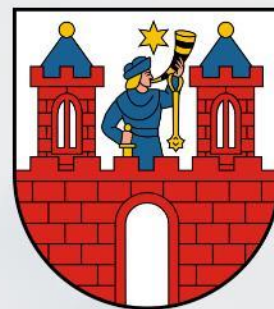


Analiza kosztów i korzyści wykorzystania pojazdów zeroemisyjnych w komunikacji miejskiej na terenie Kalisza



i gmin, z którymi miasto Kalisz podpisało porozumienia
dot. realizacji zadania publicznego polegającego
na świadczeniu usług transportu zbiorowego

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





Dokument przygotowany przez:

TRAKO PROJEKTY TRANSPORTOWE

Szamborski i Szelukowski S.J. ©

ul. Jaracza 71/9, 50-305 Wrocław,

e-mail: poczta@trako.com.pl

www.trako.com.pl

Spis treści

1	Cel analizy	6
1.1	Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć	7
2	Uwarunkowania techniczne i prawne	8
2.1	Uwarunkowania prawne.....	8
2.2	Uwarunkowania techniczne	9
3	Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej	12
3.1	Charakterystyka sieci komunikacyjnej	12
3.1.1	Założenia i wymagania płynące z obowiązujących umów o świadczenie usług przewozowych	12
3.1.2	Obecny układ sieci.....	13
3.1.3	Koszty eksploatacyjne	19
3.1.4	Ocena zapewnienia trwałości instytucjonalnej funkcjonowania analizowanego systemu komunikacji miejskiej w okresie analizy	20
3.2	Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej	20
3.2.1	Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane	20
3.2.2	Normy emisji spalin.....	22
3.2.3	Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru	23
3.2.4	Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym	26
3.3	Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych	28
3.3.1	Wskaźnik wykorzystania taboru	30
3.3.2	Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych..	30
3.3.3	Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady	32
3.3.4	Analiza rozkładów jazdy.....	32
4	Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych...	35
4.1	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym	35
4.1.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym	36
4.1.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	37
4.1.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów.....	38
4.2	Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	39
4.2.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym	39

4.2.2	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	41
4.2.3	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in.....	41
4.2.4	Koszty inwestycyjne w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i za pomocą pantografu.....	42
4.2.5	Możliwość wprowadzenia pojazdów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów ładowarkami plug-in i pantografowymi	42
4.3	Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów	45
4.3.1	Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów	45
4.3.2	Koszty inwestycyjne zakupu taboru	46
4.3.3	Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową i punktową.....	46
4.3.4	Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Kaliszu	47
4.4	Ocena utrzymania w eksploatacji wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne	49
4.4.1	Możliwość odtwarzania floty wyłącznie o autobus napędzane silnikami wysokoprężnymi	49
4.4.2	Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem CNG i LNG w Kaliszu	49
4.5	Analiza wielokryterialna (MCA) wyboru wariantu wymiany taboru	50
5	Analiza finansowa	54
5.1	Założenia i metodyka analizy finansowej.....	54
5.2	Nakłady inwestycyjne	54
5.3	Wartość nakładów odtworzeniowych.....	56
5.4	Prognoza kosztów operacyjnych wariantów	57
5.5	Wartość rezydualna	58
5.6	Efektywność finansowa projektu zakupu taboru.....	59
5.7	Analiza wrażliwości wskaźników efektywności finansowej	60
6	Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi	61
7	Analiza społeczno–ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji	63
7.1	Wycena kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji emitowanych podczas eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym.....	63
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 z uwzględnieniem różnych napędów autobusów w perspektywie do 2028 roku.....	74
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

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

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

Ponadto opracowanie sporządzono zgodnie z niżej wymienionymi dokumentami:

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

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

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



Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

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

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

1.1 Wykaz stosowanych akronimów, skrótów i pojęć

- AKK – analiza kosztów i korzyści
- BCR, B/C – (benefit cost ratio) wskaźnik korzyści do kosztów
- Brygada – zadanie w rozkładzie jazdy zaplanowane do realizacji przez 1 autobus w ciągu dnia (zamiennie stosowanym określeniem jest kursówka)
- CF – (conversion factor) wskaźnik konwersji
- ENPV – (economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto
- ERR – (economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu
- FNPV – (financial net present value) finansowa wartość bieżąca netto
- FNPV/c – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji
- FRR/c – finansowa stopa zwrotu z inwestycji
- MCA (ang. Multivariate Comparative Analysis) – wielokryterialna analiza porównawcza
- MINI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 6 – 8 metrów
- MIDI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 – 10 metrów
- MAXI – autobus jednoczłonowy o długości ok. 12 metrów
- MEGA – autobus przegubowy o długości ok. 18 metrów
- Postój wyrównawczy – przerwa międzykursowa zaplanowana w rozkładzie jazdy na przystanku krańcowym
- Praca eksploatacyjna – liczba wykonywanych wozokilometrów przez środki transportu
- Prędkość eksploatacyjna – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich i długości przerw międzykursowych
- Prędkość komunikacyjna – przeciętna prędkość z uwzględnieniem czasu postoju na przystankach pośrednich
- uepa – Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 07.02.2018 r., poz. 317)
- W0 – wariant bazowy
- W1 – wariant inwestycyjny
- Wariant podstawowy trasy – wariant trasy danej linii komunikacyjnej, na którym realizowanych jest najwięcej kursów
- Wartość rezydualna – wartość środków trwałych netto uzyskanych na etapie realizacji projektu lub w okresie jego eksploatacji, wynikająca z nakładów inwestycyjnych na realizację projektu oraz nakładów odtworzeniowych, ustalona na koniec ostatniego roku okresu odniesienia przyjętego do analiz
- Wozogodzina – jednostka miary czasu zaangażowania środka transportu w wykonanie zaplanowanego rozkładu jazdy lub harmonogramu
- Wozokilometr liniowy – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach przewozów regularnych, na kursach ogólnodostępnych dla pasażerów, które są prezentowane w rozkładach jazdy
- Wozokilometr techniczny – długość drogi pokonywanej przez środek komunikacji zbiorowej w kilometrach, w ramach kursów dojazdowych z zajezdni do przystanków krańcowych, kursów zjazdowych z przystanków krańcowych do zajezdni
- Wzkm – wozokilometr

2 Uwarunkowania techniczne i prawne

2.1 Uwarunkowania prawne

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

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

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

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



Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego

Źródło: Zbiory własne

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

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

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

³ Ibidem, art. 68 ust. 4.

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

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

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

Gmina Miasto Kalisz z liczbą mieszkańców 101 625⁵, pełniąca funkcję organizatora przewozów o charakterze komunikacji miejskiej, jest ustawowo jednostką samorządu terytorialnego zobowiązaną do sporządzenia analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych.

2.2 Uwarunkowania techniczne

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

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

Niezwłocznie po sporządzeniu dokumentu, powinien on zostać przekazany:

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

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

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

Trolejbusy stanowią jeden z najdłużej eksploatowanych środków transportu

⁴ Ibidem, art. 72.

⁵ Dane według stanu na dzień 31.12.2017 r., źródło: <http://bdl.stat.gov.pl/>, dostęp 14.09.2018 r.

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

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



Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie

Źródło: Zbiory własne

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



Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie

Źródło: Zbiory własne

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

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

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

kroki do ustandaryzowania systemu ładowania, właśnie w ten sposób.



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

Źródło: Zbiory własne

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

Autobusy napędzane wodorem – poruszają się dzięki silnikom elektrycznym zasilanym prądem

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



Rys. 2.5 Autobus na ogniwa wodorowe polskiej konstrukcji

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

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

3 Pogłębiona analiza eksploatacyjna przewozów w komunikacji miejskiej

3.1 Charakterystyka sieci komunikacyjnej

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

Umowa pomiędzy organizatorem a operatorem (Kaliskie Linie Autobusowe sp. z o.o. z siedzibą w Kaliszu zwana KLA sp z o.o.) została zawarta w trybie bezpośrednim dotyczącym podmiotu wewnętrznego gminy i obowiązuje do dnia 8 listopada 2020 roku. Przedmiotem kontraktu jest świadczenie przez operatora na rzecz organizatora usług polegających na zapewnieniu lokalnego transportu zbiorowego mieszkańcom Miasta Kalisz oraz gmin, z którymi zawarto porozumienia. Usługi są świadczone taborem będącym własnością KLA sp. z o.o. jak i Miasta oraz udostępnioną infrastrukturę komunikacyjną Miasta. Według umowy miasto ma obowiązek do:

- organizowania i zarządzania lokalnym transportem zbiorowym,
- zapewnienia operatorowi dostępu do infrastruktury,
- zatwierdzania przebiegu oraz zmian tras (po uzgodnieniu z operatorem) linii komunikacyjnych oraz lokalizacji przystanków,
- kontroli jakości i efektywności świadczonych usług,
- rozpatrywania skarg i wniosków pasażerów dotyczących lokalnego transportu zbiorowego,
- zlecania operatorowi nowych obowiązków związanych ze świadczeniem usług przewozowych, a także ich modyfikacji i likwidacji,

- opracowywania rozkładów jazdy i rozpatrywanie zgłoszonych zmian uzgodnionych z operatorem,
- badania rynku usług w komunikacji zbiorowej autobusowej i potrzeb mieszkańców Miasta Kalisz razem z kształtowaniem struktury układu komunikacyjnego oraz podaży usług przewozowych,
- promowania transportu zbiorowego,
- prowadzenia z pomocą niezależnego audytora, audytów sprawdzających czy wielkość rekompensaty przekazywanych operatorowi została ustalona i wypłacona w sposób prawidłowy.

Organizatorowi przysługuje także prawo do kontroli usług świadczonych przez KLA sp. z o.o. pod względem liczby i jakości (punktualności, czystości, oznakowania pojazdów, typu taboru, wyposażenia pojazdów w informację taryfową i porządkową oraz sprawność kasowników) wykonywanych przewozów oraz przestrzegania warunków umowy. Za wystąpienie uchybień w jakości świadczonych usług, Miasto jest upoważnione do naliczania Operatorowi kar umownych.

W przypadku operatora umowa zobowiązuje go do:

- wykonywania usług przewozu osób i bagażu na liniach autobusowych zgodnie z załącznikiem do umowy,
- utrzymania w należytym stanie technicznym taboru autobusowego oraz jego właściwego

oznakowania (nie pokrywającego się z oznakowaniem innych przewoźników funkcjonujących na terenie świadczonych usług),

- utrzymania w należyтым stanie technicznym rezerwowego taboru autobusowego zapewniającego ciągłość realizowania obowiązków,
- zapewnienia komunikacji zastępczej w przypadku awarii autobusu trwającej dłużej niż 3 godziny,
- utrzymania pogotowia technicznego,
- realizowania przewozów pojazdami estetycznymi i czystymi wewnątrz i na zewnątrz,
- umieszczania w autobusach w uzgodnieniu z Miastem, informacji o obowiązujących przepisach porządkowych oraz komunikatów dla pasażerów,
- emisji, dystrybucji i sprzedaży biletów i innych nośników opłat za przejazdy oraz utrzymania sprawności kasowników znajdujących się w autobusach,
- informowania pasażerów w sposób uzgodniony z Miastem o zasadach funkcjonowania lokalnego transportu zbiorowego oraz warunkach korzystania z usług przewozowych
- powiadamiania Miasta o zaistniałych przeszkodach mogących mieć wpływ na wykonywanie przez operatora obowiązków wynikających z umowy,
- przekazywania Miastu do 15 dnia każdego miesiąca danych za poprzedni miesiąc dotyczących liczby sprzedanych biletów normalnych i ulgowych, liczbę przejazdów

bezpłatnych, liczby skontrolowanych kursów oraz wystawionych i anulowanych mandatów za brak uprawnień przejazdowych,

- przestrzegania rozkładów jazdy zatwierdzonych przez Miasto,
- prowadzenia działań w zakresie wdrażania dynamicznej informacji pasażerskiej,
- przeprowadzania kontroli dokumentów do przejazdów autobusami.

Wymiar usług przewozowych jest ustalony na podstawie aktualnych rozkładów jazdy zatwierdzonych przez organizatora. Operator może wykonywać część usług przewozowych z wykorzystaniem podwykonawców po uzyskaniu pisemnej zgody od organizatora. Zakres podwykonawstwa został określony na poziomie nie większym niż 10%.

Pojazdy eksploatowane przez Operatora, wykorzystywane do świadczenia usług muszą spełniać wymogi zawarte w załączniku nr 5 do umowy, które dotyczą:

- długości pojazdów,
- mocy silnika,
- chłodzenia silnika,
- automatycznej skrzyni biegów,
- liczby drzwi i miejsc siedzących,
- poziomu podłogi, która może wynosić maksymalnie 360 mm od poziomu jezdni i nie posiadać stopni wejściowych w 1 i 2 drzwiach,
- urządzeń sygnalizacyjnych dla pasażerów,
- kasowników elektronicznych,
- podświetlanych tablic,
- kolorystyki zewnętrznej.

3.1.2 Obecny układ sieci

Sieć komunikacji miejskiej w Kaliszu składa się z 25 linii komunikacyjnych, spośród których wyróżnić można linie kursujące po zbliżonych trasach tworzące wiązki, z czego możemy podzielić:

- według kryterium przestrzennego:

- 15 linii miejskich: 1, 2, 3C, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 19, 22,
- 9 linii miejsko – podmiejskich : 1A, 1B, 3A, 3B, 3D, 6, 12K, 15, 19E

- 1 linia podmiejska (więcej niż 50% trasy przebiega poza obszarem miejskim): 17,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju roku:
 - 25 linii całorocznych: 1, 1A, 1B, 2, 3A, 3B, 3C, 3D, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 12K, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 19E, 22,
- według kryterium zakresu funkcjonowania w przekroju tygodnia:
 - 15 linii kursujących codziennie: 1, 1A, 1B, 2, 3A, 3B, 3C, 5, 6, 10, 11, 12, 12K, 16, 19, 19E,
 - 1 linia kursująca od poniedziałku do soboty: 22,
 - 8 linii kursujących od poniedziałku do piątku: 3D, 7, 8, 9, 13, 15, 17, 18,
- według kryterium czasu funkcjonowania w przekroju doby:
 - 19 linii kursujących przez cały dzień lub większą część dnia: 1, 1A, 1B, 2, 3A, 3B, 3C, 3D, 5, 6, 11, 12, 12K, 13, 16, 18, 19, 19E, 22,
- 5 linii okresowych: 7, 8, 9, 15, 17,
 - 1 linia nocna: 10,
- według kryterium znaczenia linii w sieci komunikacyjnej:
 - 1 linia podstawowa: 11
 - 4 wiązki linii o charakterze podstawowym 1+1A+1B, 3A+3B+3C+3D, 12+12K, 18+19,
 - 16 linii uzupełniających: 1, 1A, 2, 3A, 3B, 3C, 3D, 5, 6, 12, 12K, 16, 18, 19, 19E, 22,
 - 7 linii dodatkowych: 1B, 7, 8, 9, 10, 15, 17.

Obszar funkcjonowania komunikacji miejskiej obejmuje teren Gminy Miasto Kalisz, pełniąc funkcję jej organizatora oraz 6 gmin (28 miejscowości), które powierzyły Gminie Miasto Kalisz organizację komunikacji miejskiej na mocy stosownych porozumień międzygminnych, tj. Gołuchów, Godziesze Wielkie, Nowe Skalmierzyce, Opatówek, gmina wiejska Ostrów Wielkopolski, gmina Miasto Ostrów Wielkopolski. W Tab. 3.1 zaprezentowano wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017.

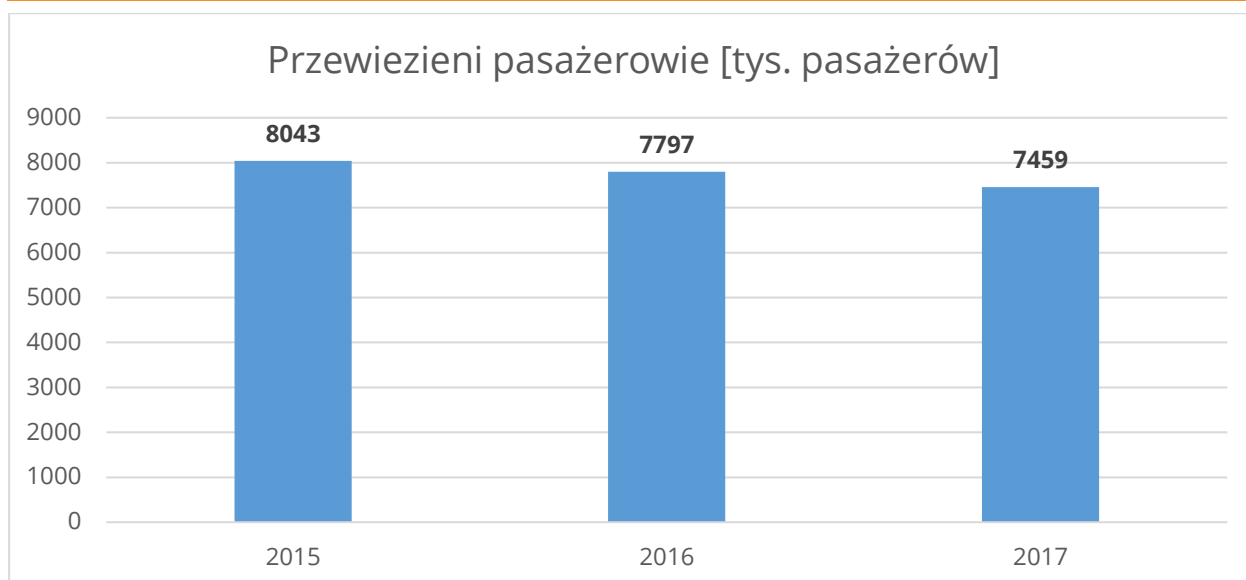
Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017

Rok	Gmina Miasto Kalisz i okoliczne gminy	Dynamika r/r
2015	3181,0	
2016	3205,0	+0,8%
2017	3157,1	-1,5%

Źródło: opracowanie własne na podstawie Biuletynu IGKM „Komunikacja miejska w liczbach” za lata 2015, 2016 oraz Audytu w zakresie weryfikacji rekompensaty za 2017 rok

Na Rys. 3.1 przedstawiono liczbę przewiezionych pasażerów, który wskazuje na 7,3% spadek wielkości popytu na usługi kaliskiej komunikacji miejskiej w latach 2015 – 2017. W Tab. 3.2 przedstawiono trasy oraz długość na liniach obsługiwanych przez KLA sp. z o.o. Najkrótsza linia – 5, ma długość 6,35 km i kursuje pomiędzy pętlą na ul. Wyszyńskiego a końcówką na ul. Puckiej. Najdłuższą linią jest linia podmiejska 19E o długości 29,3 km, która kursuje do Ostrowa

Wielkopolskiego. Jej trasa pokrywa się z przebiegiem linii M, organizowanej przez Gminę Miejską Ostrów Wielkopolski. Należy przy tym zaznaczyć, iż wyjątkową w kontekście długości trasy jest linia 3D z dużą pętlą przez okoliczne względem Kalisza miejscowości takie jak m.in. Chotów, Gostyczyna, Żydów, mająca teoretycznie jednokierunkowy charakter trasy o długości 37,48 km.



Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2017

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

Tab. 3.2 Przebieg tras linii komunikacji miejskiej w Kaliszu- stan na 01.09 2018 r.

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
1	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Warszawska – Łódzka – LEŚNA WINIARY PĘTLA	11,03	miejska	uzupełniająca
1A	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Warszawska – Łódzka – Zduny – Dróżnik – Hellena – OPATÓWEK	16,32	miejsko - podmiejska	uzupełniająca
1B	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Warszawska – Łódzka – Zduny – Tłokinia Kościelna – (wybrane kursy: Rożdżały) – Tłokinia Wielka – Nowa Tłokinia – OPATÓWEK	19,08	miejsko - podmiejska	dodatkowa
2	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Śródmiejska – Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegiarna – Pl. Jana Pawła II – 3 Maja – Nowy Rynek – Chopina – Kościuszki – Kopernika – Harcerska (z powrotem: al. Wojska Polskiego – Majkowska – 3 Maja – Babina – Wodna – Kościuszki – Kopernika) – -Poznańska – KAMPUS PWSZ	11,22	miejska	uzupełniająca
3A	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – Kolegiarna – Sukiennicza – Al. Wolności – Częstochowska – Ks. Jolanty – Pokrzywnicka – Kaliska – SZAŁE PĘTLA	15,13	miejsko - podmiejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
3B	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – Kolegiarna – Sukiennicza – Częstochowska – Al. Wolności – Ks. Jolanty – Starożytna – Wolica Las – Borek – Wolica Szpital – (wybrane kursy: Wolica – CHEŁMCE)	15,46	miejsko - podmiejska	uzupełniająca
3C	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – Kolegiarna – Sukiennicza – Częstochowska – Al. Wolności – Rzymska – Romańska – SULISŁAWICE	14,46	miejska	uzupełniająca
3D	Linia jednokierunkowa WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Chopina – Harcerska – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – Kolegiarna – Sukiennicza – Częstochowska – Rzymska – Chotów – Gostyczyna – Śmiłów – Osiek – Żydów – Murowaniec – Rzymska – Częstochowska – Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegiarna – pl. Jana Pawła II – Babina – Wodna – Chopina – Kościuszki – Kopernika – Harcerska – Górnośląska – Podmiejska – WYSZYŃSKIEGO	18,80	miejsko - podmiejska	dodatkowa
5	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Stańczukowskiego – Korczak – Poznańska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – Warszawska – TORUŃSKA	6,35	miejska	uzupełniająca
6	ELEKTRYCZNA PRATT & WHITNEY – Częstochowska – Budowlanych – Polna – Legionów – Górnośląska – Podmiejska – Stańczukowskiego – Poznańska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Warszawska – Toruńska – Pucka – Skarszewska – Borkowska – Skarszewska – Al. Sikorskiego – Warszawska – PÓLKO (wybrane kursy od Skarszewskiej przez Borkowską do DŁUGIE PĘTLA)	15,84	miejsko - podmiejska	uzupełniająca
7	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – Kolegiarna – Sukiennicza – Al. Wolności – Częstochowska – Szlak Bursztynowy – Kresowa – Spółdzielcza – Tatrzńska – Karpacka – Podhalańska – Budowlanych – Częstochowska – Rzymska – Romańska – SULISŁAWICE	18,34	miejska	dodatkowa
8	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Al. Wojska Polskiego – Majkowska – Długosza – Złota – Bażancia – WAŁ BERNARDYŃSKI BAŻANCIA	7,69	miejska	dodatkowa

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
9	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Dworcowa – Dworzec PKP – Dworcowa – Grunwaldzka – Karpacka – Tatrzńska – Spółdzielcza – Kresowa – Szlak Bursztynowy – Łódzka – Okrąglicka – Kołobrzeska – Połaniecka – Będzińska – Chocimska – Cieszyńska – Łowicka – Lubelska – LEŚNA WINIARY PĘTLA	14,33	miejska	dodatkowa
10	Linia nocna WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Poznańska – Poznańska Nowy Szpital – Poznańska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – Warszawska – Łódzka – WINIARY FABRYKA	11,95	miejska	dodatkowa
11	WYSZYŃSKIEGO – Podmiejska – Górnośląska – Legionów – Ułańska – Bankowa – Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegialna – Pl. Jana Pawła II – Warszawska – Łódzka – Kołobrzeska – Połaniecka – Będzińska – Cieszyńska – Łowicka – Lubelska – WINIARY OSIEDLE	12,43	miejska	podstawowa
12	WYSZYŃSKIEGO – Wojciechowskiego – Armii Krajowej – Skłodowskiej Curie – Al. Wojska Polskiego – Podmiejska – Górnośląska – Legionów – Ułańska – Bankowa – Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegialna – Pl. Jana Pawła II – 3 Maja – (z powrotem Wodna – Parczewskiego) – Chopina – Kościuszki – Kopernika – Harcerska – Poznańska – CMENTARZ KOMUNALNY	11,81	miejska	uzupełniająca
12K	WYSZYŃSKIEGO – Wojciechowskiego – Armii Krajowej – Skłodowskiej Curie – Al. Wojska Polskiego – Podmiejska – Górnośląska – Legionów – Ułańów – Bankowa – Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegialna – Pl. Jana Pawła II – 3 Maja – (z powrotem Wodna – Parczewskiego) – Chopina – – Kościuszki – Kopernika – Harcerska – Poznańska – KOŚCIELNA WIEŚ	14,27	miejsko - podmiejska	uzupełniająca
13	SKŁODOWSKIEJ CURIE – Armii Krajowej – Wojciechowskiego – Wyszyńskiego – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego/(z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – 3 Maja – Majkowska – Piłsudskiego – Staffa – Wyspiańskiego – Szymanowskiego – DŁUGA	12,35	miejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
15	SKALMIERZYCE – Nowe Skalmierzyce – Wrocławska – Górnośląska – Legionów – Ułańska – Bankowa – Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegiarna – Pl. Jana Pawła II – Stawiszyńska – Żołnierska – Tuwima – Żeromskiego – Staffa – Szymanowskiego – GODEBSKIEGO PĘTLA (wybrane kursy: DŁUGA PĘTLA lub 3 Maja – Majkowska – Długosza – Złota – Bażancia – WAŁ BERNARDYŃSKI BAŻANCIA)	14,61	miejsko - podmiejska	dodatkowa
16	OBOZOWA PĘTLA – (wybrane kursy: Metalowców – Sulisławicka – Piwonicka) – Grunwaldzka – Karpacza – Tatrzńska – Spółdzielcza – Kresowa – Polna – Legionów – Nowy Świat – (powrót Lipowa. Handlowa) Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (powrót Chopina) Nowy Rynek – Majkowska – Długosza – Złota – Bażancia – WAŁ BERNARDYŃSKI BAŻANCIA	10,30	miejska	uzupełniająca
17	KOTOWIECKO – Droszew – Trkusów – Biskupice – Św. Michała – Dobrzecka – Al. Wojska Polskiego – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Nowy Rynek – MAJKOWSKA MEDIX	16,00	podmiejska	dodatkowa
18	WYSZYŃSKIEGO – Wojciechowskiego – Armii Krajowej – Skłodowskiej Curie – Al. Wojska Polskiego – Wrocławska – Górnośląska – Legionów – Ułańska – Bankowa Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegiarna – Pl. Jana Pawła II – Stawiszyńska – Żołnierska – Tuwima – Żeromskiego – Staffa – Szymanowskiego – DŁUGA PĘTLA	12,18	miejska	dodatkowa
19	WYSZYŃSKIEGO – Wojciechowskiego – Armii Krajowej – Skłodowskiej Curie – Al. Wojska Polskiego – Podmiejska – Górnośląska – Legionów – Ułańska – Bankowa – Al. Wolności – Sukiennicza – Kolegiarna – Pl. Jana Pawła II – Stawiszyńska – Żołnierska – Tuwima – Żeromskiego – Staffa Szymanowskiego (z powrotem: Morelowa) – Stawiszyńska – GODEBSKIEGO	10,19	miejska	uzupełniająca
19E	OSTRÓW WLKP. – Czekanów – Fabianów – Biskupice – Skalmierzyce – Wrocławska – Al. Wojska Polskiego – Podmiejska – Górnośląska – Harcerska – Kopernika – Kościuszki – Chopina – Wodna – Parczewskiego (z powrotem Babina) – Pl. Jana Pawła II – 3 Maja – Majkowska – MAJKOWSKA MEDIX	29,31	miejsko - podmiejska	uzupełniająca

Nazwa linii	Trasa podstawowa i trasy dodatkowe	Długość linii [km]	Aspekt przestrzenny	Charakter linii
22	Linia jednokierunkowa GODEBSKIEGO – Stawiszyńska – Szymanowskiego – Staffa – Żeromskiego – Tuwima – Żołnierska – Stawiszyńska – Pl. Jana Pawła II – Babina – Pl. Nowy Rynek – Chopina – Harcerska – Al. Wojska Polskiego – Dobrzecka – Mickiewicza – Widok – Serbinowska – Al. Wojska Polskiego – Skłodowskiej Curie – Armii Krajowej – Wojciechowskiego – Wyszyńskiego – Podmiejska – Al. Wojska Polskiego – Serbinowska – Widok – Mickiewicza – Dobrzecka – Al. Wojska Polskiego – Harcerska – Chopina – Wodna – Parczewskiego – Pl. Jana Pawła II – Stawiszyńska – Żołnierska – Tuwima – Żeromskiego – Morełowa – Stawiszyńska – GODEBSKIEGO	19,35	miejska	uzupełniająca

Źródło: Opracowanie własne

3.1.3 Koszty eksploatacyjne

Jednym z obowiązków operatora jest prowadzenie dokumentacji księgowej, pozwalającej na weryfikację prawidłowości udzielania rekompensat z tytułu usług przewozowych. Wynagrodzenie Operatora składa się z przychodów ze sprzedaży biletów, które zatrzymuje w całości oraz rekompensaty wypłacanej z budżetu organizatora powiększona o rozsądny zysk. Koszty związane ze świadczeniem usług ponosi w całości Operator. Obliczanie wysokości rekompensaty za wozokilometr należnej na pokrycie kosztów związanych z wykonywaniem usług przewozowych odbywa się na zasadach określonych w Rozporządzeniu 1370/2007 na podstawie planowanego rachunku przychodów i kosztów stanowiącego podstawę rozliczeń stron. Według umowy operator ma obowiązek przedstawić organizatorowi do 30 listopada każdego roku prognozę rocznych kosztów świadczenia usług przewozowych po

pomniejszeniu o wygenerowane dodatnie wpływy (zysk w przypadku wykorzystania z usług podwykonawców, sprzedaży biletów na podstawie struktury przewozów w roku poprzednim, z reklam na pojazdach) oraz kalkulację rocznej rekompensaty na ich pokrycie z uwzględnieniem prognozowanej liczby wozokilometrów w następnym roku. W sytuacji, gdy cena zakupu paliwa wzrośnie o ponad 3% w stosunku do ceny przyjętej do ustalenia prognozy rocznej, KLA sp. z o.o. ma możliwość złożenia wniosku o waloryzację rekompensaty, która zostanie przeprowadzona w okresie 60 dni po wystąpieniu wzrostu ceny. Do dnia 30 maja każdego roku miasto jest zobowiązane do przeprowadzenia przez niezależnego audytora, corocznego audytu mającego zbadać, czy wielkość rekompensaty w roku poprzednim odpowiada rzeczywistym kosztom związanymi z realizacją usług.

Tab. 3.3 Wysokość rekompensaty w ostatnich latach

Rok	wielkość pracy eksploatacyjnej [w tys. wzkm]	Wysokość rekompensaty
2015	3181,0	11 034 429,00 zł*
2016	3205,0	10 187 651,00 zł*

Rok	wielkość pracy eksploatacyjnej [w tys. wzkm]	Wysokość rekompensaty
2017	3157,1	10 687 651,00 zł
2018		14 600 000,00 zł

Źródło: Na podstawie umowy pomiędzy organizatorem a operatorem oraz audytu w zakresie weryfikacji rekompensaty za 2017 rok

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

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

publicznej planowane jest na obszarze Gminy Miasto Kalisz, Gołuchów, Godziesze Wielkie, Nowe Skalmierzyce, Opatówek, Ostrów Wielkopolski oraz Miasto Ostrów Wielkopolski z którymi Gmina Miasto Kalisz zawarła porozumienia w sprawie wspólnej organizacji publicznego transportu zbiorowego”. Wskazane uwarunkowania formalno – prawne gwarantują podstawy instytucjonalne umożliwiające wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w perspektywie wieloletniej, m.in. w zakresie minimalnych udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora.

3.2 Charakterystyka floty operatora komunikacji miejskiej

3.2.1 Projekty wymiany taboru – przedsięwzięcia realizowane i planowane

W ostatnich latach w Kaliszu zakupiono 39 pojazdów w tym: 6 używanych i 33 nowe. W 2016 roku wprowadzono do ruchu 5 autobusów niskopodłogowych Scania Omnilink wyprodukowanych w 2007 roku z normą spalania EURO 4. W 2017 roku dokupiono o rok młodszy pojazd tej samej marki o identycznych parametrach technicznych. Oprócz tego KLA sp. z o.o. wydzierżawiła od konsorcjum Solaris i PKO Leasing 10 fabrycznie nowych autobusów Solaris Urbino 12 IV generacji z silnikiem Diesla z normą spalania EURO 6.



Rys. 3.2 Autobus Solaris Urbino 12 IV generacji barwach KLA sp. z o.o.

Źródło: Zbiory własne

W 2017 roku zakupu nowych autobusów dokonało także Gmina Miasto Kalisz – 5 sztuk niskopodłogowych autobusów marki MAN klasy MAXI o napędzie hybrydowym z normą spalania EURO 6 oraz 4 sztuki autobusów marki Scania z napędem Diesla klasy MAXI z tą samą normą spalania. Zakup autobusów został zrealizowany w ramach projektu „Rozwój niskoemisyjnego systemu komunikacji miasta Kalisza wraz z modernizacją oświetlenia ulicznego zwiększająca jego energooszczędność” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Wielkopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego. W 2018 roku Gmina Miasto Kalisz dokonało zakupu kolejnych 11 niskopodłogowych pojazdów hybrydowych marki MAN klasy MAXI.



Rys. 3.3 Autobus MAN A37 Lion's City HYBRID w barwach KLA sp. z o.o.

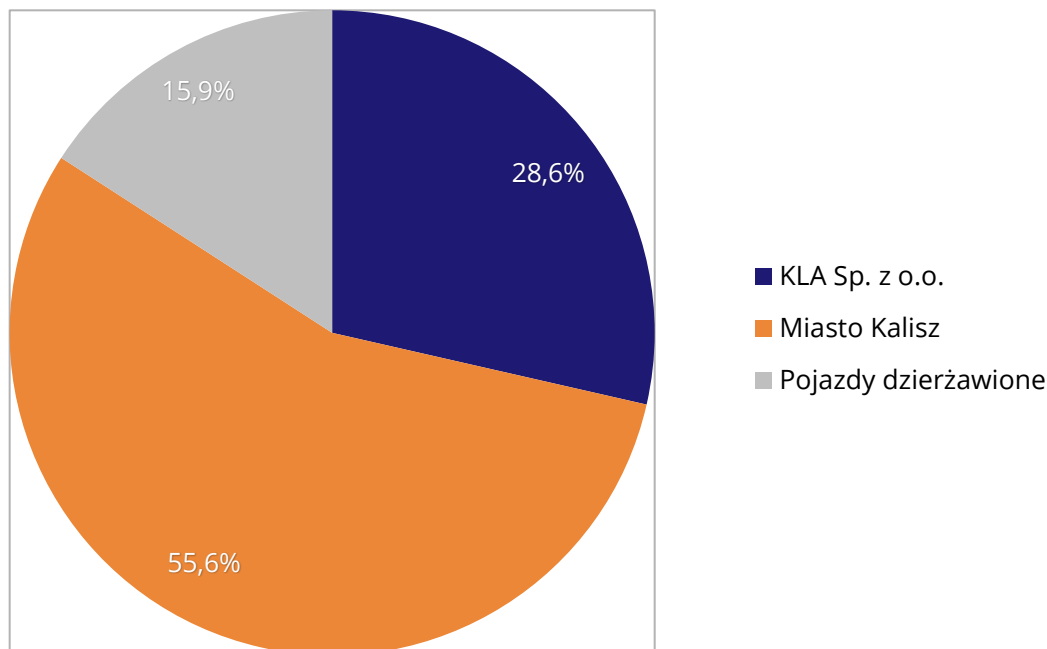
Źródło: Zbiory własne

Tab. 3.4 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na dzień 05.09.2018)

Rok zakupu	Pojazd	Typ pojazdu	Liczba pojazdów	Rok produkcji	Norma spalania	Własność
2016	Scania Omnilink	MAXI	5	2007	EURO 4	KLA sp. z o.o.
2017	Scania Omnilink	MAXI	1	2008	EURO 4	KLA sp. z o.o.
	Solaris Urbino 12 IV generacji	MAXI	10	2017	EURO 6	Dzierżawa od Solaris Bus&Coach S.A.
	MAN A37 Lion's City	MAXI	5	2017	EURO 6	Gmina Miasto Kalisz
	Scania Citywide LF	MAXI	4	2017	EURO 6	Gmina Miasto Kalisz
2018	MAN A37 Lion's City Hybrid	MAXI	11	2018	EURO 6	Gmina Miasto Kalisz

Źródło: Opracowanie własne

Właśność pojazdów w taborze użytkowanych w
Komunikacji Miejskiej
(w sztukach)
stan na 3 sierpnia 2018 r.



Rys. 3.4 Struktura właścicielska pojazdów wykorzystywanych przez KLA sp. z o.o. (stan na 05.09.2018)

Źródło: Opracowanie własne

3.2.2 Normy emisji spalin

Obecnie na potrzeby komunikacji miejskiej w Kaliszu eksploatowane są 63 pojazdy. Wszystkie posiadają silniki napędzane olejem napędowym (w tym 25% z nich posiada napęd hybrydowy, tj. 26 sztuk). Łącznie 70% floty operatora, tj. 44 sztuki posiadają klimatyzację. We flocie użytkowanej przez KLA sp. z o. o. Udział pojazdów w pełni niskopodłogowych wynosi 97%, natomiast pozostałe pojazdy są niskowejściowe. Najwięcej posiadanych

pojazdów charakteryzuje się normą spalania EURO 6 – 30 pojazdów (48 %). Kolejną największą grupą pojazdów we flocie operatora są autobusy o normie spalania EURO 5, które stanowią 30 % całego taboru. We flocie użytkowanej przez KLA sp. z o.o. znajduje się także 1 pojazd o normie spalania EURO 2 oraz 7 autobusów o normie spalania EURO 3– 7 autobusów SCANIA VABIS. Szczegółową strukturę pojazdów według norm spalania i typu pojazdów prezentuje Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów w lipcu 2018 roku (stan na dzień 05.09.2018)

Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
EURO 0					
EURO 1					

Norma spalania / typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
EURO 2			1		1
EURO 3			7		7
EURO 4			6		6
EURO 5	2	2	12	3	19
EURO 6			30		30
Liczba pojazdów	2	2	56	3	63

Źródło: Opracowanie własne

3.2.3 Obecna oraz planowana struktura wieku pojazdów i program wymiany taboru

Obecnie średni wiek pojazdów użytkowanych w komunikacji miejskiej w Kaliszu wynosi 5,8 lat. Najstarszy pojazd wyprodukowano w 1996 r. – VOLVO B10BLE klasy MAXI, a najmłodsze w 2018 r. – MAN A37 LIONS CITY z normą spalania EURO 6. Pojazdy w wieku poniżej 2 lat stanowią największy odsetek wśród wszystkich pojazdów – 48%. Wśród najstarszych pojazdów największą

grupę stanowią pojazdy klasy MAXI w wieku 15 lat i więcej. Kolejną najliczniejszą grupą są pojazdy w wieku 7-8 lat – stanowią one 24% wszystkich autobusów, w gronie których dominują pojazdy klasy MAXI. W Tab. 3.6 zaprezentowano obecną strukturę pojazdów według wieku i typu.

Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w lipcu 2018 roku

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

Źródło: Opracowanie własne

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

- założenia operatora dotyczące wymiany najstarszych pojazdów,
- wytyczne z Niebieskiej Księgi dla sektora transportu publicznego, wskazujące na maksymalnie 10-letni okres eksploatacji autobusu, które będą wprowadzane stopniowo,
- założenie dotyczące kontynuacji wymiany części floty w oparciu o autobusy używane, przewidziane do wprowadzenia wyłącznie

w grupach typów taboru cechujących się najniższym wykorzystaniem w sieci.

Przedstawione zestawienia stanowią podstawę do wariantu bazowego odnowy taboru

komunikacji miejskiej, poddanego analizom finansowym i ekonomicznym w dalszej części opracowania.

Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2021 roku

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.8 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 roku

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.9 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT			6		6
3-4 LATA			3		3
5-6 LAT			5		5
7-8 LAT			33	1	34
9-10 LAT			2		2
11-12 LAT		2			2
13-14 LAT	2		6	2	10
15 LAT I WIĘCEJ			1		1

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.10 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 roku

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
PONIŻEJ 2 LAT	2	2	7	2	13
3-4 LATA			6		6

Wiek pojazdu /typ pojazdu	MINI	MIDI	MAXI	MEGA18	Liczba pojazdów
5-6 LAT			6		6
7-8 LAT			6		6
9-10 LAT			12	1	13
11-12 LAT			19		19
13-14 LAT					
15 LAT I WIĘCEJ					

Źródło: Opracowanie własne

3.2.4 Szacunkowa emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych w ujęciu rocznym

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

substancji szkodliwych (niemetanowych węglowodorów – NMHC, niemetanowych lotnych związków organicznych – NMVOC, tlenków azotu – NO_x i cząstek stałych – PM) dla każdej grupy oraz sumaryczną liczbę przejechanych kilometrów przez dany typ pojazdów, dane te zamieszczono w Tab. 3.11. Wyliczone zmienne pozwoliły na oszacowanie rocznej emisji, którą przedstawiono w Tab. 3.12.

Tab. 3.11 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz liczba autobusów

Norma spalania / pojazd	Liczba autobusów danego typu	Średnioroczne zużycie oleju napędowego w danej grupie pojazdów	Średnioroczna liczba km przejechana przez dany typ pojazdu	NMHC/NMVO g/km na pojazd	Nox g/km na pojazd	PM g/km na pojazd	CO ₂ kg/km na pojazd
EURO 2							
VOLVO B10BLE	1	19018,00	44316,00	4,72	30,04	0,64	1,15
EURO 3							
SCANIA VABIS CI94UB4X2	5	19488,20	43839,60	2,94	22,27	0,45	1,19
SCANIA CI94UB4X2	1	22125,00	45978,00	3,18	24,06	0,48	1,29
SCANIA CI94UB4X3	1	21767,00	51308,00	2,80	21,21	0,42	1,14
EURO 4							
SCANIA OMNILINK	5	21797,20	50529,40	1,98	15,08	0,09	1,15
SCANIA OMNICYTY	1	29313,00	63896,00	2,11	16,06	0,09	1,23
EURO 5							
VOLVO 7700	1	22677,00	47898,00	1,86	8,08	0,08	1,08
SOLARIS URBINO 12	11	24517,09	65753,55	1,71	7,45	0,07	1,00
SOLARIS URBINO 10	2	19533,50	52103,5	1,72	7,48	0,07	1,00
IVECO KAPENA 65C	2	7225,00	41501,50	0,81	3,54	0,04	0,47
SOLARIS URBINO 18	3	29860,33	56466,67	2,43	10,57	0,11	1,42
EURO 6							
SCANIA CITYWIDE LF	4	21822,00	51125,75	0,56	1,71	0,04	1,14
SOLARIS URBINO-12	10	21523,90	51805,60	0,54	1,66	0,04	1,11

MAN A37 LIONS CITY HYBRID (2017)	5	14909,00	42370,60	0,46	1,41	0,04	0,94
MAN A37 LIONS CITY HYBRID (2018)	11	1825,91	4553,09	0,52	1,61	0,04	1,08

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 3.12 Średnia roczna emisja gazów i substancji szkodliwych wszystkich we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez Operatora

Norma spalania / pojazd	NMHC/NMVOC w g/rok	Nox w g/rok	PM w g/rok	CO2 w kg/rok
EURO 2				
VOLVO B10BLE	209 198,00	1 331 260,00	28 527,00	50 968,24
EURO 3				
SCANIA VABIS C194UB4X2	644 485,21	4 882 463,68	97 649,27	261 700,05
SCANIA C194UB4X2	146 025,00	1 106 250,00	22 125,00	59 295,00
SCANIA C194UB4X3	143 662,20	1 088 350,00	21 767,00	58 335,56
EURO 4				
SCANIA OMNILINK	500 836,21	3 810 710,28	21 775,49	291 791,53
SCANIA OMNICITY	134 839,80	1 025 955,00	5 862,60	78 558,84
EURO 5				
VOLVO 7700	89 043,79	387 146,93	3 871,47	51 877,69
SOLARIS URBINO 12	1 239 459,87	5 388 955,94	53 889,56	722 120,10
SOLARIS URBINO 10	179 198,06	779 121,98	7 791,22	104 402,35
IVECO KAPENA 65C	67 593,18	293 883,38	2 938,83	39 380,37
SOLARIS URBINO 18	411 827,87	1 790 555,94	17 905,56	239 934,50
EURO 6				
SCANIA CITYWIDE LF	113 502,53	349 238,54	8 730,96	233 989,82
SOLARIS URBINO-12	279 803,12	860 932,68	21 523,32	576 824,90
MAN A37 LIONS CITY HYBRID (2017)	96 934,67	298 260,53	7 456,51	199 834,56
MAN A37 LIONS CITY HYBRID (2018)	26 217,66	80 669,72	2 016,74	54 048,71
roczna sumaryczna emisja gazów we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez Operatora:	4 282 627,15	23 473 754,60	323 830,54	3 023 062,21

Źródło: Opracowanie własne

3.3 Analiza parametrów eksploatacyjnych sieci i linii komunikacyjnych

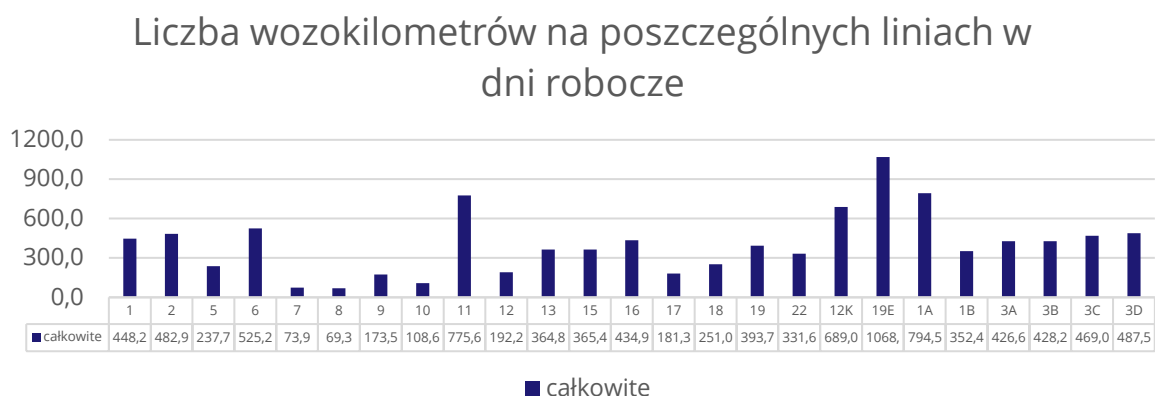
W poniższym podrozdziale zostały scharakteryzowane parametry eksploatacyjne komunikacji miejskiej w Kaliszu. Sieć została przeanalizowana pod względem liczby wozokilometrów liniowych z podziałem na linie i technicznych według typu dnia, wskaźników wykorzystania taboru. Następnie przedstawiono dane dotyczące prędkości komunikacyjnych i eksploatacyjnych w przekroju całej sieci i linii komunikacyjnych na terenie miasta Kalisz oraz zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady. W końcowej części rozdziału wykonana została analiza rozkładów jazdy na podstawie bazy rozkładów jazdy z dnia 28 kwietnia 2018 roku. Podczas analizy liczby wozokilometrów oraz prędkości komunikacyjnych, linie komunikacyjne zostały podzielone na trzy grupy: linie miejskie (linie 1, 2, 3C, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 19, 22), linie miejsko-podmiejskie (linie 1A, 1B, 3A, 3B, 3D, 6, 12K) i podmiejskie (linie 15, 17, 19E)

Dane dotyczące wielkości pracy eksploatacyjnej na poszczególnych liniach w przekroju typów dni rozkładowych zostały przedstawione w załączniku.

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

- dzień roboczy szkolny – 10 672,4 wzkm,
- sobota – 4 718,5 wzkm
- niedziela- 4 430,1 wzkm.

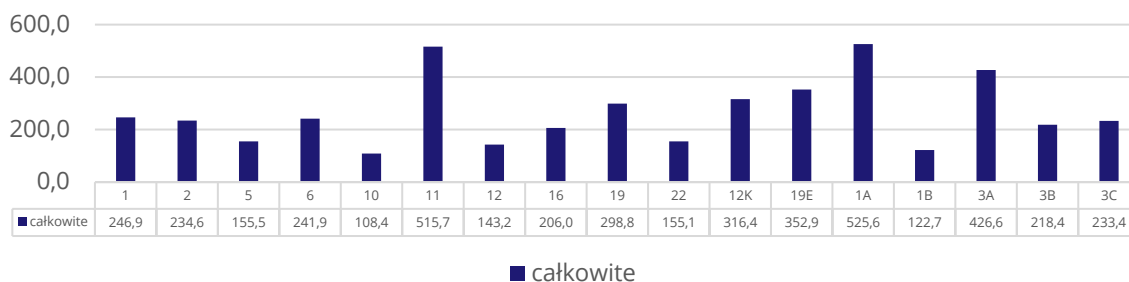
Najwięcej kilometrów realizowanych jest zwykle na liniach 19E, 1A, 11 oraz 12K. Najmniejszą pracą eksploatacyjną cechuje się linia 8 kursująca okresowo z Wału Bernardyńskiego do krańca przy ul. Wyszyńskiego. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano liczbę wozokilometrów na poszczególnych liniach w wybrane typy dni tygodnia.



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

Źródło: Opracowanie własne

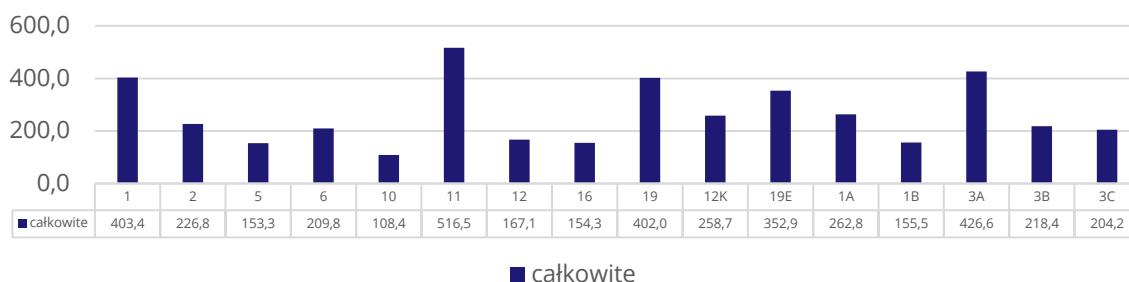
Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w sobotę

Źródło: Opracowanie własne

Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedziele



Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedzielę

Źródło: Opracowanie własne

3.3.1 Wskaźnik wykorzystania taboru

Aktualnie KLA sp. z o.o. dysponuje 63 autobusami, z czego do obsługi linii, ekspediowanych jest:

- w dni robocze w okresie szkolnym 52 autobusy – 83 % taboru,

- w soboty 24 autobusy – 38 % taboru,
- w niedziele 21 autobusów – 36% taboru.

W Tab. 3.13 przedstawiono wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu

Tab. 3.13 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu

Typ dnia /typ pojazdu	MINI		MIDI		MAXI		MEGA18	
	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa	w ruchu	rezerwa
Roboczy szkolny	1	1		2	46	8	3	
Sobota	1	1		2	18	36	3	
Niedziela	2			2	19	35	1	2

Źródło: Opracowanie własne.

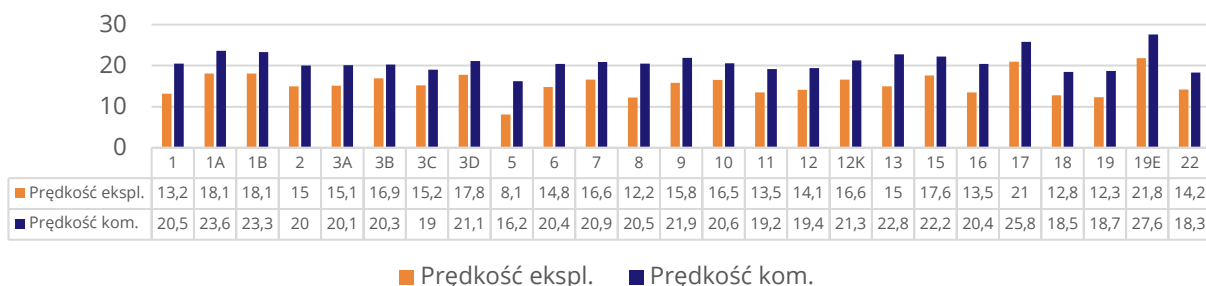
3.3.2 Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne w przekroju sieci i linii komunikacyjnych

Prędkości eksploatacyjne w całej sieci kształtują się zwykle na poziomie od 14,5 do 15,4 km/h w zależności od typu dnia. Prędkości komunikacyjne w przekroju całej sieci kształtują się zwykle na poziomie od 20,6 do 20,9 km/h w zależności od typu dnia. Poniżej przedstawiono średnią prędkość eksploatacyjną oraz komunikacyjną w sieci z podziałem na typy dni:

- dzień roboczy: prędkość eksploatacyjna 15,4 km/h, prędkość komunikacyjna 20,6 km/h,
- sobota: 14,8 km/h i 20,8 km/h,
- niedziela: 14,5 km/h i 20,9 km/h,

Zwykle najwyższe prędkości eksploatacyjne osiągają linie kursujące do okolicznych względem Kalisza miejscowości, tj. 1B, 17 oraz 19E, a najniższe 5, 8, 18, które funkcjonują wewnątrz granic administracyjnych Kalisza. W przypadku prędkości komunikacyjnych najwyższe osiągają linie dzienne 1A, 1B, 17 oraz 19E, a najniższe 5, 8 oraz 22. Wysoka prędkość linii 19E wynika z jej przebiegu w dużej części po za terenie zabudowanym na trasie łączącej Kalisz z Ostrowem Wielkopolskim.

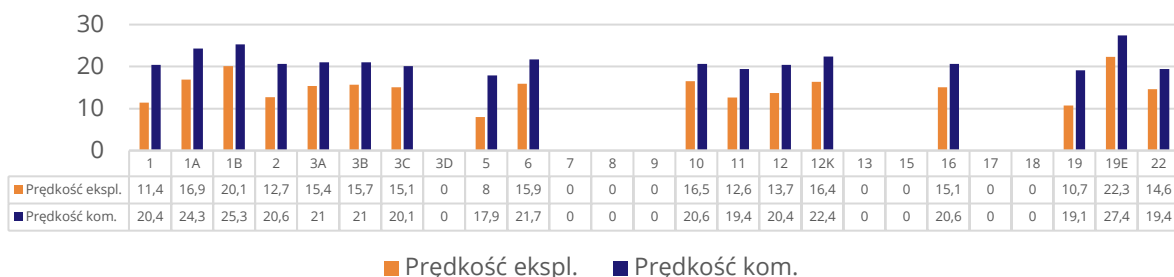
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dni robocze



Rys. 3.8 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy

Źródło: Opracowanie własne

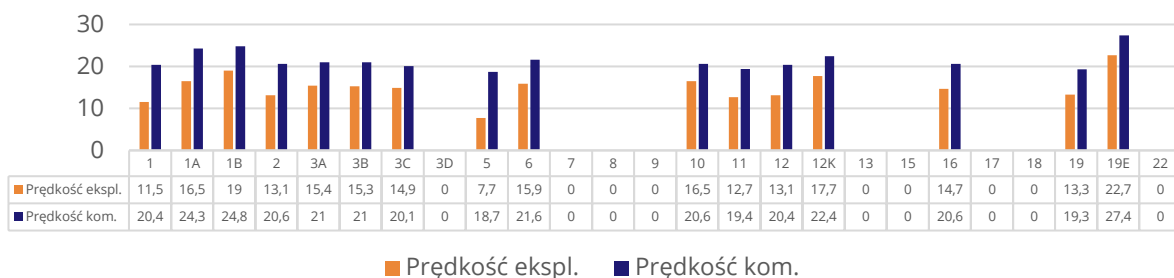
Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w soboty



Rys. 3.9 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w sobotę

Źródło: Opracowanie własne

Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę



Rys. 3.10 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę

Źródło: Opracowanie własne

3.3.3 Poziom zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady

Wszystkie brygady w dzień roboczy szkolny wykonują łącznie 10 672,37 wzkm. Najwięcej brygad jest obsługiwanych autobusami MAXI - 48, wykonują one pracę eksploatacyjną na poziomie 9 920,71 wzkm. Najkrótsza brygada w przekroju całej sieci realizuje zadanie o długości 101,54 km i jest obsługiwana przez autobus klasy MAXI. Najdłuższe zadanie ma długość 335,25 km, na którym są eksploatowane autobusy typu MAXI. Przeciętna długość brygady w całej sieci wynosi 205,26 km, pojazdy klasy MAXI są zwykle kierowane na najdłuższe brygady. Zróżnicowanie długości brygad zostało obliczone za pomocą współczynnika zmienności, wyrażonego wzorem:

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

Równanie 1 Współczynnik zmienności

gdzie:

s – odchylenie standardowe

\bar{x} – przeciętna długość brygady.

Największym zróżnicowaniem długości brygad charakteryzują się brygady obsługiwane przez autobusy MAXI (29%). Oznacza to, że istnieją brygady realizujące znacznie więcej wozokilometrów niż wynosi średnia, jak i znacznie mniej. Liczba wozokilometrów jest najmniej zróżnicowana w przypadku autobusów klasy MEGA18 – 6%. Szczegółowe dane dotyczące zróżnicowania brygad zostały zaprezentowane w Tab. 3.14.

Tab. 3.14 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny

Parametr / typ taboru	MINI	MAXI	MEGA18	Cała sieć
liczba brygad	1	48	3	52
minimalna długość w km	134,35	101,54	191,44	101,54
maksymalna długość w km	134,35	335,25	222,78	335,25
średnia długość w km	134,35	206,70	205,79	205,26
odch. standardowe	-	58,98	12,93	57,62
wsp. Zmienności	-	29%	6%	28%
Suma km	134,35	9920,71	617,31	10 672,37

Źródło: Opracowanie własne

3.3.4 Analiza rozkładów jazdy

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

brygad, które mogłyby zostać obsługiwane przez autobusy zeroemisyjne. Sprawdzone również najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych. W Tab. 3.15 zaprezentowano stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów.

Tab. 3.15 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów

Stan obecny	MINI	MIDI	MAXI	MEGA18	Cała sieć
Liczba brygad - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	1		48	3	52
Liczba brygad poj. Zeroemisyjnych	0				
Liczba brygad w ruchu	1		48	3	52
Stan taboru - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	2		58	3	63
Stan taboru - poj. zeroemisyjnych	0				
Wskaźnik wykorzystania - poj. spalinowych i niskoemisyjnych	50%		83%	67%	83%
Wskaźnik wykorzystania poj. zeroemisyjnych	0%				
Udział pojazdów zeroemisyjnych	0%				

Źródło: Opracowanie własne

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

porze, mają wpisana długość postoju tylko na jednym krańcu. Przy braku powtarzalnych interwałów rozumianych jako częstotliwości kursowania, zdefiniowany został przedział z występującymi odstępami lub liczbą par kursów (np. „p1” oznacza 1 parę). Z analizy wyłączone zostały istniejące przerwy posiłkowe, których nie zawarto w planie dla kierowcy.

Tab. 3.16 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Inter-wały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe	Inter-wały	Kraniec 1	Kraniec 2	Krańce wariantowe
1	Wyszyńskiego Słoneczna	Leśna Winiary Pętla	60	11-16	29		60	6-11	29	
1A	Wyszyńskiego Słoneczna	Opatówek	60	11-21	14		30	11	4-14	
1B	Wyszyńskiego Słoneczna	Opatówek	150	19	6		60		6	
2	Wyszyńskiego Słoneczna	Poznańska Kampus PWSZ Pętla	30	9	8		P2	11	8	
3A	Wyszyńskiego Słoneczna	Szałe Pętla	60	13	15		60	13	15	
3B	Wyszyńskiego Słoneczna	Wolice Szpital	60	8-12	13		60	8		5
3C	Wyszyńskiego Słoneczna	Sulisławice	60	8-13	14		60	15	14	

Najczęściej występujące długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny [min.]										
Linia	Nazwa krańca 1 (podstawowego)	Nazwa krańca 2 (podstawowego)	Pora międzyszczytowa [9:00 - 12:59]				Popołudniowy szczyt komunikacyjny [14:00 - 15:59]			
			Interwały	Krańce 1	Krańce 2	Krańce wariantowe	Interwały	Krańce 1	Krańce 2	Krańce wariantowe
3D	Wyszyńskiego Słoneczna		60	40			60	11-20		
5	Wyszyńskiego Słoneczna	Toruńska	60	14-45	25-26		45	13	26	
6	Elektryczna Pratt & Whitney	Pólko	70	12-42	10-46	27	60	22	3	
7	Wyszyńskiego Słoneczna	Sulisławice	-				60		24	
8	Wyszyńskiego Słoneczna	Wał Bernardyński Bażancia	-				P2	6-36		
9	Wyszyńskiego Słoneczna	Leśna Winiary Pętla	P1	10			60	10	19	
11	Wyszyńskiego Słoneczna	Lubelska Winiary Pętla	30	19-35	20		30	7-14	20	
12	Wyszyńskiego Słoneczna	Poznańska Cmentarz Kom. Pętla	60	14	11		-			
12K	Wyszyńskiego Słoneczna	Kościelna Wieś Pętla	60	9-17	4		30	15-17	4	
13	Skłodowskiej-Curie Wojska Polskiego	Długa Pętla	60	39	11		60		11-29	
15	Godebskiego Pętla	Skalmierzyce	P1		9		47		2-9	16-17
16	Obozowa Pętla	Wał Bernardyński Bażancia	60	9	18-48		33	8-18	18-23	
17	Majkowska Medix	Kotowiecko	P1			4	P2	5	2-3	
18	Wyszyńskiego Słoneczna	Długa Pętla	60	18-25	22		60	18	22	
19	Wyszyńskiego Słoneczna	Godebskiego Pętla	60	25	25		60	4		
19E	Majkowska Medix	Ostrów Towarowa Dworzec PKP	60	19	30		35	19	30	
22	Godebskiego Pętla		P2	21			33	21-24		

Źródło: Opracowanie własne

4 Analiza ekonomiczno – finansowa możliwości eksploatacji autobusów zeroemisyjnych

W rozdziale 4 przedstawiono 5 wariantów inwestycyjnych:

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

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

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

- w terminie od 01.01.2021 r. – 4 pojazdy (tj. 5% spośród posiadanej liczby autobusów),
- w terminie od 01.01.2023 r. – 7 pojazdów (tj. udział na poziomie 10%),
- w terminie od 01.01.2025 r. – 13 pojazdów (tj. udział na poziomie 20%),
- w terminie od 01.01.2028 r. – 19 pojazdów (tj. udział na poziomie 30%).

4.1 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym

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

stacja tankowania wodoru (HRS), która umiejscowiona może być, np. na terenie zajezdni autobusowej.

Obecnie autobusy napędzane wodorem są eksploatowane w kilkunastu europejskich miastach, takich jak Londyn, Hamburg, Oslo, Mediolanie, czy Kolonii. Są to niewielkie floty, liczące zazwyczaj do 10 sztuk, ale ich liczba wciąż się zwiększa i w najbliższym czasie w Europie pojawi się co najmniej 60 kolejnych autobusów napędzanych wodorem⁷. Warto też wspomnieć

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

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

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

Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie

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

Źródło: Opracowanie własne

4.1.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie wodorowym

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

10 minut, a wodór przechowywany jest w pojemnikach pod ciśnieniem ok. 35 MPa.

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

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

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

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
Solaris Urbino 18,75	18,75 m	2014	120 kWh	101 kW	300 km	105 pasażerów
Ursus Demo Hydrogen (elektryczny na	12 m	2017	70 kWh	226 kW (silniki w piastach kół)	450 km	20 tys. h pracy, 700 tys. km przebiegu,

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

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

Model	Długość	Rok	Pojemność baterii	Moc	Zasięg (1 ładowanie)	Inne
wodorowe ogniwa paliwowe)				120 kW (silnik na osiach)		ok. 80 pasażerów
Solaris Urbino 12 Hydrogen	12 m	2019	29,2 kWh	2 x 60 kW	ponad 350 km	ok. 80 pasażerów

Źródło: Opracowanie własne.

4.1.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

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

Docelowo cenę zakupu jednego autobusu napędzanego wodorem szacuje się na 500 tys. euro (taki scenariusz przewiduje jeden ze światowych dostawców innowacyjnych rozwiązań w zakresie ogniw paliwowych). Cena takiego pojazdu na pewno zależeć będzie od wielkości zamówienia.

Dr Frank Koch z Energie Agentur NRW, agencji zajmującej się ekspertyzami energetycznymi dla

Nadrenii Północnej – Westfalii, szacuje, że koszty zakupu autobusu typu MAXI (12-13,5 m) kształtują się w okolicy 650 tys. euro, a za autobus przegubowy do 1 miliona euro.¹¹ Ceny te również pojawiają się w materiałach i podręczniku promującym zastosowanie ogniw wodorowych w transporcie publicznym, wspieranym przez UE.¹²

Jednak jak pokazuje przykład Kolonii, która zamówiła od firmy Van Hool 30 autobusów napędzanych wodorem o długości 13 m, cena może być niższa. Kontrakt wart był 13 mln euro, co oznacza, że jeden autobus kosztował niecałe 450 tys. euro. Rynek autobusów napędzanych wodorem jest młody i cena nie ukształtowała się ostatecznie¹³. Dla potrzeb analizy przyjęto koszt jednego autobusu MAXI na ogniwa paliwowe zasilane wodorem na poziomie 3,21 mln zł netto (0,75 mln euro netto – pojazd 12 metrowy, a 0,9 mln euro netto – pojazd 18 metrowy).

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

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

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

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykułów branżowych.

4.1.3 Koszty inwestycji w infrastrukturę do tankowania pojazdów

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

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

Koszt budowy stacji zależy od jej wielkości, sposobu dostarczania wodoru na stacji (produkcja na miejscu, dostawa w formie płynnej lub gazowej)¹⁷ i wymagań, jakie stawiają założenia odnośnie taboru i jej użytkowników. Według danych opublikowanych przez 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. Opracowanie dr F. Kocha z Energie Agentur NRW określa koszt budowy stacji mogącej obsłużyć sieć do 10 autobusów na 600 tys. euro¹⁸. W artykułach traktujących o stacjach tankowania wodoru do aut osobowych, padają kwoty między 1, a 2 mln euro¹⁹ Łotewska Ryga za budowę dużej stacji tankowania, mogącej obsługiwać 20 pojazdową flotę autobusów i pojazdy prywatne, zapłaciła 4,5 mln euro²⁰. Inne dane, pochodzące z USA wyceniają koszt budowy jednej dużej stacji na 5 mln dolarów, jednak warto zwrócić uwagę, że są to dane z 2012²¹.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Ocena wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

4.2.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych autobusów o napędzie elektrycznym akumulatorowym

Obecnie liczba autobusów elektrycznych akumulatorowych dynamicznie wzrasta. W pierwszym kwartale 2018 w polskich miastach jeździło 89 autobusów elektrycznych akumulatorowych, a kolejnych 105 jest na etapie zakupu i produkcji²². Autobusy elektryczne w Polsce produkuje Solaris Bus & Coach S.A., Ursus Bus S.A. oraz VOLVO POLSKA sp. z o. o.. Autobusy elektryczne akumulatorowe mają masę większą o około 750 kg w porównaniu do pojazdów spalinowych²³, ze względu na konieczność montażu akumulatorów. Wyróżniają się lepszymi charakterystykami dynamicznymi – stosowane w autobusach elektrycznych silniki asynchroniczne, w przeciwieństwie do spalinowych, osiągają maksymalny moment obrotowy już przy rozruchu. Do ich zasilania używa się akumulatorów m.in. litowo-jonowych NMC, które charakteryzują się niskimi kosztami, niską masą, ale również niską żywotnością i małym zakresem temperatur pracy ($>-10^{\circ}\text{C}$) litowo-fosforowych LFP, które są nieznacznie droższe, cięższe i trwalsze od NMC oraz można je eksploatować do temperatury -30°C . Powszechne są również akumulatory litowo-tytanowe LTO, które są dwukrotnie cięższe i droższe od NMC, ale pięciokrotnie od nich trwalsze i o dużej mocy chwilowej oraz znacznej odporności na temperaturę²⁴. Najważniejszymi czynnikami charakteryzującymi eksploatację

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

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

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

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

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

są ładowane niskim prądem metodą plug-in na zajezdni w porze nocnej, natomiast podczas eksploatacji są doładowywane podczas postojów na pętlach. Dzięki takiemu rozwiązaniu autobus może wykonać więcej kilometrów w ruchu liniowym, zanim konieczny będzie zjazd na ładowanie.



Rys. 4.1 *Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 18 electric*

Źródło: Zbiory własne

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne

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

autobusów (z możliwością ładowania za pomocą pantografu):

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

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

Koszt zakupu ładowarek plug-in jest stosunkowo niski – koszt jednego urządzenia to około 130 000 zł netto. W celu efektywnego ładowania pojazdów zwykle wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek, zwykle jednej na pojazd (dla urządzeń 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 160 km na kilkugodzinne ładowanie).

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

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych i potrzebę ładowania akumulatorów dokonano analizy rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od przewoźnika. Przy analizie przyjęto założenie, że

jeden autobus elektryczny może przejechać 130 km na naładowanym akumulatorze (uwzględniono rezerwę zasięgu). Wariant zakłada ładowanie pojazdów jedynie na zajezdni do pełnych akumulatorów.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	1		34	3	36
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe			18		18
Przyrost liczby brygad w ruchu			4		4
Liczba brygad w ruchu	1		52	3	56

Źródło: Opracowanie własne

W modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in obecne rozkłady jazdy pozwalają na obsługę autobusami elektrycznymi akumulatorowymi 18 brygad – 18 obsługiwanych autobusami klasy MAXI.

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych zaistnieje potrzeba wprowadzenia do obsługi dodatkowo 4 brygad klasy MAXI (wybrane zadania całodienne obsługiwane obecnie przez 1 autobus spalinowy, przy elektryfikacji opartej wyłącznie na autobusy elektryczne akumulatorowe ładowane wyłącznie metodą

plug-in będą obsługiwane w ciągu dnia przez 2 autobusy – np. zadania 195/196, 197/198, 151/169 oraz 183 w dzień roboczy). Do obsługi przewozów łącznie będzie potrzebnych 67 pojazdów – o 4 więcej niż obecnie, w tym 20 autobusów z napędem elektrycznym (30%). Rozwiązanie to pozwoli osiągnąć ustawowy wymóg 30% udziału pojazdów zeroemisyjnych. Przyrost liczby posiadanych autobusów wynika z ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych akumulatorowych, który nie pozwala na wymianę autobusów spalinowych w stosunku 1:1.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	MINI	MIDI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	2	2	40	3	47
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe			20		20
Stan taboru	2	2	60	3	67
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	50%	%	85%	100%	81%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	%	%	90%	%	90%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	%	%	33%	%	30%

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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



Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w barwach PKM Jaworzno

Źródło: Zbiory własne

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

Analogicznie jak w modelu wyłącznie z ładowarkami plug-in wykonana została pogłębiona analiza rozkładów jazdy na podstawie danych dostarczonych od

organizatora komunikacji miejskiej. Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, oprócz budowy stacji wolnego ładowania na terenie zajezdni, zakłada

budowę ładowarek na terenie miasta w wybranych lokalizacjach. Przy analizie przyjęto następujące założenia:

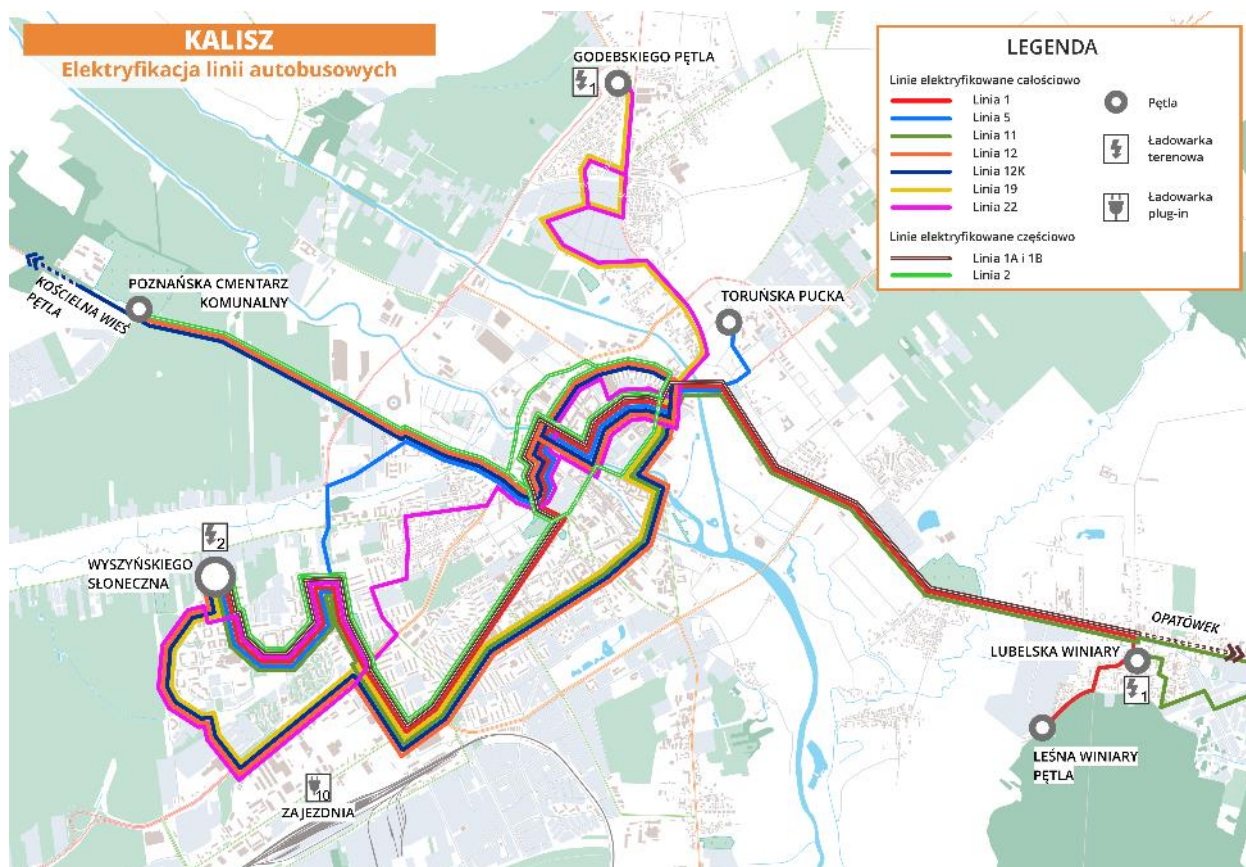
- linie z przeznaczeniem do elektryfikacji zdefiniowano, tak, aby w godzinach szczytów łączna liczba kursujących na nich brygad była zbliżona do wymaganej liczby autobusów zeroemisyjnych we flocie operatora licząc na dzień 01.01.2028 r., przy założeniu, że wskaźnik wykorzystania autobusów elektrycznych akumulatorowych będzie wynosił w dzień roboczy 90%,
- przedmiotem elektryfikacji objęto wyłącznie linie, na których wszystkie kursujące brygady będą wykonywane przez autobusy elektryczne akumulatorowe,
- przyjęto, że preferowane do elektryfikacji są linie z niższymi prędkościami komunikacyjnymi oraz przebiegające przez zabytkowe centrum miasta i przez największe osiedla mieszkaniowe charakteryzujące się wysoką gęstością zaludnienia,
- lokalizację infrastruktury szybkiego ładowania wyznaczono z pominięciem krańców położonych na terenach prywatnych,
- ściśle oceniono długości postojów na krańcach w przedstawionych kluczowych porach poszczególnych typów dni, które dla określonych linii powinny zostać odpowiednio wydłużone, zakładając konieczność zachowania odpowiedniej rezerwy czasowej na doładowywanie autobusów,
- założono, że trasy nie będą modyfikowane, niewykorzystywane autobusy elektryczne akumulatorowe poza godzinami szczytów komunikacyjnych będą kierowane do obsługi innych linii,
- dla zmaksymalizowania korzyści wynikających z niższych kosztów eksploatacyjnych autobusów elektrycznych akumulatorowych, założono, że będą one silniej eksploatowane od autobusów

spalinowych, pomimo konieczności wydłużenia przerw międzykursowych na doładowanie akumulatorów; założono, że nawet jeśli zwiększy się liczba pojazdów w ruchu przy utrzymaniu tej samej oferty przewozowej, to średnioroczna praca eksploatacyjna przypadająca na autobus elektryczny w ruchu będzie wyższa o 30,8% w porównaniu do użytkowanych pozostałych autobusów spalinowych, m.in. poprzez użytkowanie autobusów na innych liniach poza godzinami szczytu takich jak: 3A, 3B, 8, 18 oraz 19E,

- elektryfikacja może objąć wyłącznie linie, na trasach których nie znajdują się bariery infrastrukturalne ograniczające dopuszczalną wysokość pojazdów do poziomu min. 3,3 m (wiadukty, tunele, linie napowietrzne etc.); w sieci komunikacji miejskiej w Kaliszu przykładem takiej bariery jest wiadukt linii kolejowej nad ul. Rzymską, który uniemożliwia wprowadzenie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych na liniach 3C, 3D i 7.

Na podstawie powyższych założeń i dokonanej analizy do całkowitej elektryfikacji wybrano linie 1, 5, 11, 12, 12K, 19 oraz 22, natomiast częściowej elektryfikacji podlegać będą linie 1A, 1B, 2. Uzupełniając autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały linie 3A, 3B, 8, 18 i 19E w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy na liniach całkowicie lub częściowo zelektryfikowanych. Do zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na elektryfikowanych liniach niezbędne będą 4 stacje szybkiego ładowania, dedykowane dla 17 autobusów elektrycznych w ruchu. Wyznaczono również lokalizacje ładowarek terenowych z funkcjonalnością szybkiego ładowania z wykorzystaniem pantografu:

- 2 ładowarki na pętli przy ul. Wyszyńskiego,
- 1 na pętli przy ul. Lubelskiej (Winiary pętla),
- 1 na pętli przy ul. Godebskiego.



Rys. 4.3 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek

Źródło: Opracowanie własne

Ze względu na ograniczony zasięg autobusów elektrycznych akumulatorowych, niwelowany przez możliwość doładowywania pojazdów dzięki przewidzianym ładowarkom pantografowym, liczba autobusów w ruchu wzrośnie. Linie 1, 5, 11, 12, 12K, 19 oraz 22 obecnie obsługuje maksymalnie 16 brygad w dzień roboczy, w godzinach szczytu przewozowego. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową, przy założeniu o utrzymaniu obecnie stosowanych częstotliwości kursowania, liczba autobusów obsługujących wskazane linie

wzrośnie łącznie o 1 sztukę z uwagi na konieczność wydłużenia wybranych postojów wyrównawczych na doładowanie pojazdów przy użyciu ładowarki pantografowej. Liczba autobusów w ruchu w całej sieci komunikacyjnej wzrośnie zatem o 1 brygadę na linii 1 (postoje wyrównawcze między kursami linii 1 na pętli Wyszyńskiego-Słoneczna, na której będą doładowywane autobusy linii 1 na poziomie od 6 do 11 minut w godzinach szczytowych, zostaną wydłużone na potrzeby szybkiego ładowania) – z poziomu 52 brygad do 53 brygad w dzień roboczy szkolny.

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

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Liczba brygad - aut. spalinowe	1		31	3	35
Liczba brygad - aut. elektryczne akumulatorowe:			18		18
w tym na linii 1			2		
w tym na linii 1A i 1B(częściowo elektryfikowane)			1		

Model oparty o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową	MINI	MIDI	MAXI	MEGA	Cała sieć
w tym na linii 5			2		
w tym na linii 11			4		
w tym na linii 12K			4		
w tym na linii 19			2		
w tym na linii 22			3		
Przyrost liczby brygad w ruchu			1		1
Liczba brygad w ruchu	1		49	3	53

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając zwiększenie wskaźnika wykorzystania taboru elektrycznego w porównaniu do pozostałych pojazdów, przewiduje się wzrost wielkości floty operatora o 1 pojazd klasy MAXI. W modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarką pantografową do obsługi sieci potrzebne będą łącznie 64 pojazdy

–w tym 20 autobusów (18 w ruchu) o napędzie elektrycznym (31%). Zrealizowana zostanie wymagana liczba autobusów zeroemisyjnych dla obecnego ilostanu operatora (20 sztuk stanowiących 31% spośród 64 użytkowanych pojazdów).

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

Wariant W3	MINI	MIDI	MAXI	MEGA	Cała sieć
Stan taboru - aut. spalinowe	2	2	37	3	44
Stan taboru - aut. elektryczne akumulatorowe			20		20
Stan taboru	2	2	57	3	64
Wskaźnik wykorzystania aut. spalinowych	50%	0%	84%	100%	80%
Wskaźnik wykorzystania aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	90%	0%	90%
Udział aut. elektrycznych akumulatorowych	0%	0%	35%	0%	31%

Źródło: Opracowanie własne

4.3 Ocena wprowadzenia do eksploatacji trolejbusów

4.3.1 Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych trolejbusów

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

w polskich systemach trolejbusowych są pojazdy produkcji krajowej w wersji 12 i 18 metrowej. W ostatnim czasie w Gdyni i w Lublinie dokonano zakupu trolejbusów z bateriami litowo-tytanowymi o mocy co najmniej 55 kWh, w celu obsługi odcinka bez sieci trakcyjnej. Baterie mają pozwolić na przejechanie odcinka o długości 10-20 kilometrów. Pozwala to na obsługę obszarów nie pokrytych trolejbusową siecią trakcyjną. Kolejną zaletą jest możliwość awaryjnej zmiany trasy, podczas gdy występują

utrudnienia na trasie linii trolejbusowej (remonty ulic i infrastruktury, wypadki drogowe, wyznaczone objazdy). Eliminuje to konieczność

organizacji i ponoszenia kosztów na zastępczą komunikację autobusową w przypadku utrudnień.

4.3.2 Koszty inwestycyjne zakupu taboru

W 2017 roku w Lublinie przeprowadzono przetarg na zakup 15 trolejbusów klasy MEGA18. Wyposażenie trolejbusów to: klimatyzacja, system monitoringu, biletomaty oraz bramki zliczające. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 60 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,44 mln zł brutto²⁵. W 2018 roku, także w Lublinie przeprowadzono postępowanie na zakup taboru – 10 sztuk trolejbusów klasy MAXI. Wymogi dotyczące wyposażenia pojazdów były podobne, jak w postępowaniu przeprowadzonym w 2018 roku. Wybrany oferent zaoferował pojazdy z bateriami trakcyjnymi o pojemności 70 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu wyniósł 2,17 mln zł

brutto²⁶. W Gdyni w 2018 roku zakupiono 14 sztuk trolejbusów 12 metrowych z bateriami o pojemności 58 kWh oraz 16 pojazdów MEGA18 o pojemności 87 kWh. Koszt pojedynczego pojazdu klasy MAXI wyniósł 2,29 mln zł brutto za szt., a pojedynczy trolejbus MEGA18 kosztował 3,15 mln zł brutto²⁷. Warto podkreślić, że jedynie w tym postępowaniu wystartował tylko jeden oferent. Zakupu nowego taboru dokonano także w trzecim systemie trolejbusowym – w Tychach, gdzie rozpisano przetarg na dostawę trzech pojazdów klasy MAXI z bateriami nie mniejszymi niż 55 kWh. Koszt pojedynczego trolejbusu wyniósł 2,29 mln zł brutto.

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 technicznego²⁸. Dokonano także rozbudowy sieci trakcyjnej dla trolejbusów. Budowa 2,5 km nowej trakcji (w jedną stronę), podstacji trolejbusowej, przyłączy zasilających na przystankach kosztowała 5,47 mln zł brutto

(1,1 mln zł brutto za km)²⁹. W Tychach 1 km trakcji (w jedną stronę), budowa jednej stacji transformatorowo -prostownikowej, przebudowa sieci trakcyjnej na jednym skrzyżowaniu z połączeniem projektowanej sieci z istniejącą siecią kosztowała 8,73 mln zł brutto³⁰.

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

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

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

²⁸ http://mpk.lublin.pl/?id_site=1&id=1184 (dostęp: 10.07.2018)

²⁹ <https://biuletyn.lublin.eu/zdm/zamowienia-publiczne/zakonczone/2016/2016-12-14-roboty-budowlane-przetarg-nieograniczony-na-budowe-trakcji-trolejbusowej-w-ul-j.-pawla-ii-odul-granitowej-do-al-krasnickiej-w-al-krasnickiej-od-ul-j.-pawla-ii-dopetli-trolejbusowej-i-na-skrzyzowaniu-ul-j.-pawla-ii-i-ul-/> (dostęp: 10.07.2018)

³⁰ <https://bazakonkurencyjnosci.gov.pl/publication/view/1082889#infowky> (dostęp: 10.07.2018)

4.3.4 Możliwość wprowadzenia trolejbusów w Kaliszu

Docelowo udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie operatora kaliskiej komunikacji miejskiej powinien wynosić 30%. KLA sp. z o. o. posiada w swojej flocie 63 pojazdy (52 pojazdy w ruchu), co oznacza, że powinna posiadać 19 pojazdów zeroemisyjnych (16 w ruchu, zakładając ten sam poziom wskaźnika wykorzystania autobusów co obecnie). Wymianę autobusów spalinowych na trolejbusy założono w stosunku 1 do 1. Najbardziej optymalny wariant uruchomienia trakcji trolejbusowej obejmowałby wymianę autobusów kursujących na liniach 1, 2, 5, 8, 16, 18, 19, ponieważ tworzą one wiązkę linii na możliwie długich wspólnych odcinkach trasy. Obecnie linie te w szczycie komunikacyjnym obsługiwane są przez łącznie 16 autobusów typu MAXI. Trasa linii 5, 8 będzie w całości będzie pokryta siecią trakcyjną, natomiast linie 1, 2, 16, 18, 19 nie będą miały sieci trakcyjnej na całej trasie, gdyż zakłada się kursowanie trolejbusów z napędem pomocniczym. Linia 1 nie będzie posiadała sieci trakcyjnej na fragmencie trasy od ulicy Łódzkiej do przystanku Leśna Winiary Pętla,

natomiast linia 2 na ulicy Poznańskiej od skrzyżowania z ulicą Korczaka do pętli Poznańska Kampus PWSZ. Linia 16 nie będzie posiadała trakcji na ulicy Polnej od skrzyżowania z Legionów do przystanku Obozowa Pętla. Linia 18 również nie będzie posiadała trakcji na Alei Wojska Polskiego od skrzyżowania z Skłodowskiej-Curie przez ulicę Wrocławską do skrzyżowania z Górnośląską oraz na ulicy Długiej od skrzyżowania z Stawiszyńską do przystanku Długa Pętla. Na trasie linii 19 nie przewidziano sieci trakcyjnej na ulicy Stawiszyńskiej od skrzyżowania z Długą do przystanku Godebskiego Pętla. 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, a także takie, na których nie jest możliwa obsługa trakcją trolejbusową. Łączna długość sieci trakcyjnej dla trolejbusów w Kaliszu docelowo może wynieść 50,5 km (w tym jest 2,7 km odcinka jednokierunkowego).

Tab. 4.9 Koszty netto zakupu trolejbusów

Tabor	Koszt netto zakupu trolejbusu	Liczba nabywanych pojazdów	Łączny koszt netto zakupu taboru
Maxi 12m	1,80 mln zł	19	34 200 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

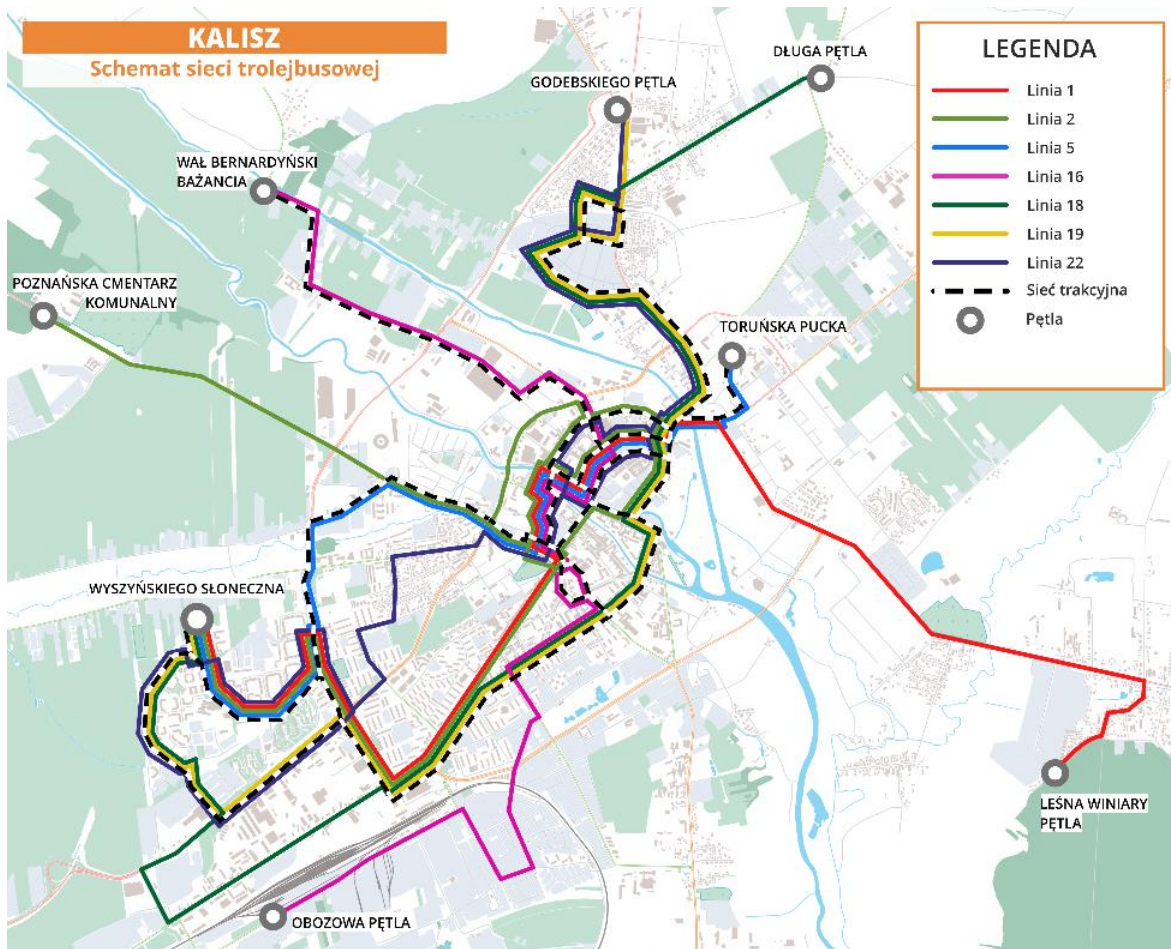
Do obsługi liniowej będzie potrzebne 16 trolejbusów klasy MAXI, dodatkowo zakłada się również rezerwę 3 sztuki. Koszt budowy 1km sieci trakcyjnej w jedną stronę szacuje się na 2 mln zł netto. Istotnym elementem są podstacje

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

Tab. 4.10 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów

Koszt netto	Wartość netto zakupu
Dostosowanie zajezdni do obsługi trolejbusów	12,20 mln zł
Zakup taboru	34,20 mln zł
Koszt budowy sieci trakcyjnej	101,00 mln zł
Koszt budowy podstacji trakcyjnych	18,90 mln zł
Łączne nakłady inwestycyjne	166,30 mln zł

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4.4 Schemat analizowanej sieci trolejbusowej

Źródło: Opracowanie własne

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

4.4.1 Możliwość odtwarzania floty wyłącznie o autobus napędzane silnikami wysokoprężnymi

Eksploatacja wyłącznie autobusów o napędzie spalinowym (uzupełnianych o autobusy inne niż zeroemisyjne) pozwala uniknąć nakładów finansowych na dodatkową infrastrukturę do obsługi pojazdów zeroemisyjnych – budowę sieci trakcyjnej dla trolejbusów, stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem, czy ładowarek do autobusów elektrycznych akumulatorowych. Dodatkowym atutem jest brak konieczności dostosowania istniejącej

infrastruktury (np. zajezdni) do obsługi pojazdów zeroemisyjnych. Na potrzeby analizy przyjęto, że nowe pojazdy o napędzie spalinowym będą mieć normę spalania EURO 6. Na podstawie ostatnich przetargów można założyć koszt pojedynczego autobusu klasy MAXI na poziomie około 0,95 mln zł netto za autobus, a klasy MIDI 0,85 mln zł netto. Koszt jednostkowy pojazdu klasy MEGA18 wynosi około 1,4 mln zł netto.

Tab. 4.11 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym

Klasa pojazdu	Liczba pojazdów	Przeciętna cena jednostkowa netto	Koszt całkowity netto w zł
MAXI	19	0,95 mln zł	18 050 000,00
Koszt całkowity inwestycji:			18 050 000,00

Źródło: Opracowanie własne

4.4.2 Możliwość wprowadzenia autobusów zasilanych gazem CNG i LNG w Kaliszu

Wdrożenie autobusów zasilanych gazem CNG w Kaliszu wiązałoby się z budową nowej stacji na terenie zajezdni operatora lub korzystaniem z obecnej przy ul. Metalowców. Zaletą tych autobusów jest duży zasięg, który pozwala obsłużyć dowolną linię w całej sieci komunikacyjnej. Korzyścią przy wdrożeniu tego rozwiązania jest także ograniczenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery względem autobusów o napędzie konwencjonalnym. Jednak warto dodać, że w myśl ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, autobusy CNG nie są zaliczane do pojazdów zeroemisyjnych. Ich wdrożenie nie pozwoli na

wypełnienie wymogów ustawy, skutkując koniecznością wprowadzenia innych rozwiązań w celu jej spełnienia.

Analogicznie jak w przypadku autobusów zasilanych gazem CNG, wraz z wprowadzeniem do ruchu pojazdów zasilanych LNG w Kaliszu, wiązałoby się z budową nowej infrastruktury (zbiornik kriogeniczny, stanowisko tankowania). Zaletą tych autobusów jest także duży zasięg oraz ograniczenie emisji hałasu i szkodliwych gazów do atmosfery względem autobusów o napędzie konwencjonalnym. Autobusy LNG również nie są zaliczane do pojazdów zeroemisyjnych.

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 poszczególne kryteria. Podstawą ocen były analizy rynku, opinie użytkowników systemów analogicznych do ocenianych oraz doświadczenia innych operatorów. Ocenę przeprowadzono w skali od 1 do 5 dla każdego z wariantów. Oceniono następujące aspekty jakościowe:

- techniczny
 - łatwość wprowadzenia rozwiązania i konieczność budowy nowej lub przebudowy infrastruktury,
 - zasięg oferowany przez rozwiązanie,
 - elastyczność zarządzania taboru i możliwość używania pojazdów na innych liniach – ,
- społeczny
 - liczba potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taboru,
 - potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym,
- dostępności technologicznej
 - dostępność rozwiązania technologicznego w Polsce
- środowiskowy
 - emisja spalin,
 - emisja hałasu,
- ekonomiczno-finansowy
 - koszt wprowadzenia rozwiązania.

Następnie przypisano poszczególnym kryteriom wagi.

Tab. 4.12 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom

l.p.	Aspekt		Waga aspektów szczegółowych		Waga aspektu
			Częstkowa	Łączna	
1.1	Techniczny	łatwość wprowadzenia	0,25	1,00	0,2
1.2		zasięg	0,30		
1.3		elastyczność zarządzania taborom	0,45		
2.1	Społeczny	liczbę potencjalnych pasażerów obsługiwanych linii wybranym typem taboru	0,70	1,00	0,1
2.2		potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania publicznym transportem zbiorowym	0,30		
3.1	Dostępność technologiczna	dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	1,00	0,2
4.1	Środowiskowy	emisja spalin	0,50	1,00	0,3
4.2		emisja hałasu	0,50		
5.1	Ekonomiczno-finansowy	koszt wprowadzenia	1,00	1,00	0,2

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 4.13 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych

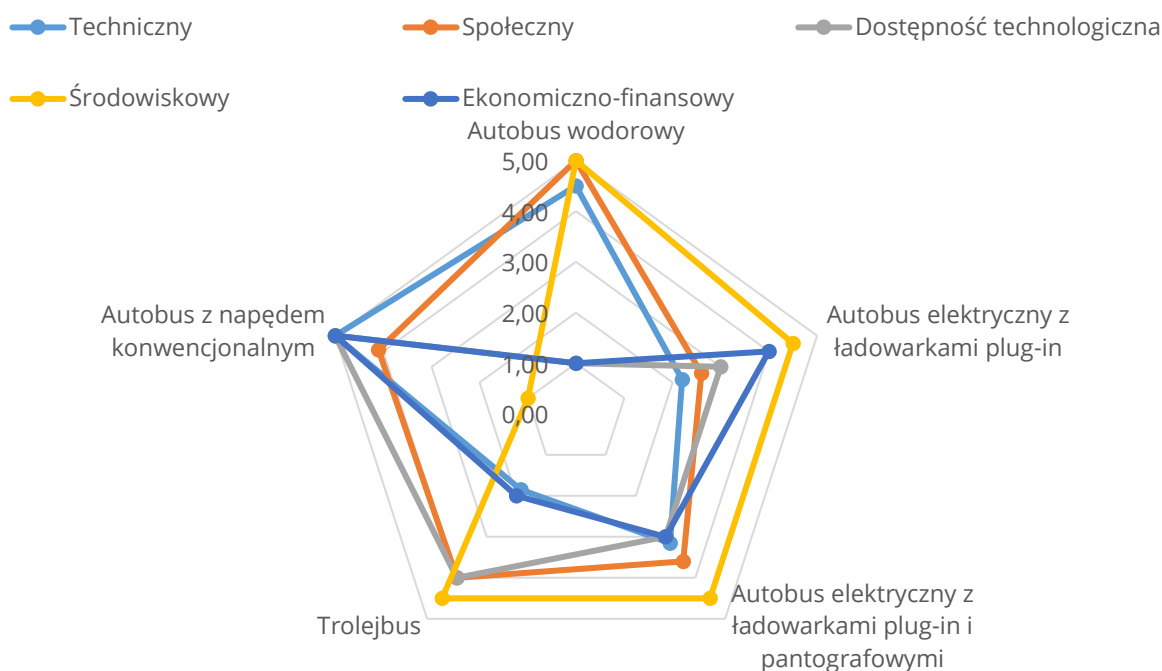
Aspekt szczegółowy	Ocena				
	Autobus napędzany wodorem	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in	Autobus elektryczny akumulatorowy z ładowarkami plug-in i pantografowymi	Trolejbus	Autobus z napędem konwencjonalnym
łatwość wprowadzenia	3,00	4,00	3,00	2,00	5,00
zasięg	5,00	1,00	2,00	3,00	5,00
elastyczność zarządzania taborom	5,00	2,00	4,00	1,00	5,00

liczbę potencjalnych pasażerów linii obsługiwanych taborem	5,00	2,00	3,00	4,00	5,00
potencjalny wpływ zastosowania taboru zeroemisyjnego na wzrost zainteresowania	5,00	4,00	5,00	4,00	2,00
dostępność rozwiązania technologicznego	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00
emisja spalin	5,00	4,00	4,00	4,00	1,00
emisja hałasu	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00
koszt wprowadzenia	1,00	4,00	3,00	2,00	5,00

Źródło: Opracowanie własne

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

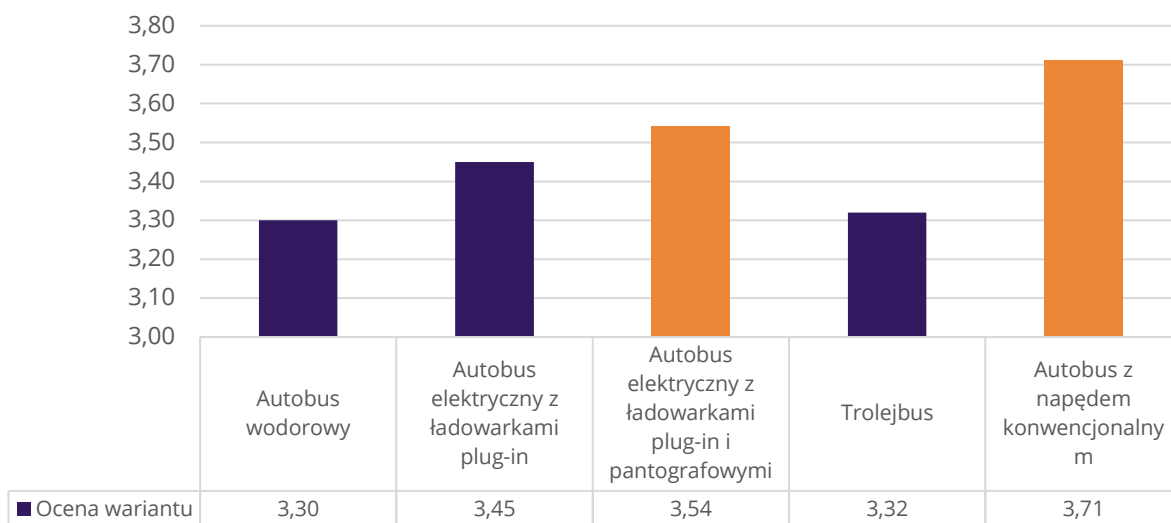
Ocena wariantów w poszczególnych aspektach



Rys. 4.5 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych

Źródło: Opracowanie własne

Ocena wyboru wariantu



Rys. 4.6 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie ocen wyboru wariantów poprzez obliczenie iloczynu ocen wariantów w aspektach szczegółowych z wagami ocen aspektów. **Najlepszym wariantem z minimalną przewagą okazały się autobusy z napędem konwencjonalnym z oceną na poziomie 3,71. Drugie miejsce zajęły autobusy elektryczne akumulatorowe z ładowarkami plug-in i pantografowymi z oceną 3,54. Powyższe dwa warianty będą poddane szczegółowej analizie w następnych rozdziałach.**

Od tej pory, w dokumencie analizowane warianty będą zdefiniowane odpowiednio jako:

- **W0** – wariant bazowy, oparty o odtwarzanie autobusów w oparciu o obecnie stosowane napędy,
- **W1** – wariant inwestycyjny, obejmujący wprowadzenie do floty użytkowanych pojazdów autobusów o napędzie elektrycznym, doładowywanych na krańcach energią z ładowarek pantografowych.

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

W0	W1
Odnowa floty w oparciu o autobusy spalinowe i hybrydowe	<p>Wprowadzenie do eksploatacji 19 szt. autobusów elektrycznych akumulatorowych</p> <p>Całościowo elektryfikowane linie: 1, 5, 11, 12, 12K, 19 i 22,</p> <p>Częściowo elektryfikowane linie: 1A, 1B oraz 2,</p> <p>Uzupełniające elektryfikowane linie: 3A, 3B, 8, 18 oraz 19E,</p> <p>Budowa 10 szt. dwustanowiskowych ładowarek zajezdniowych i 4 szt. ładowarek terenowych szybkiego ładowania przy ul. Wyszyńskiego (2 szt.), ul. Lubelskiej Winiary (1 szt.) oraz ul. Godebskiego (1 szt.),</p> <p>Odnowa pozostałej części floty w oparciu o autobusy spalinowe i hybrydowe</p>

Źródło: Opracowanie własne

5 Analiza finansowa

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

5.1 Założenia i metodyka analizy finansowej

- Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji.
- Przy budowie modelu posługiwano się danymi wyjściowymi dostarczonymi przez Zamawiającego, danymi z dokumentacji technicznej, kosztorysów oraz szacunkami wykonanymi na podstawie metody eksperckiej.
- Analiza została przeprowadzona w latach 2018-2042.
- W analizie przyjęto stopę dyskontową na poziomie 4%.
- Analiza została przeprowadzona w cenach stałych i nie uwzględnia wpływu inflacji.
- Analizę sporządzono w cenach netto (bez podatku VAT).
- Analiza została przeprowadzona w oparciu o model różnicowy,
- Prognoza finansowa została przeprowadzona w okresach rocznych.
- Pierwsze nakłady inwestycyjne w projekcie zostaną podjęte w 2020 roku, a eksploatacja pojazdów rozpocznie się od 2021 roku.
- Wartość rezydualna inwestycji została skalkulowana jako wartość środków trwałych po odpisach amortyzacyjnych w ostatnim roku analizy.
- Wartości kosztów operacyjnych oparto o dane historyczne lub na podstawie metody eksperckiej.
- Założono, że projekt wymiany taboru nie generuje dochodów oprócz wartości rezydualnej.
- Wymiana taboru nie spowoduje wzrostu wielkości popytu, tj. liczby pasażerów oraz wozokilometrów – założono utrzymanie obecnej oferty przewozowej. W 2017 r. z usług kaliskiej komunikacji miejskiej skorzystało łącznie 7,45 mln pasażerów.
- Autobusy elektryczne akumulatorowe realizować będą zwiększoną pracę eksploatacyjną o 30,8% do poziomu średnio ok. 67 tys. wkm rocznie, kosztem autobusów z normą spalania EURO 6 z danej klasy pojazdów.

5.2 Nakłady inwestycyjne

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

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

Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w W1

W1		
Przedsięwzięcie	Rok inwestycji	Wartość
Zakup 4 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2020	8 800 000 zł
Budowa 2 ładowarek wolnego ładowania	2020	260 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Wyszyńskiego Słoneczna	2020	950 000 zł
Przygotowanie infrastruktury energetycznej	2020	600 000 zł
Zakup 4 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2022	8 800 000 zł
Budowa 2 ładowarek wolnego ładowania	2022	260 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej – Wyszyńskiego Słoneczna	2022	600 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2024	13 200 000 zł
Budowa 3 ładowarek wolnego ładowania	2024	390 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Lubelska Winiary Pętla	2024	950 000 zł
Zakup 6 autobusów elektrycznych akumulatorowych typu MAXI o długości 12 m	2027	13 200 000 zł
Budowa 3 ładowarek wolnego ładowania	2027	390 000 zł
Budowa 1 ładowarki pantografowej razem z budową trafostacji i infrastruktury energetycznej – Godebskiego	2027	950 000 zł
Suma:		49 350 000 zł

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych

LINIE	Stopień elektryfikacji linii			
	2021 r.	2023 r.	2025 r.	2028 r.
1	BRAK	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
5	BRAK	CZĘŚCIOWA	PEŁNA	PEŁNA
11	BRAK	BRAK	PEŁNA	PEŁNA
12	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
12K	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA	PEŁNA
19	BRAK	BRAK	BRAK	PEŁNA
22	BRAK	BRAK	BRAK	PEŁNA

Źródło: Opracowanie własne

5.3 Wartość nakładów odtworzeniowych

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

nakłady odtworzeniowe zaplanowano po 8 latach od zakupu autobusu. Dokładną założoną długość eksploatacji dla pojazdów i infrastruktury przedstawiono w Tab. 5.2. Przyjęto także, że obecnie wartość akumulatora stanowi 40% wartości autobusu elektrycznego, a w 2030 roku ich cena spadnie o 25% względem dzisiejszej. W Tab. 5.4 przedstawiono harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w W0 i W1.

Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych

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

Źródło: Opracowanie własne

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

Rok	2018	2019	2020	2021	2022
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	0,00	950 000,00	1 710 000,00	0,00	1 710 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	0,00	950 000,00	570 000,00	0,00	855 000,00
Różnica w zł	0,00	0,00	- 1 140 000,00	0,00	- 855 000,00

Rok	2023	2024	2025	2026	2027
Wartość nakładów odtworzeniowych – W0 w zł	990 000,00	3 800 000,00	5 510 000,00	4 050 000,00	6 210 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	420 000,00	0,00	570 000,00	2 150 000,00	5 355 000,00
Różnica w zł	-570 000,00	- 3 800 000,00	- 4 940 000,00	-1 900 000,00	- 855 000,00

Rok	2028	2029	2030	2031	2032
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	21 290 000,00	16 350 000,00	1 710 000,00	0,00	1 710 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	23 760 000,00	16 350 000,00	2 850 000,00	0,00	4 275 000,00
Różnica w zł	2 470 000,00	0,00	1 140 000,00	0,00	2 565 000,00

Rok	2033	2034	2035	2036	2037
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	990 000,00	3 800 000,00	5 510 000,00	4 050 000,00	6 210 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	420 000,00	0,00	12 790 000,00	2 150 000,00	14 155 000,00
Różnica w zł	- 570 000,00	- 3 800 000,00	7 280 000,00	-1 900 000,00	7 945 000,00

Rok	2038	2039	2040	2041	2042
Wartość nakładów odtworzeniowych - W0 w zł	21 290 000,00	16 350 000,00	1 710 000,00	0,00	1 710 000,00
Wartość nakładów odtworzeniowych – W1 w zł	20 720 000,00	29 550 000,00	570 000,00	0,00	14 055 000,00
Różnica w zł	- 570 000,00	13 200 000,00	-1 140 000,00	0,00	12 345 000,00

Źródło: Opracowanie własne

5.4 Prognoza kosztów operacyjnych wariantów

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

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

Tab. 5.5 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
Koszt zużycia materiałów i części zamiennych	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszty zużycia materiałów i części zamiennych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr. Założono, że koszt ten jest niższy o 30% dla autobusów elektrycznych względem autobusów spalinowych

Koszt	Wariant W0	Wariant W1
Koszt zużycia płynów eksploatacyjnych	Koszt zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszt zużycia płynów eksploatacyjnych wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada mniej płynów eksploatacyjnych niż autobus o napędzie konwencjonalnym
Średnie spalanie ON	Na podstawie danych od przewoźnika	Na podstawie danych od przewoźnika
Koszt 1l ON netto	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 25.09.2018	Został oszacowany na podstawie ceny hurtowej netto Orlen S.A. według stanu na dzień 25.09.2018
Średnie zużycie energii	Nie dotyczy	Na podstawie doświadczeń innych operatorów PKM Jaworzno, MZA Warszawa
Zużycie energii	Nie dotyczy	Koszty zużycia energii zostały oszacowane na podstawie kosztu jednostkowego wyrażonego w zł/1kWh i według taryfy całodobowej dla firm z urządzeniami i poborze większym niż 40kWh, z cennika Energa – Obrót oraz Operator S.A.
Zużycie ogumienia	Koszty zużycia wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszty zużycia ogumienia wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr
Koszt napraw	Koszt napraw wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr	Koszt napraw wyliczono na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na wozokilometr. Dla autobusów elektrycznych obniżono koszt ze względu, że posiada 30% mniej części niż autobus o napędzie konwencjonalnym
Amortyzacja	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%	Przyjęto stawkę amortyzacji dla pojazdów – 20%, dla infrastruktury energetycznej – 5%, dla stacji ładowania – 10%
Podatki i opłaty	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale nr XVI/193/2015 Rady Miejskiej Kalisza	Na podstawie kwoty przedstawionej w Uchwale nr XVI/193/2015 Rady Miejskiej Kalisza
Ubezpieczenia	Koszt ubezpieczenia oszacowano na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na pojazd. Dodano koszt ubezpieczenie AC pojazdów konwencjonalnych na poziomie 18 tys. zł na autobus	Koszt ubezpieczenia oszacowano na podstawie ksiąg rachunkowych w 2017 roku przekazanych przez operatora wyrażonego w zł na pojazd. Dodano koszt ubezpieczenie AC pojazdów konwencjonalnych na poziomie 18 tys. zł na autobus oraz pojazdów elektrycznych na poziomie 40 tys. zł na autobus.
Koszt wynagrodzeń dodatkowych pracowników	Nie dotyczy	Założono, że koszt 1 wozogodziny pracy kierowcy wynosi łącznie 40 zł wraz ze składkami ubezpieczeniowymi i podatkami

Źródło: Opracowanie własne

5.5 Wartość rezydualna

W ostatnim roku analizy wyznaczono wartość rezydualną inwestycji jako wartość aktywów

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

Tab. 5.6 Wartość rezydualna wariantu W1

Wariant W1	
Wartość rezydualna w zł	18 480 000,00
Umorzenie środków trwałych w zł	74 220 000,00
Wartość netto środków trwałych w zł	92 700 000,00

Źródło: Opracowanie własne

5.6 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru

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

- wartość rezydualną,
- koszty operacyjne,

- nakłady inwestycyjne,
- nakłady odtworzeniowe.

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

Tab. 5.7 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego

Kategoria	Wariant W1
FNPV/C	- 40 729 991,47
FRR/C	nieobliczalne

Źródło: Opracowanie własne

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

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

Wielkość kosztów operacyjnych w wariantcie W1 będzie niższa, dzięki oszczędnościom wynikającym z niższych kosztów napraw, części zamiennych oraz przede wszystkim z tytułu niższych kosztów zużycia energii elektrycznej w porównaniu do kosztów zużycia oleju

napędowego w autobusach spalinowych. Obliczono także lukę finansową, jako różnicę pomiędzy zdyskontowanymi nakładami inwestycyjnymi, a dochodami powiększonymi o wartość rezydualną. Wskaźnik ten osiąga poziom 84% i oznacza najwyższy poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji w autobusy zeroemisyjne.

Przeprowadzona analiza finansowa wykazała, iż elektryfikacja komunikacji miejskiej w Kaliszu zaplanowana w wariantcie W1 nie wpłynie na zaburzenie stabilności finansowej Miasta Kalisza w całym okresie analizy. Nie zostanie przekroczony poziom:

- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określonego w art. 243 Ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych, po uwzględnieniu zobowiązań związku współtworzonego przez jednostkę samorządu terytorialnego oraz po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń, obliczonego w oparciu o plan 3 kwartałów roku poprzedzającego rok budżetowy,

- dopuszczalnego wskaźnika spłaty zobowiązań określony w art. 243 ustawy, po uwzględnieniu ustawowych wyłączeń w oparciu o wykonanie roku poprzedzającego

pierwszy rok prognozy (wskaźnik ustalony w oparciu o średnią arytmetyczną z 3 poprzednich lat).

5.7 Analiza wrażliwości wskaźników efektywności finansowej

Kolejnym etapem analizy kosztów i korzyści była analiza wrażliwości, która polega na zbadaniu wpływu 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).

Zmiany procentowe zostały zastosowane do wartości w każdym roku w obu wariantach.

Tab. 5.8 Wyniki analizy scenariuszy

Zmiana:		Wartość FNPV/C	Zmiana FNPV/C
Wartość bazowa		- 40 729 991,47	
Nakłady inwestycyjne	+25%	- 50 673 425,04	24,41%
	+15%	- 46 696 051,61	14,65%
	-15%	- 34 763 931,34	-14,65%
	-25%	- 30 786 557,91	-24,41%
Koszty operacyjne	+25%	- 40 913 999,84	0,45%
	+15%	-40 840 396,50	0,27%
	-15%	-40 619 586,45	-0,27%
	-25%	-40 545 983,10	-0,45%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		- 46 806 456,63	14,92%

Źródło: Opracowanie własne

Za zmienne krytyczne uznaje się takie, których zmiana wartości o +/-1% powoduje zmianę wielkości wartości bazowej FNPV/C (również o

+/-1%). W badanej analizie nie występują takie zmienne krytyczne.

Tab. 5.9 Wyniki analizy wrażliwości

Badana zmienna	Wartość FNPV/C po zmianie zmiennej o 1%	Zmiana FNPV/C przy zmianie zmiennej o 1%
Nakłady inwestycyjne (+1%)	- 41 127 728,82	0,98%
Koszty operacyjne (+1%)	-40 737 351,81	0,02%

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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

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

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

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

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

Emitowanie tlenków azotu wpływa negatywnie na zdrowie dzieci, powodując astmę, białaczkę, ograniczony wzrost płuc. Emisja gazów cieplarnianych przyczynia się do:

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

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

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

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

Związek chemiczny	W0	W1	Zmiana
	Wielkość emisji	Wielkość emisji	
SO ₂	-	24,85	24,85
NO _x	228,01	216,79	-11,22
PM 2,5	4,18	4,81	0,62
NHMC/NMVOC	57,53	45,39	- 12,14
CO ₂	86 804,38	95 025,25	8 220,87

Źródło: Opracowanie własne

Z powyższej tabeli można wywnioskować, iż redukcja emisji dotknie tlenki azotu NO_x (o 11,22 Mg), a także metanowe lotne związki organiczne NHMC/NMVOC (o 12,14 Mg). Widoczny jest wyraźny wzrost emisji dwutlenku siarki oraz dwutlenku węgla, gdyż pierwsza z tych substancji emitowana jest podczas produkcji energii elektrycznej.

Jest to spowodowane faktem, iż polski sektor energetyki oparty jest na spalaniu węgla, co

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

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

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

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

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

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

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

- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla gazów cieplarnianych CO₂, wynikających ze struktury produkcji energii elektrycznej w Polsce, wytwarzanej głównie przez elektrownie ciepłownicze, w których paliwem jest węgiel brunatny lub węgiel kamienny,
- wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla dwutlenku siarki SO₂, przewidywanych tylko dla autobusów elektrycznych w wariantcie W1, które są wytwarzane podczas produkcji energii elektrycznej,
- w wariantcie W0 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla szkodliwych substancji emitowanych do niższych warstw atmosfery (NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5),
- w wariantcie W1 - wielkości emisji oraz jej monetyzacji dla emitowanych przez autobusy spalinowe do niższych warstw atmosfery (NO_x, NHMC/NMVOC, PM 2,5) oraz dla szkodliwych substancji (NO_x, NHMC/NMVOC, PM), które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji, a globalnie podczas produkcji energii elektrycznej.

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

Wskaźniki emisyjności wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla autobusów

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

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

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

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

Związek chemiczny	W0	W1	W0	W1	Zmiana kosztów zewnętrznych w wyniku realizacji W1
	Łączna emisja szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w Mg]		Łączny koszt emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych [w zł]		
SO ₂	-	24,85	- zł	2 816 199,59 zł	2 816 199,59 zł
NO _x	228,01	216,79	20 683 811,59 zł	18 659 937,00 zł	- 2 023 874,59 zł
PM 2,5	4,18	4,81	6 541 975,84 zł	5 197 954,36 zł	- 1 344 021,47 zł
NHMC/NMVOC	57,53	45,39	678 246,25 zł	511 163,77 zł	- 167 082,47 zł
CO ₂	86 804,38	95 025,25	18 158 488,22 zł	20 010 111,02 zł	1 851 622,80 zł
SUMA	87 094,11	95 317,08	46 062 521,89 zł	47 195 365,75 zł	1 132 843,85 zł

Źródło: Opracowanie własne

Największą różnicę kosztów emisji szkodliwych substancji, przemawiającą na korzyść wariantu W1 przewidującego rozpoczęcie eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych, można dostrzec w kosztach emisji tlenków azotu NO_x. Korzyści uzyskane na zmniejszeniu emisji NO_x wynoszą będą ok. 2,0 mln zł, jak i również w przypadku pyłków zawieszonych PM 2,5 (ok. 1,3 mln. zł.)

Koszty emisji cząstek stałych niemetalicznych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC, także o ok. 0,2 mln zł. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ koszty emisji wzrosną o ok.1,9 mln. zł.,

z uwagi na emisję tego związku do górnych warstw atmosfery w wyniku produkcji energii elektrycznej opartej na spalaniu węgla.

Największy wzrost kosztów zewnętrznych emisji cechuje dwutlenek siarki SO₂, który powstaje w trakcie produkcji energii elektrycznej – w wariantcie W1 koszty jego emisji do atmosfery wyniosą ok. . 2,8 mln zł.

Podsumowując, realizacja wariantu W1 spowoduje wzrost kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji i gazów cieplarnianych o ok. 1,1 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 szkodliwym dla zdrowia lub niebezpieczny z innych względów, zwykle o dużym natężeniu, częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak

i psychiczny człowieka. Hałas powyżej 85 dB jest w stanie uszkodzić słuch trwale, natomiast niższy poziom hałasu może oddziaływać w bardzo niekorzystny sposób na psychikę, zwiększać ciśnienie krwi, być źródłem powstawania stresu.

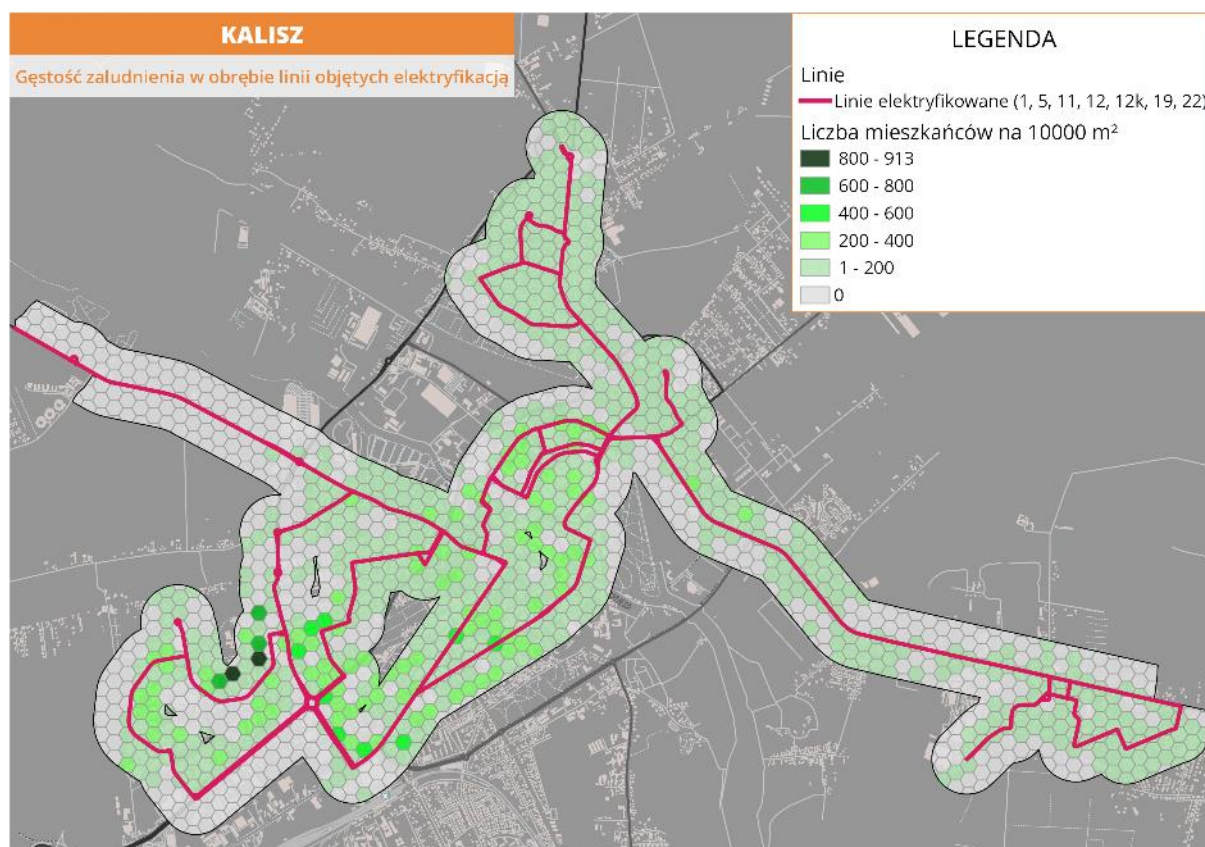
Dla obliczenia kosztów emitowanego hałasu przez autobusy elektryczne oraz spalinowe założono zindeksowaną jednostkową cenę za hałas typowy dla autobusów, wskazaną w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT.

Przy szacowaniu zmonetyzowanych efektów hałasu uwzględniono:

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

- obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych³²,
- gęstość zaludnienia obszaru przyległego na długości 250m od osi jezdni, którymi przebiegają podstawowe warianty linii objętych całkowitą elektryfikacją, tj. 4533,1 os/km²,
- średnią gęstość zaludnienia typowego obszaru miejskiego, dla którego przyjęte zostały krańcowe koszty zewnętrzne hałasu, tj. 3000 os./km², wskazane w opracowaniu Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO-AEA, 2014).

Rys. 7.1 przedstawia gęstość zaludnienia w obrębie 250 metrów od linii obsługiwanych przez autobusy elektryczne akumulatorowe.



Rys. 7.1 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.

Źródło: Opracowanie własne

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

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

elektryfikowanych linii do gęstości zaludnienia typowego obszaru miejskiego, wynoszący 1,5.

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

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

Zmonetyzowany hałas w zł		Zmiana kosztów emitowanego hałasu w zł
W0	W1	
41 920 570,77 zł	37 103 015,86 zł	- 4 817 554,92 zł

Źródło: opracowanie własne

Powyższa tabela wskazuje, że są znaczne korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji hałasu przy eksploatacji autobusów elektrycznych w W1 w postaci ok. 4,8 mln zł w okresie objętym analizą.

Redukcja pozwoli wyciszyć ogólny hałas generowany w ruchu miejskim przez publiczny

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

7.3 Inne korzyści zewnętrzne

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

do niższych warstw atmosfery, co stanowi istotną korzyść dla mieszkańców ośrodków miejskich, w których eksploatowane są pojazdy tego typu. Korzyść tą oszacowano na podstawie różnicy kosztów zewnętrznych emisji szkodliwych substancji przez autobusy spalinowe, liczoną między wariantem W1 (w którym część pracy eksploatacyjnej autobusów spalinowych będzie wykonywana przez zeroemisyjne autobusy elektryczne akumulatorowe) i wariantem W0.

Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery.

Koszty zewnętrzne lokalnej emisji w zł		Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji w zł
W0	W1	
46 062 521,89 zł	34 132 974,64 zł	11 929 547,26 zł

Źródło: opracowanie własne

Zwiększona liczba wozogodzin w wariantcie W1 wygenerowana przez dłuższe postoje wyrównawcze na krańcach, spowoduje konieczność zwiększenia zatrudnienia w grupie

kierowców. Dodatkowe wozogodziny dadzą możliwość znalezienia pracy dla osób pozostających bez zatrudnienia, dając wymierne korzyści dla członków lokalnej społeczności

w formie wynagrodzeń, ale także dla budżetu centralnego i Zakładu Ubezpieczeń Społecznych w postaci dodatkowych składek ubezpieczeniowych oraz zwiększonych poziomów odprowadzanych podatków

dochodowych. Wspomniany aspekt został uznany za kolejną korzyść ekonomiczną tworzoną w wyniku eksploatacji autobusów elektrycznych akumulatorowych w wariantcie W1 – jej wartość prezentuje poniższa tabela.

Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń.

Przyrost poziomu kosztów wynagrodzeń w zł		Zmonetyzowane korzyści społeczne ze zwiększenia zatrudnienia w zł
W0	W1	
-	10 512 000,00 zł	10 512 000,00 zł

Źródło: opracowanie własne

7.4 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

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

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

W obliczeniu wskaźnika efektywności ekonomicznej uwzględniono następujące elementy:

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

Wykorzystano także, współczynniki korekty w analizie ekonomicznej, które zaprezentowano w Tab. 7.5. Współczynniki korekty stosuje się w celu skorygowania przepływów finansowych o wartość podatków pośrednich oraz ceny ukryte.

Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej

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

Źródło: Opracowanie własne

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

- ekonomiczną wartością bieżącą netto (ENPV, ang. economic net present value), która dla projektów efektywnych jest większa od zera, a składa się na nią suma zdyskontowanych

przepływów kosztów i korzyści. Dodatnia wartość wskaźnika oznacza, że projekt korzystny z ekonomicznego punktu widzenia.

- ekonomiczną stopę zwrotu (ERR, ang. economic rate return) określa ekonomiczny zwrot z projektu. Dla projektów efektywnych

stopa jest wyższa niż społeczna stopa dyskontowa na poziomie 4,5%

- relację korzyści do kosztów (B/C, ang. benefits to cost), która powinna być wyższa od jedności. Oznacza to, że wartość korzyści projektu przekracza wartość kosztów projektu.

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

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

Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej

Wskaźnik	Wartość
ENPV	- 20 028 910,01 zł
ERR (%)	-10,81%
B/C	0,49

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).

Zmiany procentowe zostały zastosowane do wartości w każdym roku w obu wariantach.

Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
Wartość bazowa		-20028910,01		-10,81%		0,49	
Nakłady inwestycyjne	+25%	-28417341,86	41,88%	-12,32%	14%	0,40	-18%
	+15%	-25061969,12	25,13%	-11,78%	9%	0,43	-11%
	-15%	-14995850,90	-25,13%	-9,55%	-12%	0,56	15%
	-25%	-11640478,16	-41,88%	-8,44%	-22%	0,62	27%
Koszty operacyjne	+25%	-20165381,59	0,68%	-10,92%	1%	0,49	0%
	+15%	-20110792,96	0,41%	-10,87%	1%	0,49	0%

Zmiana:		ENPV	Zmiana ENPV	Wartość ERR	Zmiana ERR	B/C	Zmiana B/C
Wartość bazowa		-20028910,01		-10,81%		0,49	
	-15%	-19947027,07	-0,41%	-10,74%	-1%	0,49	0%
	-25%	-19892438,44	-0,68%	-10,70%	-1%	0,49	0%
Nakłady inwestycyjne +15%, koszty operacyjne +15%		-25143852,07	25,54%	-11,84%	10%	0,48	-12%

Źródło: Opracowanie własne

Za zmienne krytyczne uznaje się zmienne, których zmiana ich 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 zeroemisyjnych będzie efektywne ekonomicznie, gdy nakłady inwestycyjne obniżą się o 59,7%

Tab. 7.8 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%)	- 20 364 447,29	1,68%	-59,7%
Koszty operacyjne (+1%)	- 20 034 368,88	0,03%	-

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

Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki

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

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

Źródło: Opracowanie własne

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

Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt

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

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka

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

Legenda:

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

Źródło: Opracowanie własne

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

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

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

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

Źródło: Opracowanie własne

Wprowadzenie autobusów elektrycznych akumulatorowych jest podatne na różne ryzyka, których zakres i prawdopodobieństwo wystąpienia są często niezależne od jednostek zajmujących się organizacją i zarządzaniem

publicznym transportem zbiorowym. Niemniej jednak podejmowanie wyżej wymienionych działań zapobiegawczych ryzykom pozwala na skuteczną i efektywną elektryfikację komunikacji miejskiej.

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

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

- niską podłogę,
- możliwość tzw. przykłąku,
- platformę ułatwiającą wjazd i wyjazd wózka inwalidzkiego,
- miejsce dla wózków inwalidzkich,
- wyposażenie z urządzeniami sygnalizacyjnymi dla pasażerów – przyciski STOP,
- odpowiednią liczbę drzwi z odpowiednią szerokością i rozmieszczeniem,
- automatyczną skrzynię biegów,
- jeden z napędów wymienionych w Planie,
- jednolite kasowniki,
- tablice kierunkowe informujące o linii,
- posiadać monitoring, sterowanie świateł oraz SIP.

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

Począwszy od 2019 r., zgodnie z założeniami w wariantach W0 i W1, każdy wprowadzanych do eksploatacji pojazd o napędzie konwencjonalnym powinien być wykorzystywany maksymalnie przez 10 lat licząc od daty produkcji, a elektryczny przez 15 lat.

Warto nadmienić, iż struktura wielkościowa taboru nie powinna ulec znaczącym zmianom, gdyż nowe autobusy powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane modele we flocie, gwarantując wciąż dopasowanie wielkości pojazdów do popytu efektywnego na przewozy w komunikacji miejskiej. Wszelkie zmiany w strukturze typów taboru przeznaczonego do obsługi komunikacji miejskiej powinny być oparte na wynikach obserwacji własnych napełnień autobusów oraz wynikach szczegółowych badań marketingowych wielkości popytu na usługi kaliskiej komunikacji miejskiej.

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

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

W perspektywie do 2028 r. powinny zostać wycofane z eksploatacji:

- 1 pojazd Volvo B10BLE (wymieniony na 1 pojazd o napędzie konwencjonalnym z normą EURO 6),
- 1 autobus Volvo 7700 (rekomenduje się wymianę na używany z normą spalania EURO 6),
- 5 pojazdów Scania (rekomenduje się wymianę na używane z normą spalania EURO 6).
- 11 sztuk Solaris Urbino 12 z emisją spalania EURO 5 rekomenduje się wymianę na pojazdy o napędzie konwencjonalnym z normą EURO 6),
- 2 autobusy Solaris Urbino 10 5 (rekomenduje się wymianę na pojazdy o napędzie konwencjonalnym z normą EURO 6),
- 2 pojazdy Iveco Kapena (rekomenduje się wymianę na pojazdy o napędzie konwencjonalnym z normą EURO 6),
- 3 autobusy Solaris Urbino 18 (rekomenduje się wymianę na pojazdy o napędzie konwencjonalnym z normą EURO 6).

Tab. 9.1 Rekomendowana wymiana taboru dla wariantu W0 na lata 2019-2027

Typ taboru	Pojazd nowy/używany	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
MINI	nowy								2	
	używany									
MIDI	nowy									2
	używany									
MAXI	nowy	1				2	4		7	
	używany		6		6			6		6
MEGA18	nowy					1				
	używany									2
SUMA	nowy	1				3	4		9	2
	używany		6		6			6		8
	łącznie	1	6		6	3	4	6	9	10

Źródło: Opracowanie własne

Obecną strukturę floty komunikacji miejskiej w zakresie struktury napędowej pojazdów uznaje się za optymalną – zalecane jest utrzymanie co najmniej 25% udziału autobusów niskoemisyjnych z obniżoną emisją szkodliwych substancji (np. autobusów hybrydowych).

Wybór podmiotu odpowiedzialnego za realizację przedsięwzięć wymiany taboru będzie uzależniony od wielu uwarunkowań o charakterze formalno – finansowym. Należy przy tym zaznaczyć, iż zakup taboru przez operatora w krótkim okresie wpływać będzie na wzrost

rekompensaty za świadczenie usług komunikacji miejskiej, w związku ze zwiększoną amortyzacją pojazdów.

W kolejnych latach wraz z rozwojem technologii i spadkiem cen autobusów zeroemisyjnych wynik następnej analizy kosztów i korzyści może wskazywać na zasadność wprowadzenia ich do eksploatacji, niezależnie od zastosowanych rozwiązań technicznych. **Wskaźnik ENPV osiągnie wartość dodatnią, jeśli cena autobusu elektrycznego akumulatorowego typu MAXI obniży się z zakładanego w**

analizie poziomu 2 200 000 PLN netto do ok. 1 050 000 PLN netto

Niezależnie od wyników niniejszej analizy, Gmina Miasto Kalisz deklaruje gotowość do wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych, przy uzyskaniu środków zewnętrznych na ten cel. Realizacja zakupu powinna zostać poprzedzona odpowiednią analizą wykonalności inwestycji, w tym np. analizą kosztów i korzyści sporządzoną wyłącznie w zakresie np. linii zdefiniowanej do elektryfikacji, w przeciwieństwie do

niniejszego dokumentu, w którym analizowany jest kompleksowo cały system komunikacji miejskiej w Kaliszu.

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

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

Na podstawie art. 9 ustawy z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym gminy, którym powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia między gminami, których obszar liczy łącznie co najmniej 80 000 mieszkańców mają obowiązek sporządzenia planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 maja 2011 roku w sprawie szczegółowego zakresu planu zrównoważonego rozwoju publicznego

transportu zbiorowego w paragrafie 4 określa szczegółowo zawartość planu transportowego. Wymagania zostały przedstawione w poniższej tabeli razem ze wskazaniami dotyczącymi konieczności aktualizacji planu.

Wyniki niniejszej analizy kosztów i korzyści wskazują, że wprowadzanie do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych w kaliskiej komunikacji miejskiej nie jest zasadne, niemniej jednak przewiduje się konieczność aktualizacji planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego.

Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego

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

Zakres	Konieczność aktualizacji
koordynacji połączeń różnych rodzajów środków transportu	Nie wymaga aktualizacji
regulaminów przewozu osób	Nie wymaga aktualizacji
Przewidywane wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania	
linie komunikacyjne, na których przewidywane jest wykorzystanie pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym, oraz planowany termin rozpoczęcia ich użytkowania.	<p>Dotyczy rozdziału 11.:</p> <p><i>Planowana jest elektryfikacja wybranych linii komunikacji miejskiej w Kaliszu, na których powinny być eksploatowane pojazdy elektryczne:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ całościowo elektryfikowane linie: 1, 5, 11, 12, 12K, 19 oraz 22 ■ częściowo elektryfikowane linie: 1A, 1B oraz 2, ■ uzupełniające elektryfikowane linie: 3A, 3B, 8, 18, 19E. <p><i>Wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych do eksploatacji będzie następowało sukcesywnie po uzyskaniu stosownych dofinansowań na zakup taboru i infrastruktury ładowania np. z programów krajowych lub wspólnotowych.</i></p>
geograficzne położenie stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zwanej dalej „infrastrukturą ładowania”	<p><i>W przypadku elektryfikacji wyżej wymienionych linii, infrastruktura ładowania pojazdów zeroemisyjnych zostanie zlokalizowana:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ na terenie zajezdni Kaliskich Linii Autobusowych Sp. z o.o. ■ przy pętli autobusowej: Wyszyńskiego (2 szt.), ■ przy pętli autobusowej: Godebskiego (1 szt.) ■ przy pętli autobusowej: Lubelska Winiary (1 szt.).
miejsce przyłączenia do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej – planowanej infrastruktury ładowania	<i>Szczegółowe lokalizacje miejsc przyłączy do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej w pobliżu infrastruktury ładowania będą ustalane z dostawcą energii.</i>
sieci dystrybucyjnej gazowej – planowanej stacji gazu ziemnego	Nie wymaga aktualizacji
Planowane magazyny energii	Nie wymaga aktualizacji

Źródło: Opracowanie własne

11 Finansowanie inwestycji ze źródeł zewnętrznych

W celu zapewnienia finansowania inwestycji możliwe jest pozyskanie środków ze źródeł zewnętrznych, takich jak programy krajowe czy unijne. Wskaźnik luki finansowej wyniósł 84%, co oznacza, że tyle może wynieść najwyższy poziom dofinansowania zewnętrznego inwestycji w autobusy zeroemisyjne.

Jednym z najważniejszych programów, umożliwiających uzyskanie dofinansowania ze środków unijnych jest Regionalny Program Operacyjny Województwa Wielkopolskiego w ramach działań związanych z redukcją emisji zanieczyszczeń powietrza, szczególnie w obszarze mobilności miejskiej.

Kolejnym źródłem finansowania może być Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ), wdrażany przez Centrum Unijnych

Projektów Transportowych. W ramach POIiŚ możliwe jest dofinansowanie projektów związanych z rozwojem transportu publicznego, w tym transportu miejskiego zeroemisyjnego. Na przełomie 2018/2019 prowadzony będzie nabór w trybie konkursowym wniosków o dofinansowanie w ramach *Osi Priorytetowej VI – Rozwój niskoemisyjnego transportu zbiorowego w miastach* oraz *Działania 6.1 – Rozwój publicznego transportu zbiorowego w miastach*, dotyczących wdrażania napędu elektrycznego na liniach komunikacji miejskiej. Projekt ten dostępny jest dla miast wojewódzkich i ich obszarów funkcjonalnych, miast średnich tracących funkcje społeczno-gospodarcze. Kalisz nie został ujęty w wykazie miast stanowiących potencjalnych beneficjentów konkursu.



Rys. 11.1 Zeroemisyjny autobus Solaris Urbino electric

Źródło: Zbiory własne

Nową możliwością pozyskania wsparcia jest Fundusz Niskoemisyjnego Transportu (zarządzanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej), którego zadaniem będzie finansowanie

projektów związanych z rozwojem elektromobilności oraz transportem opartym na paliwach alternatywnych. Szacowane jest, że w ciągu najbliższych 10 lat na ten cel przeznaczone zostaną środki w wysokości około 1 mld zł.

Spis tabel

Tab. 3.1 Wielkość zrealizowanej pracy eksploatacyjnej w wozokilometrach w latach 2015-2017	14
Tab. 3.2 Przebieg tras linii komunikacji miejskiej w Kaliszu- stan na 01.09 2018 r.	15
Tab. 3.3 Wysokość rekompensaty w ostatnich latach.....	19
Tab. 3.4 Przedsięwzięcia realizowane w ostatnich latach (stan na dzień 05.09.2018).....	21
Tab. 3.5 Struktura pojazdów według norm spalania i typu pojazdów w lipcu 2018 roku (stan na dzień 05.09.2018).....	22
Tab. 3.6 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w lipcu 2018 roku.....	23
Tab. 3.7 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2021 roku	24
Tab. 3.8 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2023 roku	24
Tab. 3.9 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2025 roku	24
Tab. 3.10 Struktura pojazdów według wieku i typu pojazdów w styczniu 2028 roku.....	24
Tab. 3.11 Średnie zużycie oleju napędowego, roczna liczba przejechanych kilometrów oraz liczba autobusów	26
Tab. 3.12 Średnia roczna emisja gazów i substancji szkodliwych wszystkich we wszystkich pojazdach eksploatowanych przez Operatora.....	27
Tab. 3.13 Wykorzystanie taboru według typu dnia oraz pojazdu	30
Tab. 3.14 Dane dotyczące zróżnicowania realizowanej liczby wozokilometrów przez poszczególne brygady w dzień roboczy szkolny.....	32
Tab. 3.15 Stan obecny pod względem liczby brygad, stanu taboru oraz wykorzystania pojazdów	33
Tab. 3.16 Długości przerw międzykursowych w kluczowych przedziałach godzinowych w dzień roboczy szkolny	33
Tab. 4.1 Największe systemy autobusów napędzanych wodorem w Europie	36
Tab. 4.2. Parametry eksploatacyjne wybranych modeli autobusów o napędzie wodorowym	36
Tab. 4.3 Zestawienie przykładowych zamówień na autobusy napędzane wodorem w Europie	38
Tab. 4.4 Wybrane zakupy autobusów elektrycznych akumulatorowych polskich miast	40
Tab. 4.5 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	41
Tab. 4.6 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów wyłącznie metodą plug-in	42
Tab. 4.7 Liczba brygad w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i ładowarkę pantografową	44
Tab. 4.8 Stan taboru, wykorzystanie taboru i udział autobusów elektrycznych akumulatorowych w modelu opartym o ładowanie pojazdów metodą plug-in i za pomocą pantografu	45
Tab. 4.9 Koszty netto zakupu trolejbusów.....	47
Tab. 4.10 Koszty netto wprowadzenia do ruchu trolejbusów.....	48
Tab. 4.11 Uśrednione koszty zakupu pojazdów o napędzie konwencjonalnym	49
Tab. 4.12 Analiza wielokryterialna – wagi przypisane kryteriom	51
Tab. 4.13 Ocena wariantów w poszczególnych aspektach szczegółowych	51
Tab. 4.14 Wybrane warianty strategiczne odnowy taboru eksploatowanego w kaliskiej komunikacji miejskiej.....	53
Tab. 5.1 Nakłady inwestycyjne na wymianę taboru w W1	55
Tab. 5.2 Etapowanie elektryfikacji linii komunikacyjnych	55
Tab. 5.3 Okres eksploatacji środków trwałych.....	56
Tab. 5.4 Harmonogram i wysokość nakładów odtworzeniowych w wariantach W0 i W1	56

Tab. 5.5 Opis założeń prognozy kosztów eksploatacyjnych	57
Tab. 5.6 Wartość rezydualna wariantu W1	59
Tab. 5.7 Efektywność finansowa projektu zakupu taboru elektrycznego akumulatorowego.....	59
Tab. 5.8 Wyniki analizy scenariuszy.....	60
Tab. 5.9 Wyniki analizy wrażliwości	60
Tab. 6.1 Różnice emisji spalin w dolnej warstwie atmosfery dla wariantu W1 w stosunku do wariantu W0 [w Mg]	62
Tab. 7.1 Zestawienie kosztów zewnętrznych emisji spalin oraz gazów cieplarnianych na przestrzeni lat 2018-2042	64
Tab. 7.2 Poziom emisji hałasu dla wariantu W0 oraz wariantu W1 na przestrzeni lat 2018-2042	66
Tab. 7.3 Zmiana kosztów zewnętrznych lokalnej emisji szkodliwych substancji do niższych warstw atmosfery.....	66
Tab. 7.4 Korzyści społeczne z tytułu wzrostu wynagrodzeń.	67
Tab. 7.5 Współczynnik korekty CF w analizie ekonomicznej.....	67
Tab. 7.6 Wskaźniki efektywności ekonomicznej	68
Tab. 7.7 Wyniki analizy wrażliwości scenariuszy.....	68
Tab. 7.8 Wyniki analizy wrażliwości	69
Tab. 8.1 Zidentyfikowane ryzyka i ich przyczyny i skutki.....	70
Tab. 8.2 Skala prawdopodobieństwa	71
Tab. 8.3 Siła oddziaływania na projekt.....	72
Tab. 8.4 Macierz oceny ryzyka	72
Tab. 8.5 Zidentyfikowane ryzyka, działania zapobiegawcze oraz możliwość wpływu na ryzyko	72
Tab. 9.1 Rekomendowana wymiana taboru dla wariantu W0 na lata 2019-2027	75
Tab. 10.1 Zakres wymagań i konieczność aktualizacji planu transportowego	77

Spis ilustracji

Rys. 1.1 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	6
Rys. 2.1 Oznakowanie autobusu zeroemisyjnego	8
Rys. 2.2 Trolejbus w Lucernie	10
Rys. 2.3 Autobus elektryczny akumulatorowy w Jaworznie	10
Rys. 2.4 Autobus elektryczny akumulatorowy na stacji szybkiego ładowania w Krakowie.....	11
Rys. 2.5 Autobus na ogniwa wodorowe polskiej konstrukcji	11
Rys. 3.1 Przewiezieni pasażerowie w latach 2015-2017.....	15
Rys. 3.2 Autobus Solaris Urbino 12 IV generacji barwach KLA sp. z o.o.	20
Rys. 3.3 Autobus MAN A37 Lion's City HYBRID w barwach KLA sp. z o.o.	21
Rys. 3.4 Struktura właścicielska pojazdów wykorzystywanych przez KLA sp. z o.o. (stan na 05.09.2018)	22
Rys. 3.6 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w dni robocze szkolne	28
Rys. 3.7 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w sobotę	29
Rys. 3.8 Liczba wozokilometrów na poszczególnych liniach w niedzielę.....	29
Rys. 3.9 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w dzień roboczy	31
Rys. 3.10 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w sobotę	31
Rys. 3.11 Prędkość eksploatacyjna i komunikacyjna na poszczególnych liniach w niedzielę	31
Rys. 4.1 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 18 electric.....	40
Rys. 4.2 Autobus elektryczny akumulatorowy Solaris Urbino 12 electric w barwach PKM Jaworzno ..	42
Rys. 4.4 Linie komunikacyjne z możliwością obsługi pojazdami elektrycznymi wraz z lokalizacjami ładowarek.....	44
Rys. 4.5 Schemat analizowanej sieci trolejbusowej.....	48
Rys. 4.6 Ocena wariantów w aspektach szczegółowych	52
Rys. 4.7 Ocena wyboru wariantów do dalszego etapu AKK	53
Rys. 7.1 Gęstość zaludnienia w obrębie linii objętych elektryfikacją.....	65
Rys. 11.1 Zeroemisyjny autobus Solaris Urbino electric	79

Załączniki

Załącznik 1 Liczba wozokilometrów liniowych i technicznych według typu dnia

Linia	Robocze szkolne			sobota			niedziela		
	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite	techniczne	liniowe	całkowite
1		448,2	448,2		246,9	246,9		403,4	403,4
2		482,9	482,9		234,6	234,6		226,8	226,8
5		237,7	237,7		155,5	155,5		153,3	153,3
6		525,2	525,2		241,9	241,9		209,8	209,8
7		73,9	73,9						
8		69,3	69,3						
9		173,5	173,5						
10		108,6	108,6		108,4	108,4		108,4	108,4
11		775,6	775,6		515,7	515,7		516,5	516,5
12		192,2	192,2		143,2	143,2		167,1	167,1
13		364,8	364,8						
15		365,4	365,4						
16		434,9	434,9		206,0	206,0		154,3	154,3
17		181,3	181,3						
18		251,0	251,0						
19		393,7	393,7		298,8	298,8		402,0	402,0
22		331,6	331,6		155,1	155,1			
12K		689,0	689,0		316,4	316,4		258,7	258,7
19E		1068,8	1068,8		352,9	352,9		352,9	352,9
1A		794,5	794,5		525,6	525,6		262,8	262,8
1B		352,4	352,4		122,7	122,7		155,5	155,5
3A		426,6	426,6		426,6	426,6		426,6	426,6
3B		428,2	428,2		218,4	218,4		218,4	218,4
3C		469,0	469,0		233,4	233,4		204,2	204,2
3D		487,5	487,5						
P	546,8	0,0	546,8	216,69		216,7	209,5	0,0	209,5