850 000,00 zł	46 900 000,00 zł	46 900 000,00 zł	46 900 000,00 zł	46 900 000,00 zł
2034	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł	2 700 000,00 zł

Rok	Wartość nakładów odtworzeniowych – W0	Wartość nakładów odtworzeniowych – W1	Wartość nakładów odtworzeniowych – W2	Wartość nakładów odtworzeniowych – W3A	Wartość nakładów odtworzeniowych – W3B
2035	20 900 000,00 zł	22 395 000,00 zł	26 355 000,00 zł	23 165 000,00 zł	23 165 000,00 zł
2036	2 100 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
2037	6 600 000,00 zł	26 650 000,00 zł	31 050 000,00 zł	31 863 164,00 zł	31 863 164,00 zł
2038	2 100 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł	1 050 000,00 zł
2039	18 300 000,00 zł	34 350 000,00 zł	39 150 000,00 zł	40 037 088,00 zł	40 037 088,00 zł
2040	12 450 000,00 zł	12 450 000,00 zł	12 450 000,00 zł	12 450 000,00 zł	12 450 000,00 zł
2041	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł	7 200 000,00 zł
2042	10 500 000,00 zł	28 450 000,00 zł	32 850 000,00 zł	33 663 164,00 zł	33 663 164,00 zł
2043	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
SUMA	230 250 000,00 zł	248 480 000,00 zł	274 320 000,00 zł	266 973 416,00 zł	266 973 416,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.8 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3A	Wariant W3B
Zsumowane nakłady odtworzeniowe w latach 2021-2043	230 250 000,00 zł	248 480 000,00 zł	274 320 000,00 zł	266 973 416,00 zł	266 973 416,00 zł
Zmiana do W0		18 230 000,00 zł	44 070 000,00 zł	36 723 416,00 zł	36 723 416,00 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, W3A, W3B) 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. 5.9 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3A Wariant W3B
Koszty zużycia materiałów i części zamiennych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych.	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Założono, że koszt ten jest niższy o 15% dla autobusów elektrycznych oraz z wodorowymi ogniwami paliwowymi względem autobusów spalinowych.
Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt o 30% ze względu, że posiadają mniej płynów eksploatacyjnych niż autobusy o napędzie konwencjonalnym.	Koszty zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm. Dla autobusów 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 KM.	Na podstawie danych KM.	Na podstawie danych KM.	Na podstawie danych KM.
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.	Został oszacowany na podstawie średniej ceny hurtowej netto Orlen SA w latach 2019 i 2020.
Średnie zużycie energii	-	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 122 kWh/ 100 km).	Oszacowano z uwzględnieniem zużycia energii na trakcję, urządzenia HVAC oraz urządzenia pozostałe (tj. autobusy MAXI 122 kWh/ 100 km).	-
Koszty zużycia energii	-	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu	-

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3A Wariant W3B
		jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z Cennika standardowego dla przedsiębiorstw ENERGA, Taryfa ENERGA Operator	jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z Cennika standardowego dla przedsiębiorstw ENERGA, Taryfa ENERGA Operator	
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 stacjach tankowania wodoru w innych krajach (tj. 7,50 €/ 1 kg)
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.
Koszty napraw	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.	Koszty napraw wyliczono na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na wzkm.. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym.
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury energetycznej – 10%, dla stacji ładowania – 10%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów– 20%, dla infrastruktury tankowania 18%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr 243/XIII/2015 Rady Miasta Płocka	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr 243/XIII/2015 Rady Miasta Płocka	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr 243/XIII/2015 Rady Miasta Płocka	Na podstawie kwoty określonej w Uchwale Nr 243/XIII/2015 Rady Miasta Płocka

Koszty	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3A Wariant W3B
	z dnia 24 listopada 2015 r. zmieniającej uchwałę Nr 221/XVI/07 Rady Miasta Płocka z dnia 27 listopada 2007 roku w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych ze zm.	z dnia 24 listopada 2015 r. zmieniającej uchwałę Nr 221/XVI/07 Rady Miasta Płocka z dnia 27 listopada 2007 roku w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych ze zm.	z dnia 24 listopada 2015 r. zmieniającej uchwałę Nr 221/XVI/07 Rady Miasta Płocka z dnia 27 listopada 2007 roku w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych ze zm.	z dnia 24 listopada 2015 r. zmieniającej uchwałę Nr 221/XVI/07 Rady Miasta Płocka z dnia 27 listopada 2007 roku w sprawie określenia wysokości stawek podatku od środków transportowych ze zm.
Ubezpieczenia	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.	Koszty ubezpieczenia oszacowano na podstawie danych KM z 2019 i 2020 r. wyrażonych w zł na pojazd.
Koszty wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Założono, że koszty 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 35 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

5.5 Wartość rezydualna

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

Tab. 5.10 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych

Wyszczególnienie	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3A	Wariant W3B
Wartość rezydualna w zł	38 930 000,00 zł	43 410 000,00 zł	47 117 948,80 zł	47 117 948,80 zł
Umorzenie środków trwałych w zł	272 895 000,00 zł	293 740 000,00 zł	294 907 271,20 zł	306 367 271,20 zł
Wartość netto środków trwałych w zł	311 825 000,00 zł	337 150 000,00 zł	342 025 220,00 zł	353 485 220,00 zł

Źródło: Opracowanie własne

5.6 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru

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

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,

- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

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

Tab. 5.11 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych

Kategoria	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3A	Wariant W3B
FNPV/C	- 39 949 979,38 zł	- 60 867 879,15 zł	- 129 330 186,69 zł	- 140 349 417,46 zł
FRR/C	-6%	-10%	-25%	-25%

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

znaczniej wzrasta z uwagi na konieczność wymiany akumulatorów po 7. roku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych.

Wielkość kosztów operacyjnych w wariantach W1 i W2 będzie niższa dzięki oszczędnościom wynikającym z obniżonych kosztów części zamiennych oraz przede wszystkim z tytułu niższych kosztów zużycia energii elektrycznej w porównaniu do kosztów zużycia oleju napędowego w autobusach spalinowych.

Obliczono także lukę finansową jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik dla całego okresu analizy przy docelowym udziale

autobusów zeroemisyjnych w rozumieniu uepa wyniósł 55% w przypadku wariantu W1.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, wywołując silne i przewlekłe choroby nawet ze skutkiem śmiertelnym. Emisja cząstek stałych PM_{2,5}, PM₁₀ prowadzi do³⁷:

- 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

³⁷ Update of the Handbook on External Costs of Transport, RICARDO-AEA, 2014.

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

Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

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

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

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

Z kolejnej tabeli można wywnioskować, iż w wariantach W1 i W2 redukcja emisji dotknie tlenki azotu NO_x (o 61,61) oraz metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 26,35 Mg). Widoczny jest wyraźny wzrost emisji dwutlenku węgla (o 87,3 Mg), gdyż jest on substancją emitowaną podczas produkcji energii elektrycznej. Jest to spowodowane faktem, iż polski sektor energetyki oparty jest na spalaniu węgla, co przekłada się na bardzo niekorzystne

wskaźniki dla pojazdów napędzanych energią elektryczną.

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

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi w wariantach W3A i W3B zaowocuje redukcją emisji wszystkich obecnie emitowanych w komunikacji miejskiej szkodliwych substancji, tj.:

- tlenki azotu NO_x o 107,72 Mg,
- pyły zawieszone PM 2,5 o 2,21 Mg,
- metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC o 30,21 Mg,
- oraz dwutlenek węgla CO₂ o 49 951,96 Mg.

Tab. 6.1 Emisja spalin w dolnej warstwie atmosfery w analizowanych wariantach [w Mg]

Rok	W0	W1	W2	W3A W3B	W0	W1	W2	W3A W3B	W0	W1	W2	W3A W3B	W0	W1	W2	W3A W3B	W0	W1	W2	W3A W3B
	SO2				NOx				PM 2,5/ PM				NHMC/NMVOC				CO2			
2021	-	-	-	-	58,02	58,02	58,02	58,02	0,97	0,97	0,97	0,97	9,87	9,87	9,87	9,87	5 855,98	5 855,98	5 855,98	5 855,98
2022	-	-	-	-	49,95	49,95	49,95	49,95	0,80	0,80	0,80	0,80	8,73	8,73	8,73	8,73	5 838,50	5 838,50	5 838,50	5 838,50
2023	-	0,53	0,53	-	41,52	36,99	36,99	36,19	0,63	0,55	0,55	0,52	7,57	6,73	6,73	6,66	5 796,59	5 777,12	5 777,12	4 910,30
2024	-	0,53	0,53	-	30,72	30,12	30,12	29,32	0,42	0,42	0,42	0,38	6,32	5,93	5,93	5,86	5 840,72	5 848,19	5 848,19	4 981,37
2025	-	1,10	1,10	-	28,15	19,74	19,74	18,07	0,37	0,34	0,34	0,27	6,01	4,36	4,36	4,22	5 816,29	5 764,23	5 764,23	3 951,79
2026	-	1,10	1,10	-	25,57	19,74	19,74	18,07	0,36	0,34	0,34	0,27	5,73	4,36	4,36	4,22	5 795,04	5 764,23	5 764,23	3 951,79
2027	-	1,10	1,10	-	24,28	19,74	19,74	18,07	0,35	0,34	0,34	0,27	5,59	4,36	4,36	4,22	5 784,41	5 764,23	5 764,23	3 951,79
2028	-	1,63	1,63	-	20,95	14,89	14,89	12,42	0,34	0,31	0,31	0,21	5,16	3,09	3,09	2,88	5 751,33	5 687,07	5 687,07	3 007,80
2029	-	1,63	1,63	-	20,25	14,54	14,54	12,07	0,34	0,31	0,31	0,20	5,01	3,01	3,01	2,81	5 736,77	5 679,79	5 679,79	3 000,52
2030	-	1,63	1,63	-	14,40	12,55	12,55	10,08	0,30	0,30	0,30	0,19	3,80	2,60	2,60	2,39	5 633,94	5 657,05	5 657,05	2 977,79
2031	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2032	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2033	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2034	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2035	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2036	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2037	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2038	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2039	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2040	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2041	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2042	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
2043	-	1,63	1,63	-	11,85	10,00	10,00	7,53	0,28	0,28	0,28	0,17	3,27	2,07	2,07	1,86	5 588,44	5 611,55	5 611,55	2 932,29
Suma	0,00	30,38	30,38	0,00	467,89	406,28	406,28	360,17	8,54	8,35	8,35	6,33	106,26	79,91	79,91	76,06	130499,30	130586,61	130586,61	80547,35
Zmiana do W0		30,38	30,38	0,00		-61,61	-61,61	-107,72		-0,19	-0,19	-2,21		-26,35	-26,35	-30,21		87,30	87,30	-49951,96

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

Jednym z istotnych aspektów realizacji inwestycji polegających na zakupie taboru autobusowego jest obniżenie emisji zanieczyszczeń w niższych warstwach atmosfery poprzez wykorzystanie jak największej liczby pojazdów niskoemisyjnych bądź zeroemisyjnych. W poniższej tabeli przedstawiono zsumowaną emisję szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych dla całego okresu objętego analizą, zarówno w wariantcie bezinwestycyjnym W0, jak i we wszystkich inwestycyjnych, tj. W1, W2, W3A i W3B.

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z wartościami opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego³⁸. Zakładają one uwzględnienie:

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

w Polsce, wytwarzanej głównie przez elektrownie ciepłownicze, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,

- w wariantcie W0 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla szkodliwych substancji emitowanych do niższych warstw atmosfery (NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5),
- w wariantach W1 i W2 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (SO₂, NO_x, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej.

Wskaźniki emisyjności CO₂ wskazane w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach pochodzących z opracowania EIB Carbon Footprint z 2012 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźnik emisyjności CO₂ w Polsce obniżył się w latach 2016 - 2019 o 7,9%, w związku z czym na potrzeby niniejszego opracowania uwzględniono wartość 719 kg/MWh emisji przy

³⁸ Źródło:

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

produkcji energii elektrycznej (wskazaną jako wartość rzeczywistą w 2019 r.).

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów elektrycznych bazują na wskaźnikach opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA z 2014 r. Zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI (...) za 2019 rok, wskaźniki emisyjności NO_x, PM_{2,5} w Polsce obniżyły się w latach 2016 – 2019 odpowiednio

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

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

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

Związek chemiczny	W0	W1	W2	W3A	W3B
	Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych				
SO ₂	0,00 zł	3 481 387,25 zł	3 481 387,25 zł	- zł	- zł
Zmiana do W0		3 481 387,25 zł	3 481 387,25 zł	- zł	- zł
NO _x	42 291 905,64 zł	37 634 221,32 zł	37 634 221,32 zł	33 473 488,38 zł	33 473 488,38 zł
Zmiana do W0		- 4 657 684,32 zł	- 4 657 684,32 zł	- 8 818 417,26 zł	- 8 818 417,26 zł
PM 2,5	13 459 581,89 zł	10 907 574,18 zł	10 907 574,18 zł	9 968 261,93 zł	9 968 261,93 zł
Zmiana do W0		- 2 552 007,71 zł	- 2 552 007,71 zł	- 3 491 319,96 zł	- 3 491 319,96 zł
NHMC/NMVOC	1 234 105,05 zł	953 687,07 zł	953 687,07 zł	901 455,72 zł	901 455,72 zł
Zmiana do W0		- 280 417,97 zł	- 280 417,97 zł	- 332 649,32 zł	- 332 649,32 zł
CO ₂	30 760 313,80 zł	30 795 187,78 zł	30 795 187,78 zł	18 414 393,74 zł	18 414 393,74 zł
Zmiana do W0		34 873,98 zł	34 873,98 zł	- 12 345 920,07 zł	- 12 345 920,07 zł
SUMA	87 745 906,38 zł	83 772 057,61 zł	83 772 057,61 zł	62 757 599,77 zł	62 757 599,77 zł
Zmiana do W0		- 3 973 848,78 zł	- 3 973 848,78 zł	- 24 988 306,61 zł	- 24 988 306,61 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 W1i W2 ok. 4,7 oraz 2,5 mln zł. Koszty emisji metanowych lotnych związków organicznych w wariantach W1 i W2 spadną o ok. 0,3 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji wzrosną o ok. 30 tys. zł, z uwagi na emisję tego związku do górnych warstw atmosfery w wyniku produkcji energii elektrycznej opartej na spalaniu węgla. Największy przyrost kosztów w wyniku realizacji wariantów W1 i W2 cechuje emisję tlenków siarki, mającą miejsce wyłącznie przy

użytkowaniu autobusów elektrycznych akumulatorowych i wynosi on ok. 3,5 mln zł w wariacie W1 i W2.

Znacznie korzystniej prezentują się efekty płynące z monetyzacji kosztów emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w wariantach inwestycyjnych W3A i W3B, które przewidują eksploatację autobusów z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Redukcja wszystkich analizowanych związków przełoży się na zmniejszenie kosztów zewnętrznych emisji tlenków azotu NO_x o ok. 8,8 mln zł, pyłów zawieszonych PM 2,5 o ok. 3,5 mln zł, metanowych lotnych związków organicznych o ok. 0,3 mln zł, a dwutlenku węgla o ok. 12,3 mln zł.

Podsumowując:

- realizacja wariantu W1 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 4,0 mln zł,
- realizacja wariantu W2 spowoduje spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych

substancji i gazów cieplarnianych o ponad 4,0 mln zł,

- realizacja wariantów W3A i W3B przełoży się na spadek kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych związków chemicznych o ok. 25,0 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, zwiększając ciśnienie krwi, być źródłem powstawania stresu. Dla obliczenia kosztów emitowanego hałasu przez autobusy elektryczne oraz spalinowe założono zindeksowaną jednostkową cenę za hałas typowy dla autobusów, wskazaną w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT.



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

Źródło: Zbiory własne

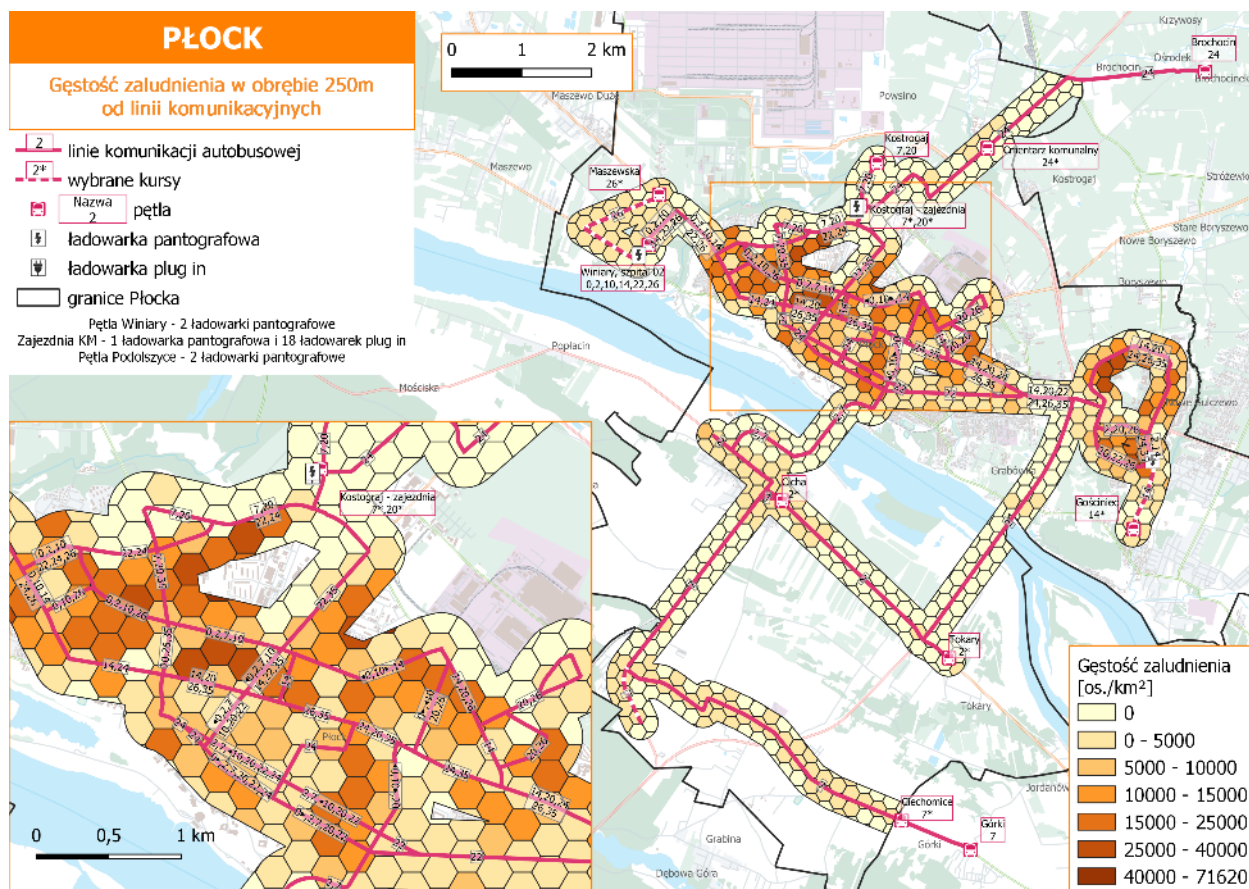
Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

- krańcowe koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA 2014),
- indeksację kosztów krańcowych w czasie,
- średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów,
- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych³⁹,
- średnią gęstość zaludnienia typowego obszaru miejskiego, zgodnie z założeniami wskazanymi w Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA, 2014),
- gęstość zaludnienia na podstawowych trasach linii objętych całkowitą elektryfikacją (3622,1 os./km²), przez co relacja gęstości zaludnienia przy całościowo elektryfikowanych liniach do średniej gęstości zaludnienia obszaru miejskiego (3000 os./km²) wynosi 1,207.

Rys. 7.2 przedstawia gęstość zaludnienia w obrębie 250 metrów od linii obsługiwanych przez autobusy elektryczne akumulatorowe,

³⁹ Quieter buses socioeconomic effects”, Koucky & Partners A.B, 2014.

który jest zamieszkały przez 90 003 mieszkańców.



Rys. 7.2 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.

Źródło: Opracowanie własne

Korzyści zewnętrzne wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu po wprowadzeniu do eksploatacji autobusów elektrycznych zostały zmnożone o wskaźnik relacji gęstości zaludnienia obszarów wzdłuż całościowo

elektryfikowanych linii do gęstości zaludnienia typowego obszaru miejskiego, wynoszący 1,207.

Poniższa tabela przedstawia zmonetyzowane korzyści zewnętrzne w wyniku redukcji hałasu w latach 2021-2043.

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

Rok	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W0	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W1	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W2	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W3A	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W3B
2021	2 110 015,04 zł	2 110 015,04 zł	2 110 015,04 zł	2 110 015,04 zł	2 110 015,04 zł
2022	2 170 756,37 zł	2 170 756,37 zł	2 170 756,37 zł	2 170 756,37 zł	2 170 756,37 zł
2023	2 291 369,30 zł	2 189 507,23 zł	2 189 507,23 zł	2 183 120,10 zł	2 183 120,10 zł
2024	2 350 617,35 zł	2 246 121,42 zł	2 246 121,42 zł	2 239 569,15 zł	2 239 569,15 zł
2025	2 486 145,95 zł	2 261 972,53 zł	2 261 972,53 zł	2 247 916,04 zł	2 247 916,04 zł
2026	2 553 164,48 zł	2 322 948,07 zł	2 322 948,07 zł	2 308 512,66 zł	2 308 512,66 zł
2027	2 622 373,87 zł	2 385 916,91 zł	2 385 916,91 zł	2 371 090,20 zł	2 371 090,20 zł
2028	2 765 587,40 zł	2 406 795,32 zł	2 406 795,32 zł	2 384 297,75 zł	2 384 297,75 zł
2029	2 834 714,04 zł	2 466 953,85 zł	2 466 953,85 zł	2 443 893,95 zł	2 443 893,95 zł
2030	2 905 968,60 zł	2 528 964,24 zł	2 528 964,24 zł	2 505 324,69 zł	2 505 324,69 zł

Rok	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W0	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W1	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W2	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W3A	Zmonetyzowany hałas emitowany w wariantcie W3B
2031	2 977 142,11 zł	2 590 904,08 zł	2 590 904,08 zł	2 566 685,56 zł	2 566 685,56 zł
2032	3 048 111,46 zł	2 652 666,27 zł	2 652 666,27 zł	2 627 870,42 zł	2 627 870,42 zł
2033	3 118 745,01 zł	2 714 136,21 zł	2 714 136,21 zł	2 688 765,77 zł	2 688 765,77 zł
2034	3 188 901,10 zł	2 775 190,63 zł	2 775 190,63 zł	2 749 249,48 zł	2 749 249,48 zł
2035	3 258 422,73 zł	2 835 692,91 zł	2 835 692,91 zł	2 809 186,21 zł	2 809 186,21 zł
2036	3 327 196,15 zł	2 895 544,04 zł	2 895 544,04 zł	2 868 477,89 zł	2 868 477,89 zł
2037	3 397 739,13 zł	2 956 935,16 zł	2 956 935,16 zł	2 929 295,15 zł	2 929 295,15 zł
2038	3 467 330,04 zł	3 017 497,73 zł	3 017 497,73 zł	2 989 291,61 zł	2 989 291,61 zł
2039	3 535 802,45 zł	3 077 086,91 zł	3 077 086,91 zł	3 048 323,78 zł	3 048 323,78 zł
2040	3 605 852,83 zł	3 138 049,34 zł	3 138 049,34 zł	3 108 716,36 zł	3 108 716,36 zł
2041	3 677 469,45 zł	3 200 374,81 zł	3 200 374,81 zł	3 170 459,25 zł	3 170 459,25 zł
2042	3 747 732,97 zł	3 261 522,73 zł	3 261 522,73 zł	3 231 035,59 zł	3 231 035,59 zł
2043	3 816 481,38 zł	3 321 352,10 zł	3 321 352,10 zł	3 290 305,70 zł	3 290 305,70 zł
SUMA	69 257 639,20 zł	61 526 903,91 zł	61 526 903,91 zł	61 042 158,71 zł	61 042 158,71 zł
Zmiana kosztów zewnętrznych emisji hałasu w latach 2021 – 2043		- 7 730 735,29 zł	- 7 730 735,29 zł	- 8 215 480,49 zł	- 8 215 480,49 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że elektryfikacja płockiej 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 wariantach W3A i W3B z autobusami wodorowymi w wysokości ok. 8,2 mln zł w całym okresie objętym analizą, zaś w przypadku autobusów elektrycznych

akumulatorowych na poziomie ok. 7,7 mln zł w wariantach W1 i W2.

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

7.3 Inne korzyści zewnętrzne

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

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

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

Wyszczególnienie	Wariant W0	Wariant W1	Wariant W2	Wariant W3A	Wariant W3B
Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w latach 2021-2043	87 745 906,38 zł	66 430 872,69 zł	70 404 721,47 zł	62 757 599,77 zł	62 757 599,77 zł
Zmiana do W0		-21 315 033,69 zł	-17 341 184,91 zł	-24 988 306,61 zł	-24 988 306,61 zł

Źródło: Opracowanie własne

7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

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

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

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

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

Wykorzystano także, współczynniki korekty w analizie ekonomicznej, które zaprezentowano w Tab. 7.4.

Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

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

Źródło: Opracowanie własne

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 upea 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 Płocku nie jest

wymagane. Niemniej jednak, uwzględniając potencjalne korzyści finansowe, ekonomiczne i społeczne dla mieszkańców Płocka i ościennych gmin, planowane jest przeprowadzenie modernizacji floty KM Płock 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 zeroemisyjnych będą przeprowadzane odrębne analizy kosztów i korzyści, które będą wskazywały na zasadność i słuszność inwestycji w zakresach rzeczowych innych aniżeli analizowany w niniejszym dokumencie cały system komunikacji miejskiej zakładający wprowadzenie do eksploatacji 34 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. 1 820 000 PLN netto.

Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	W1	W2	W3A	W3B
ENPV	- 16 903 399,18 zł	- 37 069 458,88 zł	- 69 287 744,44 zł	- 78 389 945,40 zł
ERR (%)	-0,3%	-5,1%	-13,8%	-14,0%
B/C	0,65	0,45	0,41	0,38

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 płockiej 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		- 16 903 399,18 zł		-0,3%		0,65	
	25%	- 33 295 348,56 zł	96,97%	-2,81%	953%	0,49	-25%

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
Nakłady inwestycyjne	15%	- 26 738 568,81 zł	58,18%	-2%	622%	0,54	51%
	-15%	- 7 068 229,55 zł	-58,18%	2,06%	-871%	0,82	75%
	-25%	-511 449,80 zł	-96,97%	4,29%	-1708%	0,98	89%
Koszty operacyjne	25%	- 13 697 068,00 zł	-18,97%	0,67%	-351%	0,70	64%
	15%	- 14 979 600,47 zł	-11,38%	0,30%	-211%	0,68	63%
	-15%	- 18 827 197,88 zł	11,38%	-0,84%	213%	0,63	58%
	-25%	- 20 109 730,35 zł	18,97%	-1,22%	356%	0,61	57%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		- 24 814 770,10 zł	46,80%	-1,43%	437%	0,56	52%

Źródło: Opracowanie własne

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

wartości progowe dla ENPV. Wdrożenie autobusów elektrycznych akumulatorowych dostosowanych do szybkiego ładowania pantografowego będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 25,79%.

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%)	- 17 559 077,15 zł	3,88%	-25,79%
Koszty operacyjne (+1%)	- 16 775 145,93 zł	-0,76%	-

Źródło: Opracowanie własne

8 Analiza ryzyka

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

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

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka

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

Legenda:

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne

9 Rekomendacje dotyczące strategii wymiany taboru

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

- jednolite barwy miejskie,
- niską podłogę (bez progów poprzecznych wewnątrz – nie dotyczy autobusów klasy MIDI),
- klimatyzację przestrzeni pasażerskiej,
- platformę ułatwiającą wjazd osobom niepełnosprawnym na wózkach inwalidzkich,
- system przykłąku prawej strony pojazdu podczas otwarcia drzwi na przystanku,
- automaty biletowe,
- system elektronicznej informacji pasażerskiej, lokalizujący także pojazd na tablicach przystankowej informacji dynamicznej,
- tablice elektroniczne pokazujące kierunek i trasę jazdy – wewnętrzne i zewnętrzne,
- głosowe zapowiedzi przystanków,
- monitoring przestrzeni pasażerskiej z rejestracją obrazu.

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.

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

Gmina – Miasto Płock 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 Płocku.

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

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

Na podstawie art. 9 ustawy o publicznym transporcie zbiorowym gminy, którym powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia międzygminnego, których obszar liczy łącznie co najmniej 80 000 mieszkańców mają obowiązek sporządzenia planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 r. w sprawie szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego (Dz. U. z 2011 nr 117 poz. 684) w paragrafie 4 określa szczegółowo zawartość planu transportowego. Wymagania

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

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

Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym

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

Zakres	Konieczność aktualizacji
węzłów przesiadkowych	Nie wymaga aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	Dotyczy rozdziału 10.: <i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Płocku, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne: Całościowo elektryfikowane linie: 0, 2, 7, 10, 14, 20, 22, 24, 26 Częściowo elektryfikowane linie: 31, 35, Uzupełniająco elektryfikowane linie: 3, 19, 32, 33, 60, 61, 62, 103, 104, 105, 140 Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i>
geograficzne położenie stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zwanej dalej „infrastrukturą ładowania”	<p><i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>na terenie zajezdni Komunikacji Miejskiej – Płock (17 szt. ładowarek dwustanowiskowych typu plug-in lub 34 szt. ładowarek jedno stanowiskowe typu plug-in oraz 1 szt. ładowarki pantografowej),</i> ■ <i>przy pętli autobusowej Winiary- Szpital (2 szt. ładowarek pantografowych),</i> ■ <i>przy pętli autobusowej Podolszyce (2 szt. ładowarek pantografowych).</i>
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	<i>Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalone z dostawcą energii.</i>
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

11 Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

Wskaźnik luki finansowej w wariantcie W1 wyniósł 55%, co oznacza, że niezbędne jest uzyskanie dofinansowania zewnętrznego przy inwestycjach polegających na zakupie autobusów zeroemisyjnych.

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

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

Do 2029 r. środki na zakup autobusów zeroemisyjnych mogą pochodzić także ze

środków krajowych w ramach wieloletniego zobowiązania Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, które zastąpiło zlikwidowany 30.09.2020 r.⁴⁰ 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 FRPA⁴¹).

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

⁴⁰ 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)

⁴¹ Art. 401 ust. 9c pkt 1-12 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2020 r., poz. 1219 z późn. zm.)

Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2020	14
Tab. 3.2 Przebieg stałych tras linii komunikacji miejskiej w Płocku stan na dzień 05.08.2021 r.	14
Tab. 3.3 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na 01.08.2021 r.)	20
Tab. 3.4 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów (stan na 01.08.2021 r.).....	21
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów (stan na dzień 1.08.2021 r.)	21
Tab. 3.6 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 r.	22
Tab. 3.7 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 r.	22
Tab. 3.8 Symulacja struktury pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 r.	22
Tab. 3.9 Średnioroczna emisja gazów i substancji szkodliwych we wszystkich pojazdach eksploataowanych przez operatora (stan na dzień 05.08.2021 r.).....	23
Tab. 3.10 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień powszedni szkolny.....	24
Tab. 3.11 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów (dane dla dnia powszedniego szkolnego).....	25
Tab. 3.12 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień powszedni szkolny	25
Tab. 4.1 Wybrane przykłady sieci komunikacyjnych w Europie, w których eksploatowane są autobusy o napędzie wodorowym.....	29
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	30
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	32
Tab. 4.4 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym (koszt budowy stacji tankowania po stronie KM Płock)	34
Tab. 4.5 Koszty netto wprowadzenia do ruchu autobusów o napędzie wodorowym (koszt budowy stacji tankowania po stronie dostawcy wodoru)	34
Tab. 4.6 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	36
Tab. 4.7 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in (dla 2028 r.)	37
Tab. 4.8 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	38
Tab. 4.9 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	40
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	41
Tab. 4.11 Koszty netto zakupu trolejbusów.....	44
Tab. 4.12 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów.....	44
Tab. 4.13 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym	45
Tab. 4.14 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w komunikacji miejskiej w Płocku.	48
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W1	50
Tab. 5.2 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W2.....	50
Tab. 5.3 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3A	51
Tab. 5.4 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w wariantcie W3B	51
Tab. 5.5 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych.....	51

Tab. 5.6 Okres eksploatacji środków trwałych.....	52
Tab. 5.7 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach objętych analizą	52
Tab. 5.8 Skumulowana wartość nakładów odtworzeniowych w analizowanych wariantach	53
Tab. 5.9 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	54
Tab. 5.10 Wartość rezydualna wariantów inwestycyjnych.....	57
Tab. 5.11 Efektywność finansowa wariantów inwestycyjnych.....	57
Tab. 6.1 Emisja spalin w dolnej warstwie atmosfery w analizowanych wariantach [w Mg].....	61
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2021-2043	63
Tab. 7.2 Monetyzacja emisji hałasu na przestrzeni lat 2021-2043.....	65
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery na przestrzeni lat 2021-2043.....	67
Tab. 7.4 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej.....	67
Tab. 7.5 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	68
Tab. 7.6 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy.....	68
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości	69
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki.....	70
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa	73
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt.....	73
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka	73
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	74
Tab. 10.1 Zakres wymagań dotyczących pojazdów zeroemisyjnych w planie transportowym	77

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	5
Rys. 1.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MEGA18 w Bern	6
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego	8
Rys. 2.2 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	10
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Świdnicy.....	10
Rys. 2.4 Autobus elektryczny z wodorowymi ogniwami paliwowymi	11
Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2020.....	14
Rys. 3.2 Karsan Atak w barwach KM Płock.....	20
Rys. 4.1 Struktura i podzespoły autobusu elektrycznego z wodorowym ogniwem paliwowym	28
Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy typu MAXI w Jaworznie podczas szybkiego ładowania	36
Rys. 4.3 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Zielonej Górze.....	38
Rys. 4.4 Ładowanie autobusu elektrycznego akumulatorowego z ładowarki pantografowej w Warszawie	39
Rys. 4.5 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek.....	40
Rys. 4.6 Trolejbus typu MAXI w Tychach	41
Rys. 4.7 Trolejbus typu MEGA18 w Ústí nad Labem.....	43
Rys. 4.8 Trolejbus typu MAXI w Pireusie	43
Rys. 4.9 Schemat koncepcji sieci trolejbusowej	45
Rys. 4.10 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK	46
Rys. 7.1 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Rzeszowie	64
Rys. 7.2 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.....	65