



***Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem
autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług
komunikacji miejskiej w Gnieźnie -
PROJEKT DO KONSULTACJI SPOŁECZNYCH***

**OPRACOWANIE ZGODNE Z WYMOGAMI USTAWY Z DNIA 11 STYCZNIA 2018 R.
O ELEKTROMOBILNOŚCI I PALIWACH ALTERNATYWNYCH**



Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

PROJEKT DO KONSULTACJI SPOŁECZNYCH

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

Wykonawca:



Kontakt:
tel.: 22 853 11 93
biuro@ekoefekt.pl

Eko-Efekt Sp. z o.o.,
ul. Modzelewskiego 58A/89,
02-679 Warszawa,
KRS:0000127662,
NIP: 521-008-46-84
Konto bankowe: BOŚ S.A. 08 1540 1102 2001 5701
0009 0001 www.ekoefekt.pl

Spis treści

1. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA.....	3
2. WPROWADZENIE	5
2.1. UWARUNKOWANIA FORMALNO-PRAWNE ROZWOJU EKOLOGICZNYCH PROCESÓW TRANSPORTOWYCH 5	
2.2. ALTERNATYWNE ŹRÓDŁA NAPĘDU W TRANSPORCIE PUBLICZNYM	9
2.2.1. <i>Autobus gazowy</i>	10
2.2.2. <i>Autobus elektryczny</i>	10
2.2.3. <i>Autobus hybrydowy</i>	11
2.2.4. <i>Autobus wodorowy</i>	11
2.3. TECHNICZNE ASPEKTY ROZWOJU TRANSPORTU ZEROEMISyjNEGO W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ.....	12
2.4. ELEKTROMOBILNOŚĆ W KOMUNIKACJI PUBLICZNEJ – STAN OBECNY I PLANY SAMORZĄDOWE	19
3. OPIS STANU AKTUALNEGO	24
3.1. OTOCZENIE SPOŁECZNO-GOSPODARCZE	24
3.2. CHARAKTERYSTYKA SIECI DROGOWEJ GNIEZNA.....	26
3.3. CHARAKTERYSTYKA KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W GNIEŹNIE	28
4. CHARAKTERYSTYKA TABORU AUTOBUSOWEGO UŻYWANEGO W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ	34
4.1. AKTUALNY STAN TABORU.....	34
4.2. PLANY INWESTYCYJNE	37
5. MOŻLIWE WARIANTY INWESTYCYJNE.....	39
5.1. WARIANT BAZOWY	40
5.2. WARIANT W1.....	41
5.3. WARIANT W2.....	43
5.4. ANALIZA JAKOŚCIOWA WARIANTÓW WYMIANY TABORU.....	44
6. KONCEPCJA OBSŁUGI SIECI MIEJSKIEJ AUTOBUSAMI ELEKTRYCZNYMI.....	48
6.1. ANALIZA WYBORU LINII KOMUNIKACYJNYCH OBSŁUGIWANYCH PRZEZ AUTOBUSY ZEROEMISyjNE...	48
6.2. POTENCJALNA LOKALIZACJA STACJI ŁADOWANIA AUTOBUSÓW ZEROEMISyjNYCH.....	56
7. ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI.....	57
7.1. ZAŁOŻENIA OGÓLNE	57
7.2. WARIANTY INWESTYJCJI W AUTOBUSY ELEKTRYCZNE	58
7.3. ANALIZA FINANSOWA	59
7.3.1. <i>Nakłady inwestycyjne</i>	59
7.3.2. <i>Koszty operacyjne</i>	63
7.3.3. <i>Różnicowe przepływy gotówki i efektywność finansowa</i>	69
7.4. ANALIZA SPOŁECZNO-EKONOMICZNA	71
7.5. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI I RYZYKA.....	73
8. EFEKTY ŚRODOWISKOWE WARIANTÓW INWESTYCYJNYCH.....	78
8.1. EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA I GAZÓW CIEPLARNIANYCH.....	78
8.2. EMISJA HAŁASU.....	82
9. WNIOSKI	83
10. LITERATURA.....	86

1. Cel i zakres opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania jest analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych w Gnieźnie.

Wymóg sporządzenia analizy kosztów i korzyści wynika z zapisów *ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych* (Dz.U. 2018 poz. 317), która reguluje funkcjonowanie rynku paliw alternatywnych w transporcie, szczególnie w odniesieniu do energii elektrycznej i gazu ziemnego. Ustawa określa m.in. :

- zasady rozwoju i funkcjonowania infrastruktury paliw alternatywnych,
- obowiązki podmiotów publicznych w zakresie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych;
- obowiązki informacyjne w zakresie paliw alternatywnych;
- krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych oraz sposób ich realizacji.

Zapisy tejże ustawy nakładają na jednostki samorządu terytorialnego, z wyłączeniem gmin i powiatów poniżej 50 000 mieszkańców, obowiązek dotyczący m.in.

- zapewnienia udziału pojazdów elektrycznych na poziomie 30% we flocie użytkowanych pojazdów do 1 stycznia 2025 r. (10% do 2020 r.),
- wykonywania zadań publicznych, z wyłączeniem transportu zbiorowego, wykorzystując co najmniej 30 % pojazdów elektrycznych lub napędzanych gazem ziemnym do 1 stycznia 2025 r. (10% do 2020 r.), a w przypadku zlecenia tych zadań podmiotowi zewnętrznemu, obowiązek przechodzi na ten podmiot,
- świadczenia usługi lub zlecanie świadczenia usługi komunikacji miejskiej podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego wynosi co najmniej 30% do 1 stycznia 2028 r. (5% w 2021 r., 10 % w 2023 r., 20% w 2025 r.),
- sporządzenia co 36 miesięcy analizy kosztów i korzyści związanej z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych,
- do 31 stycznia każdego roku przekazywania ministrowi właściwemu do spraw energii, informacji o liczbie i udziale procentowym pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym w użytkowanej flocie pojazdów, według stanu na 31 grudnia roku poprzedzającego przekazanie tej informacji.

Zgodnie z danymi GUS¹ za 2017 r., gmina miejska Gniezno liczy 68 943 mieszkańców, stąd też zgodnie z zapisami art. 37 wskazanej ustawy, zobligowana jest do sporządzania co 36 miesięcy analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania 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 z późn. zm.)

¹ https://poznan.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_wielkopolskie/portrety_gmin/powiat_gnieznienski/gm_miejska_gniezno.pdf

W myśl zapisów art. 37 ust. 2 tejże ustawy, wymagane jest, aby analiza kosztów i korzyści obejmowała w szczególności:

- a) analizę finansowo-ekonomiczną;
- b) oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi;
- c) analizę społeczno-ekonomiczną, uwzględniającą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji.

Zapisy ustawy wskazują także na konieczność zapewnienia możliwości udziału społeczeństwa w opracowaniu analizy kosztów i korzyści na zasadach określonych w rozdziałach 1 i 3 *ustawy z dnia 3 października o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko* (t.j. Dz.U. 2018 poz.2081).

Analiza kosztów i korzyści odnosi się do stanu obecnego taboru autobusowego operatora komunikacji miejskiej w Gnieźnie oraz różnych wariantów wprowadzania taboru zeroemisyjnego wraz z infrastrukturą dla miasta Gniezno.

Niniejszy dokument został przygotowany w oparciu zasady opracowania analizy kosztów i korzyści wskazane w praktycznym przewodniku dla samorządów².

² Gromadzki M., Zasady opracowywania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Praktyczny przewodnik dla samorządów, Warszawa, czerwiec 2018

2. Wprowadzenie

2.1. Uwarunkowania formalno-prawne rozwoju ekologicznych procesów transportowych

Dynamiczny rozwój transportu jest jednym z głównych elementów warunkujących rozwój gospodarki poprzez realizowanie działań w zakresie przewozu dóbr i towarów. Transport jest także niezwykle istotny z punktu widzenia społeczeństwa i jakości życia człowieka, ponieważ zapewnia możliwość swobodnego poruszania się. Podejmowane działania związane z transportem wpływają jednak na jakość życia każdego z nas, dlatego też dążenie do ograniczenia emisji spalin oraz zużycia paliwa to najważniejsze czynniki powodujące zmiany w sektorze mobilności. Trendy te wymuszają stosowanie innowacyjnych rozwiązań oraz poszukiwanie ich poza tradycyjnym łańcuchem wartości.

Podstawę prawną rozwoju elektromobilności w krajach należących do Unii Europejskiej stanowi dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. Dyrektywa ta zawiera uregulowania prawne na szczeblu europejskim związane z ze zmniejszeniem uzależnienia od ropy naftowej i zminimalizowaniem oddziaływania na środowisko wszystkich gałęzi transportu.

Wskazuje ona także na minimalne wymagania dla utworzenia infrastruktury dotyczącej przede wszystkim punktów ładowania dla samochodów elektrycznych, stacji tankowania LNG i CNG oraz wodoru, jakie mają być realizowane w ramach polityki państw członkowskich. Zawiera także wspólne specyfikacje techniczne dla punktów ładowania i stacji tankowania. Dokument obliguje również kraje członkowskie do opracowania właściwych przepisów prawa regulujących powstawanie sieci dystrybucji nośników paliw alternatywnych dla transportu drogowego, kolejowego, lotniczego, żeglugi śródlądowej oraz morskiej.

Jako główne cele przyjęcia dyrektywy wskazuje się stopniowe zastępowanie paliw ropopochodnych paliwami alternatywnymi, tym samym zmniejszając uzależnienie transportu od importu ropy naftowej i zwiększając bezpieczeństwo energetyczne gospodarki unijnej, a także zmniejszanie emisji zanieczyszczeń ze środków transportu

Politykę unijną opartą na tej dyrektywie wyrażają na polskim gruncie dokumenty i regulacje, zwane tzw. *Pakiem na rzecz czystego transportu*:

- Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce „Energia do przyszłości”,
- Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych,
- Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych.

1. PLAN ROZWOJU ELEKTROMOBILNOŚCI³

Dokument pod nazwą „Plan rozwoju elektromobilności” został przyjęty przez polski rząd 16 marca 2017 r. Plan precyzuje korzyści jakie płyną z promowania stosowania pojazdów elektrycznych w Polsce oraz identyfikuje potencjał gospodarczy i przemysłowy, który się za tym kryje. Wskazuje na związaną z rozwojem elektromobilności poprawę jakości powietrza, zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego, poprawę stabilności pracy sieci elektroenergetycznej oraz rozwój zaawansowanego przemysłu.

³ <http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilno%C5%9Bci.pdf>

W Planie perspektywa rozwoju elektromobilności została uzupełniona o kompleksowy zestaw propozycji instrumentów wsparcia, których wdrożenie przyczyni się do rozwoju przemysłu elektromobilności, wykreowania popytu na pojazdy elektryczne, modernizacji sieci elektroenergetycznej oraz poprawy współpracy nauki z sektorem przedsiębiorstw. W budowę nowych ram sektora elektromobilności musi być włączony zarówno przemysł, przedsiębiorstwa, instytucje finansowe, jak i świat nauki oraz organizacje pozarządowych. Rozwój tego obszaru powinien opierać się na wzajemnym oddziaływaniu różnych instytucji, firm i środowisk.

Dokument proponuje 3 fazy rozwoju elektromobilności w Polsce, które zależne będą od stopienia dojrzałości rynku oraz niezbędnego zaangażowania państwa:

- I FAZA o charakterze przygotowawczym, trwającym do 2018 roku, przewiduje stworzenie warunków rozwoju elektromobilności po stronie regulacyjnej oraz ukierunkowane finansowania publicznego.
- II FAZA (2019-2020) przewiduje, iż w wybranych aglomeracjach zbudowana zostanie infrastruktura zasilania pojazdów elektrycznych: zintensyfikowane zostaną zachęty do zakupu pojazdów elektrycznych. Spodziewana jest komercjalizacja wyników badań z obszaru elektromobilności rozpoczętych w fazie I oraz wdrożenie nowych modeli biznesowych upowszechnienia pojazdów elektrycznych.
- III FAZA (2020-2025) zakłada, że rynek elektromobilności osiągnie dojrzałość, co umożliwi stopniowe wycofywanie instrumentów wsparcia.

2. KRAJOWE RAMY POLITYKI ROZWOJU INFRASTRUKTURY PALIW ALTERNATYWNYCH⁴

29 marca 2017 r. uchwałą Rady Ministrów został przyjęty kluczowy dokumentem programowym dotyczący wsparcia rozwoju rynku i infrastruktury paliw alternatywnych, w tym energii elektrycznej, gazu ziemnego w postaci CNG i LNG oraz wodoru, stosowanych w transporcie drogowym i wodnym.

Krajowe ramy rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych zawierają:

- ocenę aktualnego stanu i możliwości przyszłego rozwoju rynku w odniesieniu do paliw alternatywnych w sektorze transportu,
- krajowe cele ogólne i szczegółowe dotyczące rozbudowy infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych i do tankowania gazu ziemnego w postaci CNG i LNG oraz rynku pojazdów napędzanych tymi paliwami,
- instrumenty wspierające osiągnięcie ww. celów oraz niezbędne do wdrożenia Planu Rozwoju Elektromobilności,
- listę aglomeracji miejskich i obszarów gęsto zaludnionych, w których mają powstać publicznie dostępne punkty ładowania pojazdów elektrycznych i punkty tankowania CNG.

Zapisy dokumentu wskazują, iż do 2020 roku, w 32 wybranych aglomeracjach powinno być rozmieszczonych 6 tys. punktów o normalnej mocy ładowania oraz 400 punktów o dużej mocy ładowania, które będą wykorzystywane przez przynajmniej 50 tys. pojazdów elektrycznych. Jednocześnie w wybranych aglomeracjach ma powstać 70 punktów

⁴ http://bip.me.gov.pl/files/upload/26071/Krajowe_ramy%20_29032017.pdf

tankowania sprężonego gazu ziemnego (CNG) dla szacowanej liczby 3 tys. pojazdów napędzanych tym paliwem.

W kolejnych latach, do roku 2025 zostaną wybudowane 32 ogólnodostępne punkty tankowania sprężonego gazu ziemnego (CNG) i 14 punktów tankowania skroplonego gazu ziemnego (LNG) wzdłuż drogowej sieci bazowej TEN-T oraz instalacje do bunkrowania statków skroplonym gazem ziemnym LNG w portach: Gdańsk, Gdynia, Szczecin, Świnoujście.

Realizacja celów Krajowych ram polityki pozwoli na rozwój innowacyjnego i ekologicznego transportu na terenie Polski, a sam program jest spójny z „Planem rozwoju elektromobilności”.

3. USTAWA O ELEKTROMOBILNOŚCI I PALIWACH ALTERNATYWNYCH⁵

Elektromobilność została uznana za kluczowy element niezbędny do zapewnienia krajowi zrównoważonego, opartego na innowacyjności, rozwoju. Takie cele zostały wskazane w *Ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych*, która po zatwierdzeniu przez rząd weszła w życie 22 lutego 2018 r. Główne cele ustawy skupiają się wokół wspomagania rozwoju rynku pojazdów elektrycznych poprzez oferowanie zachęt finansowych, takich jak zwolnienie z podatku akcyzowego czy objęcie pojazdów firmowych wyższymi stawkami amortyzacji.

Ustawa ma na celu także uregulowanie rynku paliw alternatywnych w Polsce, szczególnie w odniesieniu do energii elektrycznej i gazu ziemnego. Akt prawny ma rozwiązać m.in. problem braku infrastruktury w aglomeracjach, na obszarach gęsto zaludnionych, oraz wzdłuż transeuropejskich drogowych korytarzy transportowych, co pozwoli na swobodne przemieszczanie się pojazdów napędzanych tymi paliwami. Ustawa stworzy system regulacyjny umożliwiający budowę do 2020 roku publicznej infrastruktury ładowania EV, a także tankowania pojazdów CNG i LNG. Inwestycje te mają się przyczynić do rozwoju transportu nisko- i zeroemisyjnego, co z kolei doprowadzi m.in. do zmniejszenia poziomu zanieczyszczenia powietrza.

Akt prawny przewiduje system zachęt dla posiadaczy samochodów elektrycznych, w tym zniesienie akcyzy na samochody o takim napędzie, większe odpisy amortyzacyjne dla firm, zwolnienie ich z opłat za parkowanie czy możliwość poruszania się takich pojazdów po pasach dla autobusów. W dokumencie znalazł się też pomysł wprowadzenia obligatoryjnego udziału pojazdów napędzanych energią elektryczną we flocie części organów administracji centralnej oraz wybranych jednostek samorządu terytorialnego.

Ustawa daje samorządom możliwość wprowadzenia stref czystego transportu, do których wjazd będą miały tylko pojazdy napędzane paliwami alternatywnymi. Będzie to skuteczne narzędzie w walce z zanieczyszczeniem powietrza tzw. niską emisją, do powstania której przyczynia się w dużej mierze wzmożony ruch samochodowy.

Jednym z przewidzianych ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych obowiązków, dotyczących organizatorów i operatorów publicznego transportu zbiorowego, jest wymóg zapewnienia przez jednostki samorządu terytorialnego (z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000) udziału autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów, wynoszącego odpowiednio:

- 1) 5% – od dnia 1 stycznia 2021 r.,
- 2) 10% – od dnia 1 stycznia 2023 r.,
- 3) 20% – od dnia 1 stycznia 2025 r.

⁵ <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/T/D20180317L.pdf>

Ustawa wprowadza także definicje i określenia związane bezpośrednio z transportem zeroemisyjnym, z których wybrane, odnoszące się bezpośrednio do przedmiotu opracowania, zostały wskazane (w kolejności alfabetycznej) poniżej:

autobus zeroemisyjny – autobus w rozumieniu art. 2 pkt 41 *ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym*, 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* oraz trolejbus w rozumieniu art. 2 pkt 83 *ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym*;

infrastruktura ładowania drogowego transportu publicznego – punkty ładowania lub tankowania wodoru wraz z niezbędną dla ich funkcjonowania infrastrukturą towarzyszącą, przeznaczone do ładowania lub tankowania, w szczególności autobusów zeroemisyjnych, wykorzystywanych w transporcie publicznym

ładowanie – pobór energii elektrycznej przez pojazd elektryczny, pojazd hybrydowy, autobus zeroemisyjny, pojazd silnikowy niebędący pojazdem elektrycznym, motorower, rower lub wózek rowerowy, w rozumieniu *ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym*, na potrzeby napędu tego pojazdu;

ogólnodostępna stacja ładowania – stację ładowania dostępną na zasadach równoprawnego traktowania dla każdego użytkownika pojazdu elektrycznego, pojazdu hybrydowego i pojazdu silnikowego niebędącego pojazdem elektrycznym w rozumieniu *ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym*;

operator ogólnodostępnej stacji ładowania – podmiot odpowiedzialny za budowę, zarządzanie, bezpieczeństwo funkcjonowania, eksploatację, konserwację i remonty ogólnodostępnej stacji ładowania

pojazd elektryczny – pojazd samochodowy w rozumieniu art. 2 pkt 33 *ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym*, wykorzystujący do napędu wyłącznie energię elektryczną akumulowaną przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania;

pojazd hybrydowy – pojazd samochodowy w rozumieniu art. 2 pkt 33 *ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym*, o napędzie spalinowo-elektrycznym, w którym energia elektryczna jest akumulowana przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania;

punkt ładowania – urządzenie umożliwiające ładowanie pojedynczego pojazdu elektrycznego, pojazdu hybrydowego i autobusu zeroemisyjnego oraz miejsce, w którym wymienia się lub ładuje akumulator służący do napędu tego pojazdu;

punkt ładowania o normalnej mocy – punkt ładowania o mocy mniejszej lub równej 22 kW, z wyłączeniem urządzeń o mocy mniejszej lub równej 3,7 kW zainstalowanych w miejscach innych niż ogólnodostępne stacje ładowania, w szczególności w budynkach mieszkalnych;

punkt ładowania o dużej mocy – punkt ładowania o mocy większej niż 22 kW;

stacja ładowania:

- a) urządzenie budowlane obejmujące punkt ładowania o normalnej mocy lub punkt ładowania o dużej mocy, związane z obiektem budowlanym, lub
- b) wolnostojący obiekt budowlany z zainstalowanym co najmniej jednym punktem ładowania o normalnej mocy lub punktem ładowania o dużej mocy

– wyposażone w oprogramowanie umożliwiające świadczenie usług ładowania, wraz ze stanowiskiem postojowym oraz instalacją prowadzącą od punktu ładowania do przyłącza elektroenergetycznego.

2.2. Alternatywne źródła napędu w transporcie publicznym

Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, podejmując zagadnienia związane nie tylko z pojazdami napędzanymi energią elektryczną, ale odnosi się również do kwestii związanych z infrastrukturą potrzebną do korzystania z napędów zasilanych skroplonym gazem ziemnym (LNG) i sprężonym gazem ziemnym (CNG). Nakłada ona na podmioty sektora energetycznego, samorządy, zarządy dróg samorządowych i GDDKiA szereg obowiązków związanych z kwestiami infrastruktury do ładowania pojazdów wykorzystujących napędy alternatywne.

Wykorzystanie napędów alternatywnych w pojazdach komunikacji miejskiej ma prowadzić do ograniczenia emisji pyłów i szkodliwych, zarówno dla zdrowia jak i środowiska naturalnego, gazów oraz dwutlenku węgla. W rezultacie umożliwia to całkowitą lub częściową eliminację procesu spalania węglowodoru (benzyny, oleju napędowego).

Głównymi zaletami napędów alternatywnych są niewątpliwie ich walory ekologiczne i ekonomiczne. Podkreślenia wartę są przede wszystkim niższe koszty paliwa alternatywnego, w porównaniu do pojazdów spalających paliwa tradycyjne. Wady i zalety różnych typów autobusów z napędem alternatywnym zostały przedstawione poniżej.

Tabela 1. Wady i zalety różnych typów autobusów z napędem alternatywnym

Rodzaj napędu	Zalety	Wady
Gazowy	• niskie koszty paliwa	• konieczny dostęp do sieci gazowej
Elektryczny	• niskie koszty prądu, • bezemisyjny, • cichy, • dofinansowania unijne,	• wysokie koszty zakupu (do 2,5 razy większe niż diesla), • wysokie koszty wymiany baterii,, • konieczna infrastruktura, • konieczność dopasowania modelu floty autobusowej do potrzeb,
Hybrydowy	• niższe koszty paliwa, • częściowa bezemisyjność	• wysokie koszty zakupu (do 2,5 razy większe niż diesla), • skomplikowanie techniczne, • oszczędności uzależnione od odpowiedniej trasy,
Wodorowy	• bezemisyjny, • cichy, • większy zasięg niż elektrobuse,	• wysokie koszty zakupu (do 2,5 razy większe niż diesla), • brak wymaganej infrastruktury w Polsce

źródło: opracowanie własne na podstawie „Polska na drodze do elektromobilności”

W przypadku pojazdów z napędem alternatywnym problemem może wydawać się ich ograniczony zasięg. Podczas gdy autobusy elektryczne mogą średnio pokonać do 200 km między ładowniami, zasięg pojazdów CNG i LNG oscyluje średnio między 350-400 km w przypadku CNG i 500-550 km w przypadku LNG. Wpływ na ich wykorzystanie ma także ograniczenie w dostępie do stacji tankowania i ładowania, których sieć nadal nie jest rozwinięta na tyle w naszym kraju, aby zapewnić możliwość pokonywania większych dystansów wyłącznie na danym paliwie. Pojazdy elektryczne posiadają dodatkowe ograniczenia wynikające z dłuższego czasu wymaganego do pełnego naładowania akumulatorów. Aspekty

te, mimo iż wpływają niewątpliwie na elastyczność pojazdów z napędem alternatywnym względem autobusów na paliwa konwencjonalne, nie odgrywają istotnej roli w przypadku transportu miejskiego, który porusza się po stałych trasach i relatywnie blisko punktów tankowania/ładowania danego przedsiębiorstwa⁶.

2.2.1. Autobus gazowy

Wykorzystanie autobusów z napędem gazowym CNG (ang. Compressed natural gas) stanowi obecnie najpopularniejszy napęd alternatywny w Polsce, na co wpływ ma łatwość w dostępie do paliwa, a także koszty paliwa w porównaniu do autobusów napędzanych silnikiem m.in. Diesla.

Co więcej, wykorzystanie tego rodzaju paliwa prawie całkowicie eliminuje z produktów spalania sadze i cząstki stałe, przyczyniając się do spadku emisji CO₂ o ok. 20 %, nie jest jednak zeroemisyjny. Autobusy gazowe są też o kilka decybeli (według doświadczeń różnych przewoźników – do 7 dB) cichsze niż autobus tradycyjnie wykorzystywane.

W polskich miastach jeżdżą i miały być dostarczone do końca 2018 r. łącznie 442 autobusy zasilane sprężonym gazem ziemnych. Największy tabor dotyczy Tych (74) i Rzeszowa (69).

Jako wady tego rozwiązania wskazywana jest głównie cena zakupu pojedynczego autobusu, która jest nieco wyższa niż w przypadku autobusów ze standardowym napędem (pojazd standardowy o długości 12 metrów to koszt 800-900 tys. zł, a autobus CNG kosztuje ok. 1 mln zł). Posiadanie autobusów z napędem gazowym wymaga dostępu do sieci gazowej i osobnej stacji tankowania⁷.

2.2.2. Autobus elektryczny

Wśród głównych zalet decydujących o zakupie pojazdów elektrycznych wymienia się przede wszystkim względy ekologiczne – brak spalania paliwa, co w efekcie powoduje brak emisji do atmosfery jakichkolwiek emisji. Co więcej, autobusy te cechuje zmniejszenie hałasu w pojeździe i na zewnątrz niego. Autobusy elektryczne świetnie nadają się na trasy z gęstą, śródmiejską zabudową, do obsługi linii nocnych, prowadzących w pobliżu terenów zielonych czy obiektów wymagających ciszy, np. szkół, czy szpitali.

Kolejną zaletą są koszty źródła zasilającego czyli prądu. Wskazuje się, że koszt zakupu paliwa na przejechanie tego samego odcinka autobusem elektrycznym jest czterokrotnie mniejszy niż zakup paliwa do autobusu z silnikiem Diesla.

Wśród wad natomiast wskazuje się konieczność zapewnienia ładowania baterii, co wymaga przemodelowania sposobu zarządzania flotą autobusową oraz zapewnienia odpowiedniej infrastruktury (ładowanie plug-in, szybkie ładowanie na pętli przy użyciu pantografu lub jego odwróconej wersji). Baterie stanowią element modułowy i wymienny, który w zależności od ilości wpływa na zmniejszenie pojemności pasażerskiej pojazdu i zwiększenie jego masy.

Należy mieć również na uwadze, iż w przypadku autobusów elektrycznych ich zeroemisyjność nie jest całkowita, na co wpływa fakt korzystania z energii powstającej głównie w elektrowniach węglowych. Z założenia jednak autobusy elektryczne mają korzystać z prądu w nocy, czyli

⁶ PSPA, PFR, *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*, Przewodnik dla Jednostek Samorządu Terytorialnego, Przedsiębiorstw Użyteczności Publicznej i Prywatnych przewoźników, Raport specjalny 2018

⁷ ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

wykorzystywać tę część produkcji elektrowni, która obecnie jest tracona. Należy także zauważyć, że układy grzewcze w większości elektrobusów w Polsce są zasilane olejem napędowym.

W polskich miastach jeżdżą i miały być dostarczone do końca 2018 r. łącznie 200 autobusy elektryczne. Największa ich ilość Zielonej Góry (47), Warszawy (31) i Krakowa (26)⁸.

2.2.3. Autobus hybrydowy

Autobusy hybrydowe są pojazdami korzystającymi zarówno z silnika spalinowego, jak i silnika lub silników elektrycznych. Zaliczamy tutaj pojazdy napędzane z zasady silnikiem spalinowym, w których rekuperacja energii podczas hamowania gromadzona jest w bateriach litowo-jonowych, jak i bardziej skomplikowane hybrydy szeregowy, w których silnik spalinowy nie jest bezpośrednio odpowiedzialny za napędzanie kół, ale za napędzanie generatora prądu, który z kolei odpowiada za napęd silnika elektrycznego. Hybrydy w układzie równoległym posiadają możliwość zewnętrznego ładowania, podobnie do autobusu elektrycznego.

Wśród korzyści przemawiających za wykorzystaniem tego typu pojazdów wskazuje się przede wszystkim oszczędność na paliwie, a także tzw. „bezemisyjność w strefie przystanku” – pojazd jest przyjazny w miejscach styku z pasażerami co wynika z zasad pracy hybrydy (silnik elektryczny wykorzystywany jest przy niewielkich prędkościach, ruszaniu i zatrzymywaniu się, natomiast silnik spalinowy włącza się przy długich, szybkich przejazdach).

Energię elektryczną, z której korzystają autobusy hybrydowe, wytwarza sam pojazd, a do jej magazynowania wykorzystują baterie litowo-jonowe lub superkondensatory, które są mniejsze niż baterie wykorzystywane w autobusach elektrycznych.

Niewątpliwą wadą tego typu pojazdów jest ich wysoka cena.

W polskich miastach jeżdżą i miały być dostarczone do końca 2018 r. łącznie 326 autobusy hybrydowe, z czego największy tabor dotyczy Warszawy (54), Częstochowy (40), Sosnowca (34) i Krakowa (30)⁹.

2.2.4. Autobus wodorowy

Autobusy wykorzystujące wodorowe ogniwa paliwowe należą do najbardziej przyjaznych środowisku pojazdów dla transportu publicznego, gdzie prąd potrzebny do jazdy dostarczany jest ze spalania wodoru.

Zaletą autobusów zasilanych w ten sposób jest ich całkowita bezemisyjność, gdyż jako produkt uboczny powstaje wyłącznie para wodna. W porównaniu do klasycznych autobusów elektrycznych, autobusy wodorowe cechuje krótszy czas tankowania, trwający zaledwie kilka minut, a także większy zasięg, sięgający ok. 350-400 km na jednym tankowaniu, co umożliwia pracę przez cały dzień.

Wadą autobusu wodorowego jest wysoka cena zakupu porównywalna z autobusem bateryjnym. Problemem jest też konieczność budowy odpowiedniej infrastruktury. W Polsce nie ma dziś żadnej stacji tankowania wodoru dla autobusów, gdyż wodór, ze względu na swoją lotność i wybuchowość, to paliwo trudne w przechowywaniu i użytkowaniu.

⁸ ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

⁹ ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

2.3. Techniczne aspekty rozwoju transportu zeroemisyjnego w komunikacji miejskiej¹⁰

W ciągu ostatnich lat obserwowany jest daleko idący rozwój w zakresie technologii napędzania pojazdów energią elektryczną. Wykorzystywane są do tego głównie baterie litowo-jonowe o właściwej pojemności, które z powodzeniem mogą być stosowane jako jedyne lub uzupełniające źródło energii w pojazdach komunikacji miejskiej.

Elektryfikacji transportu publicznego sprzyja jego regularny charakter, odbywający się na podstawie zaplanowanego i ustalonego rozkładu jazdy, wyznaczającego trasy, przystanki i godziny odjazdów.

Jednym z głównych czynników wpływających na rozwój miast jest dążenie do zapewnienia wysokiej jakości życia mieszkańców, co wymaga m.in. wprowadzenia niezbędnych zmian w strukturze podróży miejskich, zdominowanych przez samochody osobowe.

Należy podkreślić, że transport jest istotnym źródłem zanieczyszczeń i hałasu w aglomeracjach, które znacznie wpływają na jakość życia mieszkańców. W przypadku ruchu drogowego, odpowiada on za zły stan powietrza w miastach, co nie jest główną przyczyną smogu, ale w istotny sposób podnosi jego poziom. Elektryfikacja transportu może w odczuwalny sposób zmniejszyć poziom zanieczyszczeń oraz hałasu.

Jednym z głównych celów związanych z produkcją samochodów w pełni elektrycznych (*ang. Battery Electric Vehicle; BEV*) jest zastąpienie spalinowej jednostki napędowej – silnikiem elektrycznym, a zbiornika z paliwem – baterią. Silnik elektryczny napędzający pojazd pobiera energię z baterii, mającej możliwość wielokrotnego ładowania. Baterie doładowywane są z zewnętrznego źródła, np. z sieci elektroenergetycznej lub magazynu energii. Możliwość zewnętrznego ładowania baterii poprzez sieć elektroenergetyczną posiadają również pojazdy hybrydowe (*ang. Plug-in Hybrid Electric Vehicle; PHEV*), które wyposażone są także w napęd konwencjonalny. Natomiast pojazdy zasilane ogniwami paliwowymi (*ang. Fuel Cell Vehicle; FCV*) wykorzystują energię elektryczną wytworzoną z wodoru¹¹.

1. Źródło zasilania

Źródło zasilania autobusów elektrycznych stanowią baterie trakcyjne, które dostarczają energią elektryczną prądu stałego o napięciu 500-700 V. Pojazdy elektryczne napędzane są głównie silnikami prądu przemiennego, stąd energia elektryczna prądu stałego z baterii musi zostać przetworzona na prąd przemienny. Do tego służą falowniki trakcyjne zwane inwerterami. Regulacja prędkości pojazdu odbywa się natomiast za pomocą zmiany napięcia i częstotliwości prądu wyjściowego z falownika.

Urządzenia pokładowe zasilane są napięciem przemiennym oraz stałym. Napięciem przemiennym 400 V/230 V zasilane są sprężarka, pompa hydrauliczna układu wspomagania i klimatyzacja, a napięciem stałym 24 V: układy sterowania i tzw. instalacja samochodowa.

W przypadku ogrzewania elektrycznego, może być ono zasilane bezpośrednio napięciem z baterii trakcyjnej lub napięciem obniżonym za pomocą przetwornicy. Autobus elektryczny wyposażony jest także w standardowy akumulator 24 V, który pełni głównie rolę zasilania awaryjnego najważniejszych obwodów pojazdu.

¹⁰ PSPA, PFR, *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*, Raport specjalny 2018

¹¹ PSPA, *Raport: Pojazdy elektryczne jako element sieci elektroenergetycznych*, Warszawa 2018

W pojazdach elektrycznych najczęściej stosowane są akumulatory litowo-jonowe, w których wykorzystanie litu uzasadnione jest jego najwyższym potencjałem elektrycznym (4,05 V). Ogniwa te cechuje także wysoka gęstością energii na poziomie 200 Wh/kg i 400 Wh/L oraz szeroki zakres temperatur pracy: od -40 do +60 °C. W przeciwieństwie do innych technologii, baterie te wyróżnia także: duża liczba cykli pracy wynosząca od setek do dziesiątek tysięcy, brak efektu pamięci oraz niewielkie możliwości samorozładowania (10-15 razy mniejsze od akumulatora kwasowo-ołowiowego).

2. Silniki trakcyjne

Pojazdy elektryczne zasilane są silnikami indukcyjnymi bądź też silnikami z magnesami trwałymi. Częściej spotykanymi są silniki indukcyjne, na co wpływa niższa cena i prostsza budowa. Z kolei silniki z magnesami trwałymi cechują się większą sprawnością a przy tym mniejszą masą.

Silnik ze względu na położenie w konstrukcji może mieć postać:

- stacjonarną (silnik centralny, umieszczony przeważnie przed tylną osią, pod podestami z miejscami siedzącymi, stanowi analogię spalinowego układu napędowego, co zmniejsza jego koszty)
- zintegrowaną z mostem napędowym (silniki indywidualne, oś napędowa zawierająca wbudowane, indywidualne silniki indukcyjne, mniejszych gabarytów, które umożliwiają lepszą aranżację wnętrza autobusu).

3. Dostępne systemy ładowania pojazdów elektrycznych

Zasięg autobusów elektrycznych zależy jest od wielu czynników, m.in. pojemności baterii, warunków eksploatacji, czynników atmosferycznych czy natężenia ruchu i wynosi obecnie 120 – 230 km.

Ładowanie pojazdów elektrycznych realizowane jest z wykorzystaniem stacji ładowania, których głównym celem jest odpowiednie dostosowywanie energii elektrycznej pobieranej z systemu elektroenergetycznego na potrzeby zasobnika energii.

W zależności od metody ładowania można wyróżnić kilka wariantów transformacji energii elektrycznej, m.in.: wyprostowanie napięcia przemiennego na stałe (ładowanie stałym napięciem), dostosowanie poziomu napięcia (ładowanie napięciem przemiennym) oraz zmianę częstotliwości i wartości napięcia (ładowanie indukcyjne).

➤ Ładowanie wtykowe

Ładowanie przewodowe (ang. Plug In) może odbywać się napięciem stałym lub przemiennym, do którego, w zależności od napięcia ładowania, wykorzystuje się specjalne wtyki. Wtyki mogą być na prąd stały, na prąd przemienny oraz tzw. kombinowane umożliwiające ładowanie zarówno prądem stałym jak i przemiennym. Proces ładowania obostrzony jest szeregiem norm, które określają m.in. maksymalny prąd ładowania. Podstawową wadą tego typu metody jest konieczność podłączenia przewodów ładujących do pojazdu.

➤ Ładowanie za pomocą pantografu

Ładowanie autobusów za pomocą pantografu jest obecnie najpopularniejszą metodą zasilania autobusów elektrycznych, co związane jest z brakiem konieczności dodatkowej obsługi przez personel podczas uruchamiania ładowania.

Po zatrzymaniu autobusu w wyznaczonym miejscu następuje połączenie ze stacją ładującą za pomocą pantografu. 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.

Proces ładowania jest stale monitorowany m.in. dzięki komunikacji bezprzewodowej pomiędzy autobusem a stacją ładującą.

➤ **Ładowanie bezprzewodowe (indukcyjne)**

Ten typ ładowania nie jest szeroko rozpowszechniony i wiązane są z nim obecnie duże nadzieje, co wynika z możliwości ładowania bez konieczności bezpośredniego połączenia galwanicznego pomiędzy stacją ładującą a pojazdem.

Stacja ładowania może być zasilana napięciem stałym lub przemiennym, a układ ładowania zbudowany jest z dwóch części: uzwojenia pierwotnego stacji ładującej umieszczonego w nawierzchni jezdni oraz uzwojenia wtórnego montowanego w podłodze pojazdu, zazwyczaj opuszczanego na czas ładowania w celu uzyskania maksymalnej sprawności przesyłu bezprzewodowego. Układ pozwala na doładowywanie pojazdu podczas postoju na przystanku w trakcie wsiadania i wysiadania pasażerów. W większości przypadków linia autobusowa wyposażona w przystanki z ładowarkami indukcyjnymi pozwala na ciągłą pracę autobusów bez konieczności specjalnego zjeżdżania do zajezdni w celu doładowania baterii¹².

Mając na uwadze wielorakość kryteriów dotyczących podziałów systemów ładowania pojazdów elektrycznych, możemy wyróżnić podział na strategię ładowania z eksploatacyjno-ruchowego punktu widzenia oraz podział na metody ładowania z punktu widzenia technicznego.

Wybór konkretnego modelu ładowania pojazdów elektrycznych zależy od wielu czynników, przede wszystkim od wielkości tego rodzaju floty, możliwości realizacji dedykowanej tej infrastruktury oraz kosztów realizacji.

Strategie ładowania z eksploatacyjno-ruchowego punktu widzenia obejmują:

- ładowanie stacjonarne – nocne w zajezdni, małą mocą 30-60 kW,
- ładowanie stacjonarne – nocne w zajezdni wraz z doładowywaniem w ciągu dnia za pomocą stacji ładowania o średniej (100-200 kW) lub dużej mocy (300-600 kW),
- ładowanie szybkie na pętlach końcowych dużą mocą (300-600 kW),
- ładowanie dynamiczne w ruchu (In Motion Charging, dotyczy głównie trolejbusów,)

Opis technicznych metody ładowania został wskazany w tabelach poniżej¹³.

¹² Dobrzycki A, i inni, *Zasilanie układów ładowania akumulatorów autobusów elektrycznych*, Poznań University of the Technology Academic Journals, Electrical Engineering No 92, 2017

¹³ Opracowanie własne na podstawie: *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*,

Tabela 2. Opis ładowania za pomocą łącza stykowego

	Opis techniczny	Sposoby umieszczenia
Ładowanie wtykowe	- dostarczenie energii elektrycznej za pomocą przewodu zakończonego wtyczką, - moc ładowania do 60 kW, - strategia ładowania nocnego, - niższy koszt inwestycji w infrastrukturę	- zabudowane w pojeździe (łatwiejsza budowa infrastruktury i większa elastyczność ładowania, ale również wzrost masy pojazdu), - rozwiązanie stacjonarne (zmniejszenie masy pojazdu, ale zwiększenie kosztów infrastruktury)



Rysunek 1. Przykład ładowania za pomocą złącza wtykowego – York's Park & Ride w mieście York, w Wielkiej Brytanii

(źródło: <http://jorair.co.uk/2017/08/31/yorks-park-ride-to-be-fully-charged/>)

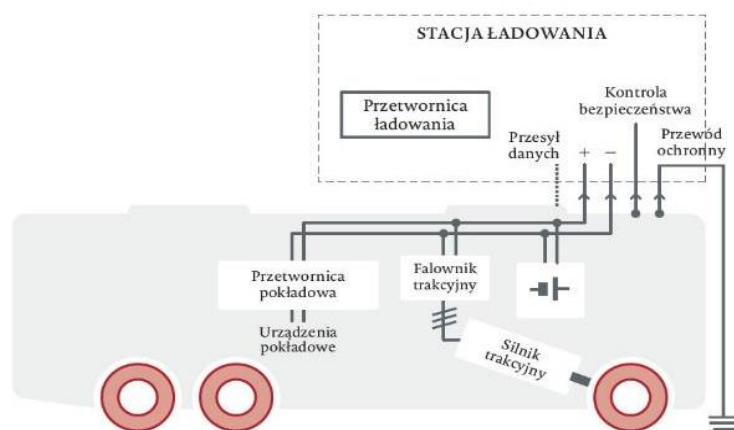


Rysunek 2. Autobus elektryczny sieci FlixBus podczas ładowania

(źródło: <https://www.sustainable-bus.com/news/flixbus-electric-coach-byd-frankfurt-mannheim/>)

Tabela 3. Opis ładowania pantografem w systemie czteroprzewodowym

	Opis techniczny	Sposoby umieszczenia
Ładowanie czteroprzewodowe	- dostarczanie energii elektrycznej za pomocą pantografowego odbieraka, - moc ładowania 150-350 kW (możliwa 600 kW), - najbardziej rozpowszechniona metoda ładowania, - wyższy koszt stacji ładowania	- pantograf na pojeździe, - pantograf wysuwany z ładowarki,



Rysunek 3. Schemat ideowy ładowania pantografem w systemie czteroprzewodowym

(źródło: *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*)



Rysunek 4. Stacja ładowania autobusów elektrycznych pantografem na pojeździe w Jaworznie

(źródło: <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/stacja-ladowania-autobusow-elektrycznych-w-jaworznie-50086.html>)

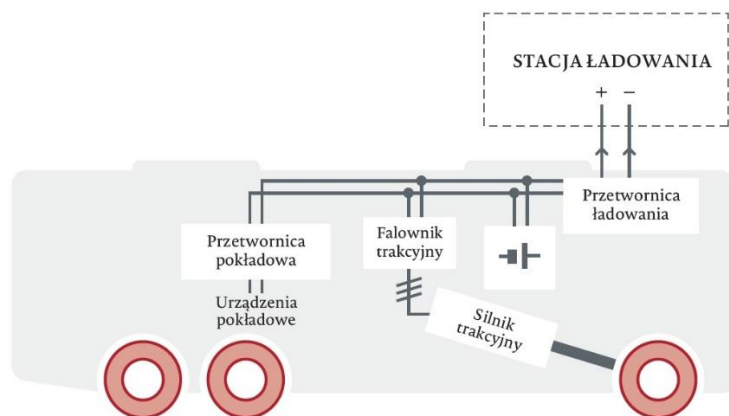


Rysunek 5. Stacja ładowania autobusów elektrycznych pantografem na pojeździe w Warszawie

(źródło: <http://wde.warszawa.pl/kolejne-autobusy-elektryczne-warszawie/>)

Tabela 4. Opis ładowania pantografem w systemie dwuprzewodowym

	Opis techniczny	Sposoby umieszczenia
Ładowanie dwuprzewodowe	- dostarczanie energii elektrycznej za pomocą pantografowego odbieraka, - moc ładowania 150-200 kW, - efektywny system ładowania autobusów elektrycznych w przypadku istnienia tramwajowej lub trolejbusowej sieci trakcyjnej - wyższy koszt zakupu taboru	- pantograf na pojeździe, - sieć trakcyjna funkcjonująca w mieście,



Rysunek 6. Schemat ideowy ładowania pantografem w systemie dwuprzewodowego

(źródło: *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*)



Rysunek 7. Ładowanie w systemie dwuprzewodowym autobusu w Pradze, Cechy

(źródło: <https://blog.foreigners.cz/transport-in-prague/>)

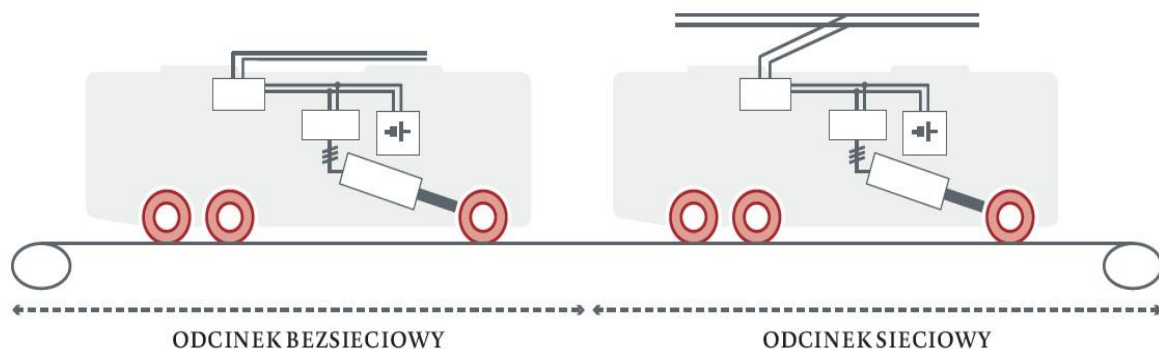


Rysunek 8. Autobus elektryczny podczas ładowania – Wiedeń, Austria

(źródło: <https://www.regiotours.net/en/vienna/publictransport/2893>)

Tabela 5. Opis ładowania w systemie dynamicznym

	Opis techniczny	Sposób umieszczenia
Ładowanie dynamiczne	- dostarczanie energii elektrycznej za pomocą pantografowego odbieraka, - moc ładowania 80-300 kW, - system wymagający wysokich inwestycji w sieć trakcyjną, - mniejsza pojemność baterii, a więc i jej koszt	- pantograf na pojeździe, - część trasy pokryta trolejbusową siecią trakcyjną umożliwia ładowanie baterii podczas ruchu (ładowanie dwuprzewodowe), pozostała część, bez sieci, pokonywana na zasilaniu bateryjnym



Rysunek 9. Schemat ideowy dynamicznego systemu ładowania (źródło: *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*)



Rysunek 10. Trolejbusy Trollino 12 firmy Solaris z zamontowanymi bateriami umożliwiającymi jazdę poza terenami posiadającymi trakcję trolejbusową – Gdynia (źródło: <https://www.gdynia.pl>)

Porównanie wad i zalet opisanych systemów ładowania autobusów elektrycznych zostało przedstawione w tabeli poniżej.

Tabela 6. Porównanie systemów ładowania

Metoda ładowania	Maksymalna moc ładowania	Nakłady inwestycyjne	Elastyczność ruchu	ZALETY	WADY
WTYCZKOWA	100 kW	niskie	średnia	niskie nakłady inwestycyjne	obsługa procesu podłączenia
CZTEROPRZEWODOWA	600 kW	średnie	średnia	największa moc ładowania	zwiększony koszt budowy stacji ładowania
DWUPRZEWODOWA	200 kW	średnie	średnia	łatwa integracja z tramwajowym bądź trolejbusowym układem zasilania	zwiększony koszt zakupu taboru
DYNAMICZNA	300 kW podczas jazdy, 80 kW podczas postoju	wysokie	wysoka	brak konieczności zatrzymania pojazdów na czas ładowania, większa elastyczność, mniejsza pojemność baterii	wysokie nakłady inwestycyjne

źródło: opracowano na podstawie *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*

2.4. Elektromobilność w komunikacji publicznej – stan obecny i plany samorządowe

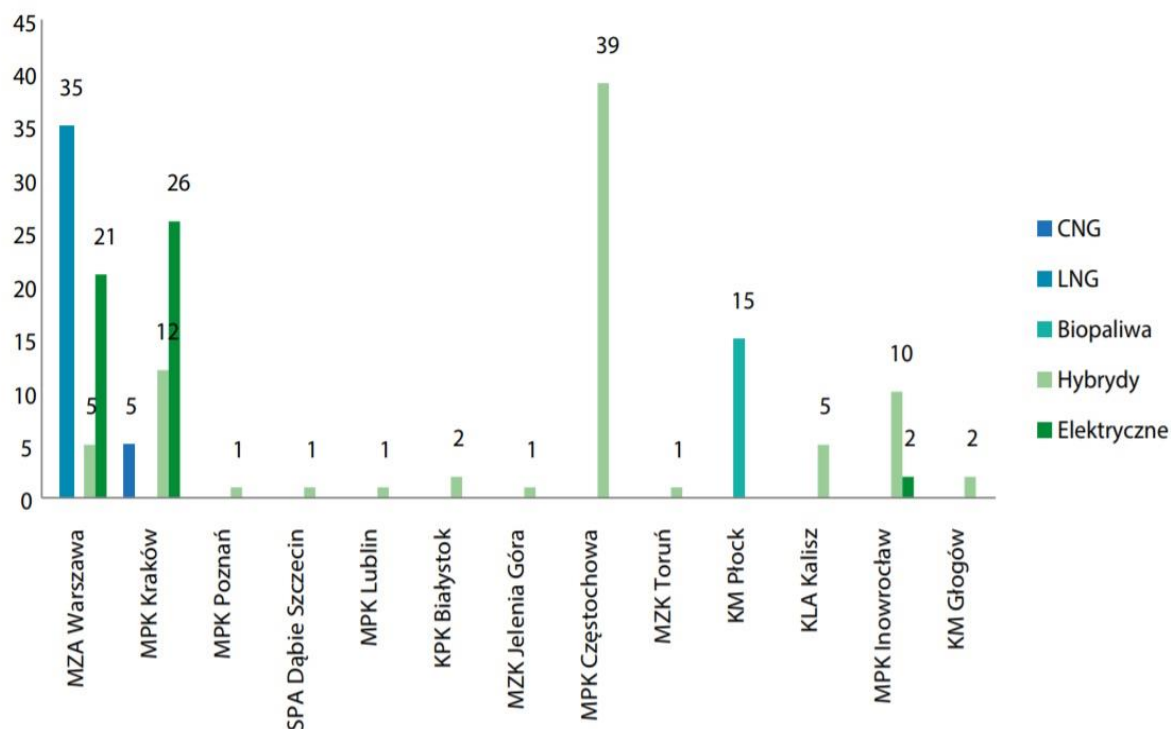
Samorządy lokalne mogą aktywnie angażować się w promowanie gospodarki niskoemisyjnej oraz elektromobilności poprzez właściwie sformułowane polityki lokalne, działania komunikacyjne i organizacyjne czy też stosowanie zachęt bądź rozwiązań popularyzujących elektryczny transport oraz tworzenie pro elektromobilnego otoczenia.

Autobusy stanowią jeden z najpowszechniej stosowanych środków komunikacji zbiorowej, pojawiając się wszędzie tam, gdzie funkcjonuje komunikacja miejska.

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego, na koniec 2016 r. w Polsce eksploatowane były 11 973 autobusy komunikacji miejskiej, z czego tylko 454 jednostki spośród ogółu autobusów stanowiły pojazdy na paliwo alternatywne. Ok. 81 % wszystkich autobusów komunikacji miejskiej w Polsce to pojazdy stale eksploatowane, z których każdy średnio pokonuje dziennie 195 km (te o napędzie alternatywnym – 183 km), a rocznie – 71 090 km.

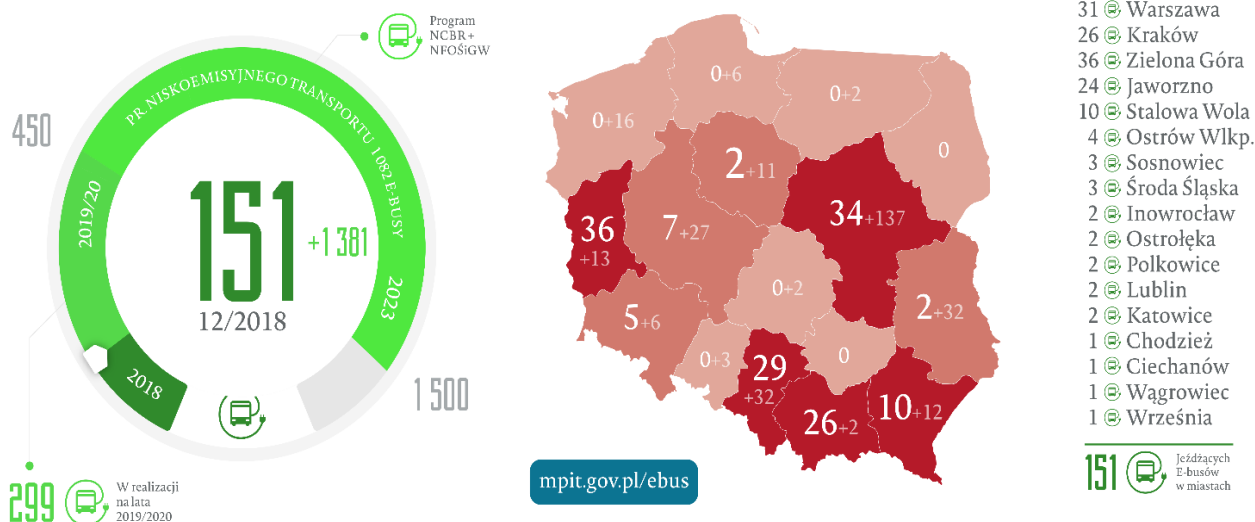
Najwięcej pojazdów autobusowej komunikacji miejskiej w naszym kraju jest w województwie mazowieckim (2692) i śląskim (1873). W dalszej kolejności znajdują się województwa: małopolskie (960), wielkopolskie (862), dolnośląskie (799), łódzkie (775), pomorskie (695), kujawsko-pomorskie (514), świętokrzyskie (467), lubelskie (456), zachodniopomorskie (456), podkarpackie (432), podlaskie (356), warmińsko-mazurskie (290), lubuskie (173) i opolskie (173).

Na koniec 2017 r. w Polsce w ramach usług świadczonych przez miejskich przewoźników autobusowych eksploatowano 64 autobusy na CNG, 40 na LNG, 20 jeżdżących na biopaliwa, 104 pojazdy hybrydowe oraz 52 autobusy elektryczne.



Rysunek 11. Liczba autobusów eksploatowanych przez spółki komunikacji miejskiej w Polsce napędzanych paliwem innym niż ON w 2017 roku (źródło: „Polska na drodze do elektromobilności”)

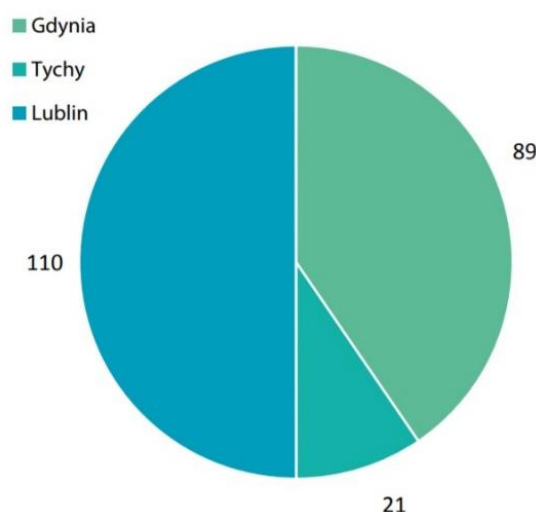
Według danych Infobus.pl na koniec grudnia 2018 r. w Polsce jeździło już 151 autobusów elektrycznych, z czego najwięcej Zielonej Górze (36) i Warszawie (31).



Rysunek 12. Licznik E-busów w Polsce – stan na grudzień 2018 r. (źródło: <http://www.infobus.pl/ebus>)

W przypadku komunikacji trolejbusowej, w naszym kraju jest ona mało popularna i obecna jedynie w trzech ośrodkach miejskich: Lublinie, Gdyni i Tychach, mimo iż, wskazuje się na ich korzystne właściwości ruchowe – trolejbusy cechują się większym przyspieszeniem niż autobusy (co skutkuje większą średnią prędkością przejazdu w obszarze miejskim), lepszą niż w przypadku autobusów zdolnością pokonywania wzniesień, krótszą drogą hamowania

w porównaniu z tramwajami (wynikającą z lepszej przyczepności kół) i płynną zmianą prędkości (brak konieczności przełączania przełożeń w skrzyni biegów)¹⁴.



Rysunek 13. Tabor trolejbusowy w Polsce w 2017 r.

(źródło: „Polska na drodze do elektromobilności”)

Współpraca samorządów z rządem w zakresie pozyskiwania pojazdów elektrycznych rozpoczęła się w lutym 2017 r. od podpisania listu intencyjnego dotyczącego deklaracji zakupu 780 autobusów elektrycznych i 481 aut elektrycznych przez władze miejskie¹⁵, czego kontynuacją jest program *E-Bus* koordynowany przez Polski Fundusz Rozwoju.

Program *E-Bus* jednym z podstawowych elementów Strategii na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju¹⁶. Program zakłada dynamiczny rozwój polskiej gospodarki w segmencie produkcji autobusów elektrycznych i wpisuje się w światowy trend związany z rozwojem elektromobilności. Oznacza to m.in. stworzenie rynku zbytu dla polskich firm produkujących autobusy elektryczne, podzespoły do nich i potrzebną do ich działania infrastrukturę, jak i stworzenie dla miast odpowiedniej oferty w tym zakresie i systemu wsparcia potrzebnego dla takich zakupów. Założenia programu *E-Bus* wskazują, że do 2025 r.:

- powstanie polski rynek autobusów elektrycznych o wartości co najmniej 2,5 mld zł rocznie, co można przełożyć na ok. 1000 autobusów elektrycznych,
- stworzony zostanie Polski Autobus Elektryczny, konkurencyjny na rynku polskim i rynkach światowych, pod kątem jego parametrów technicznych i finansowych, którego kluczowe komponenty będą produkowane w kraju przy wsparciu rodzimego potencjału naukowo-badawczego,
- rozwiną się nowe technologie i modele biznesowe związane z miejskimi autobusami elektrycznymi i infrastrukturą ładowania.

Przyjmuje się, że realizacja programu we wskazanym zakresie przyniesie korzyści w postaci m.in.:

- rozwoju w Polsce rynku wykorzystującego innowacyjne technologie, o długofalowym potencjale wzrostowym na całym świecie,

¹⁴ ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

¹⁵ ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

¹⁶ <https://www.gov.pl/web/inwestycje-rozwoj/informacje-o-strategii-na-rzecz-odpowiedzialnego-rozwoju>

- poprawy jakości życia w miastach poprzez: zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza (brak emisji spalin) oraz znaczące obniżenie poziomu hałasu wytwarzanego przez transport miejski,
- rozwoju firm oraz potencjału naukowo-badawczego w segmencie autobusów elektrycznych,
- zmniejszenia TCO (Total Cost of Ownership) transportu miejskiego liczone dla całego cyklu życia autobusu (10-15 lat)¹⁷.

Rozwój zadań w kierunku elektryfikacji komunikacji publicznej wynika również z założeń Planu Rozwoju Elektromobilności, realizowanego także z inicjatywy Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Bezemisyjny Transport Publiczny. Program realizowany jest w nowym modelu finansowania programów badawczych, oparty o partnerstwo innowacyjne. W tym celu, NCBR pozyskał do współpracy miasta zainteresowane nabyciem nowoczesnych pojazdów elektrycznych do transportu publicznego. W odpowiedzi na publiczne zaproszenie NCBR oraz w wyniku uzgodnień prowadzonych w 2017 r. nawiązano współpracę z 26 miastami oraz Górnośląsko – Zagłębiowską Metropolią, zrzeszającą 41 gmin. W efekcie określono wartość i wielkość zamówienia na ponad 1000 innowacyjnych pojazdów.

Jako główny cel programu wskazuje się przede wszystkim zintensyfikowanie procesu wdrożenia nowoczesnych rozwiązań w zakresie transportu bezemisyjnego. Stanie się tak dzięki publicznemu wsparciu na opracowanie innowacyjnego autobusu bezemisyjnego, a także kompleksowych, innowacyjnych rozwiązań technicznych, które pozwolą na całościową minimalizację kosztów aplikacyjnych i eksploatacyjnych infrastruktury transportu miejskiego.



Rysunek 14. Główne zasady realizacji programu Bezemisyjny Transport Publiczny uruchomionego przez NCBR (źródło: <https://www.ncbr.gov.pl/>)

¹⁷ <https://www.mpit.gov.pl/strony/strategia-na-rzecz-odpowiedzialnego-rozwoju/kluczowe-projekty/program-e-bus-polski-autobus-elektryczny/>

Postępowanie w ramach programu BTP składa się z dwóch faz: badawczej i wdrożeniowej:

1. Część badawcza, podczas której realizowane są projekty badawcze mające na celu opracowanie prototypów pojazdów, której budżet oszacowano na 100 mln PLN, na którą NCBR pozyskał środki z budżetu UE,
2. Część wdrożeniowa, podczas której następuje zakup pojazdów w ramach programu Bezemisyjnego transportu publicznego, której budżet oszacowano na ponad 2,2 mld PLN – jest to odpowiedź na zapotrzebowanie miast sygnatariuszy na innowacyjne pojazdy. W tej części będzie następował zakup przez miasta – sygnatariuszy Porozumień o współpracy – określonej liczby produktów. We współfinansowaniu tego etapu będzie uczestniczył NFOŚiGW, który pod koniec 2017 r. zawarł stosowną umowę z NCBR¹⁸.

W Polsce jako główne źródło finansowania zakupu taboru elektrycznego, zarówno w przypadku zwiększeń istniejącego stanu jak i odnowy eksploatowanych pojazdów, są środki własne przewoźników i operatorów wspomagane środkami organizatorów publicznego transportu zbiorowego. Jako potencjalne źródła finansowania pojazdów zeroemisyjnych i infrastruktury zapewniającej ich funkcjonowanie wskazuje się m.in.:

- Fundusz Niskoemisyjnego Transportu podlegający Ministrowi Energii; operatorem konkursów będzie Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej,
- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej,
- Program Bezemisyjny Transport Publiczny, w ramach którego Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, wraz z samorządami, będzie występowało jako zamawiający w postępowaniu publicznym mającym na celu wyłonienie ośrodków badawczych i projektowych (projekt i budowa prototypu nowego autobusu elektrycznego dostosowanego cenowo i jakościowo do potrzeb miast),
- fundusze unijne – Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (6.1 Rozwój publicznego transportu zbiorowego w miastach), a także PO Polska Wschodnia (2.1 Zrównoważony transport miejski) i Regionalne Programy Operacyjne¹⁹.

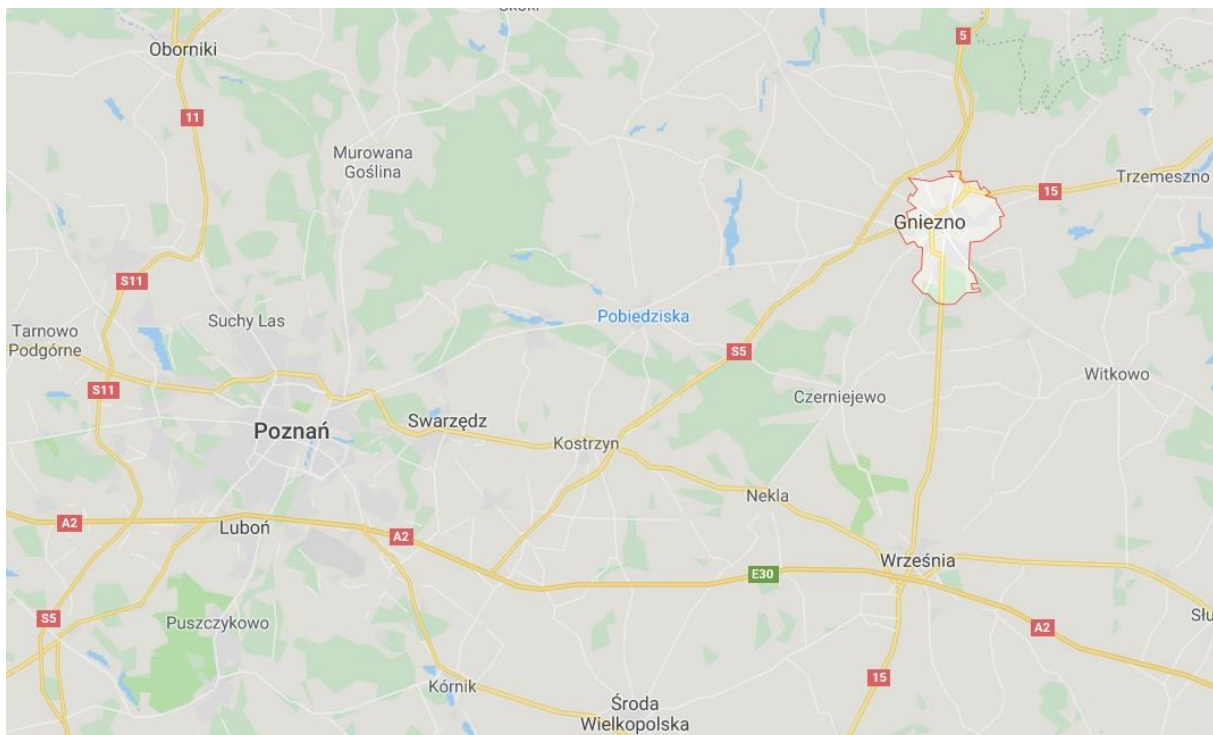
¹⁸ <https://www.ncbr.gov.pl/index.php?id=33091&L=0%2525253Fchash%2525253D26>

¹⁹ PSPA, PFR, *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*, Raport specjalny 2018

3. Opis stanu aktualnego

3.1. Otoczenie społeczno-gospodarcze

Gniezna jest gminą miejską o powierzchni 40,6 km², położoną we wschodniej części województwa wielkopolskiego, stanowiącą siedzibę powiatu gnieźnieńskiego i sąsiadującą z gminami: Gniezno, Niechanowo oraz Czarniejewo. Leży na obszarze Pojezierza Gnieźnieńskiego i otoczone jest jeziorami: Jelonek, Świętokrzyskie, Winiary. Miasto Gniezno położone jest poza obszarami podlegającymi ochronie na podstawie ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (t.j. Dz. U. 2018 poz. 142 ze zm.), w tym obszarami Natura 2000²⁰.



Rysunek 15. Lokalizacja Gniezna na tle województwa wielkopolskiego (źródło: aplikacja Google Maps, <https://www.google.pl/maps>)

Gniezno cechuje się znacznym udziałem terenów zainwestowanych. W strukturze użytkowania terenów przeważają użytki rolne (44,5%), duży udział stanowią grunty zabudowane i zurbanizowane (42,3 %) oraz lasy, grunty leśne i zadrzewienia (13,2 %). Użytki rolne stanowią:

- grunty orne 1 584 ha
- sady 41 ha
- łąki 139 ha
- pastwiska 54 ha.

Gniezno jest jednym z większych miast województwa wielkopolskiego, znanym jako centrum kutrowe, historyczne oraz atrakcyjny ośrodek turystyczny. Gniezno jest także Miastem uniwersyteckim z wyższymi uczelniami:

²⁰ <http://geoserwis.gdos.gov.pl/mapy/>

- Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Gnieźnie,
- Prymasowskie Wyższe Seminarium Duchowne w Gnieźnie,
- Instytut Kultury Europejskiej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
- Gnieźnieńska Szkoła Wyższa Milenium²¹.

Według danych GUS, ludność miasta w 2017 roku wynosiła 68 943 mieszkańców, z czego na 1 km² – 1 698 osób. Liczba mężczyzn wynosiła 33 069 a kobiet 35 874.

Liczba ludności miasta systematycznie maleje, co jest typową sytuacją demograficzną miast w Polsce. Spadek ten wynika z ujemnego salda migracji (procesy suburbanizacyjne) oraz ujemnego przyrostu naturalnego. Rezultatem oddziaływania obydwu tych czynników jest spadek średniej gęstości zaludnienia w mieście. W poniższej tabeli przedstawiono zmiany liczby ludności Gniezna w latach 2010-2017.

Tabela 7. Stan ludności i gęstości zaludnienia w Gnieźnie w latach 2010 - 2017

Wskaźnik	Jednostka	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Liczba mieszkańców	[osób/km ²]	70 363	70 263	70 141	69 883	69 686	69 312	69 137	68 943
Gęstość zaludnienia	[osoba]	1 733	1 731	1 728	1 721	1 716	1 707	1 703	1 698

źródło: Bank Danych Lokalnych GUS

Dochody Gniezna w 2017 r. wynosiły 289,0 mln zł, natomiast wydatki budżetu – 301,3 mln zł. Środki w dochodach budżetu gminy na finansowanie i współfinansowanie programów i projektów unijnych w 2017 r. wyniosły 3,2 mln zł. W strukturze wydatków budżetu gminy, najwięcej przeznaczono na działy związane z oświatą i wychowaniem (27,4 %) oraz rodziną (24,1%). Wydatki na transport i łączność stanowiły 8,4%.

W 2017 r. ogółem w rejestrze REGON znajdowało się 8 686 podmiotów, w tym w sektorze:

- rolniczym – 64,
- przemysłowym – 815,
- budowlanym – 1110²².

Gniezno pełni funkcję zarówno kulturową jak i architektoniczną, co przekłada się na rozwój usług turystycznych i rekreacyjnych. Obecnie miasto rozwija się pod względem działalności gospodarczej małych i średnich przedsiębiorstw i instytucji oświatowych. Dużym zainteresowaniem wśród mieszkańców Gniezna cieszą się centra handlowe znajdujące się na obrzeżach miasta. W Gnieźnie mają siedzibę urzędy administracji samorządowej – Urząd Miejski, Urząd Gminy oraz Starostwo Powiatowe²³.

Obecnie Gniezno jest ośrodkiem przemysłu lekkiego i spożywczego (szczególnie dynamiczny rozwój tych sektorów nastąpił w latach dziewięćdziesiątych, kiedy zaczęły tu inwestować znane zachodnie firmy) ponadto znajdują się tu fabryki: maszyn i urządzeń pakujących,

²¹ Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna, Załącznik nr 1 do Uchwały Nr XI/91/2015 Rady Miasta Gniezna z dnia 2 września 2015 roku

²² https://poznan.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_wielkopolskie/portrety_gmin/powiat_gnieznienski/gm_miejska_gniezno.pdf

²³ Elementy zrównoważonej mobilności miejskiej, Suplement do Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna przyjętego Uchwałą Nr XI/91/2015 Rady Miasta Gniezna z dnia 2 września 2015 roku

maszyn budowlanych, zakład techniki biurowej, zakłady elektrotechniczne i stolarki budowlanej. Gniezno jest też dużym węzłem komunikacyjnym²⁴.

Z Poznaniem, stolicą województwa, Gniezno połączone jest drogą nr 5, która ma status drogi wojewódzkiej. Alternatywę dla drogi nr 5 stanowi systemem dróg ekspresowych drogą S-5 (węzeł autostradowy Poznań Wschód – węzeł Gniezno Południe) i autostradą A-2 Warszawa-Berlin.

Gniezno posiada także dogodne połączenie kolejowe poprzez linię kolejową nr 353 relacji Poznań – Gdańsk. Średni czas dojazdu do centrum Poznania waha się od 25 do 41 minut w przypadku połączeń kolejowych oraz od 51 do 60 minut w przypadku połączeń drogowych²⁵.

3.2. Charakterystyka sieci drogowej Gniezna

Komunikacja wewnątrz miasta oparta jest na rozbudowanym systemie dróg o łącznej długości 199 km, w skład którego wchodzi drogi krajowe, wojewódzkie, powiatowe i miejskie. Połączenia zewnętrzne zapewniają dwie drogi krajowe nr 5 Lubawka – Świecie, będąca częścią międzynarodowej drogi E261 oraz nr 15 Ostróda – Trzebnica.

Obydwie drogi krajowe krzyżują się w rejonie skrzyżowania ul. Kostrzewskiego i Poznańskiej oraz węzła drogowego w rejonie Trasy Zjazdu Gnieźnieńskiego i ul. Zgodnej. Trasa Zjazdu Gnieźnieńskiego od węzła do ul. Kostrzewskiego stanowi wspólny przebieg dróg krajowych nr 5 i 15. Drogi o łącznej długości 14,5 km generują znaczny ruch tranzytowy zwłaszcza ciężarowy. W ciągu doby drogami tymi przejeżdża łącznie:

- 26 880 pojazdów od strony węzła Gniezno Południe,
- 12 100 pojazdów od strony Żnina,
- 11 190 pojazdów od strony Trzemeszna,
- 11 010 pojazdów od strony Wrześni.

Charakterystyczną cechą układu drogowego Gniezna jest skupienie ruchu pomiędzy podzielonymi linią kolejową, północną i południową częścią miasta, tylko na trzech przeprawach: dwóch wiaduktach nad i jednym tunelu pod torami kolejowymi.

Przez Gniezno przebiegają również trzy drogi wojewódzkie łączące miasto z Wągrowcem (DW190), Sławą Wielkopolską (DW197) i Witkowem (DW260). Ich miejski przebieg został poprowadzony ulicami Dworcową, Kiszowską, Kleckoską, Lecha, J. Sobieskiego, T. Kościuszki, Warszawską i Witkowską.

Część ulic w Gnieźnie stanowi przebieg 28 dróg powiatowych powiatu gnieźnieńskiego. Są to przede wszystkim drogi wylotowe z miasta takie jak: Al. Reymonta, ul. Dalkoska, Gdańska, Powstańców Wlkp., Orcholska i Mnichowska. Struktura dróg na terenie Gniezna została przedstawiona w poniższej tabeli²⁶.

²⁴ <http://gniezno.home.pl>

²⁵ Elementy zrównoważonej mobilności miejskiej, Suplement do Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna

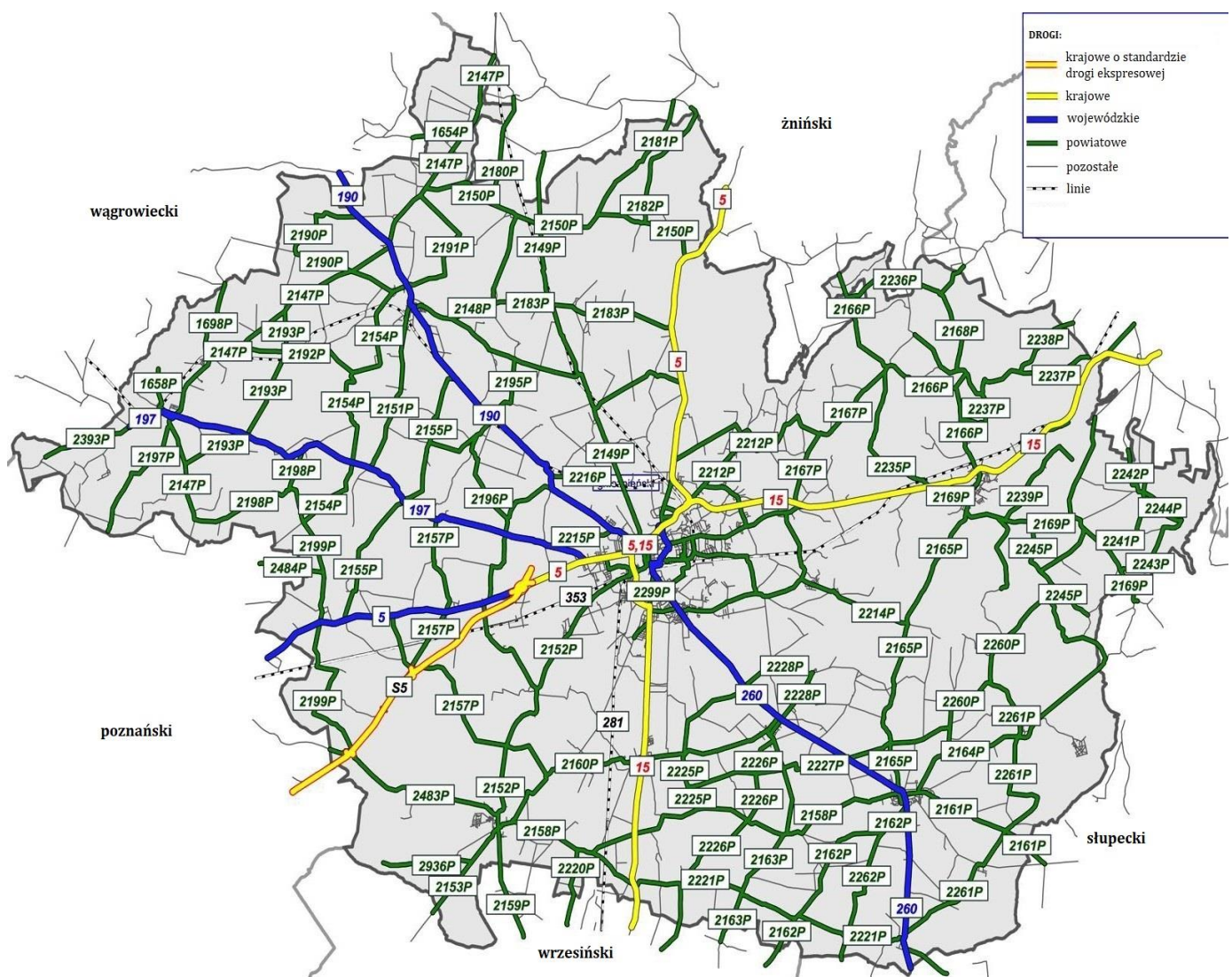
²⁶ Elementy zrównoważonej mobilności miejskiej, Suplement do Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Tabela 8. Struktura dróg na terenie Gniezna

Charakter drogi	Nr drogi	Przebieg	Długość [km]	Udział	Liczba ulic
Drogi krajowe	5	Nowe Marzy - Bydgoszcz - Gniezno - Poznań - Leszno - Wrocław - Strzegom - Bolków - Kamienna Góra - Lubawka - granica państwa (Czechy)	7,692	3,75%	3
	15	Trzebnica - Milicz - Krotoszyn - Jarocin - Miąskowo - Miłosław - Września - Gniezno - Trzemeszno - Wylatowo - Strzelno - Inowrocław - Toruń - Brodnica - Lubawa - Ostróda			
Drogi wojewódzkie	190	Gniezno - Wągrowiec – Szamocin – Krajenka	14,197	6,93%	9
	197	Gniezno - Sława Wielkopolska			
	260	Gniezno - Witkowo - Wólki			
Drogi powiatowe			29,651	14,46%	39
Drogi gminne			153,472	74,86%	332
RAZEM			205,012	100%	

źródło: opracowanie własne na podstawie Elementy zrównoważonej mobilności miejskiej, Suplement do Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna



Rysunek 16. Infrastruktura drogowa w powiecie gnieźnieńskim (źródło: Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Powiatu Gnieźnieńskiego)

3.3. Charakterystyka komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Zasady organizacji i funkcjonowania regularnego przewozu osób w publicznym transporcie zbiorowym realizowanym na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej określa *Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym* (tj. Dz.U. 2018 poz. 2016).

Organizatorem publicznego transportu zbiorowego jest Prezydent Miasta Gniezna, natomiast Operatorem, czyli przewoźnikiem wykonującym na podstawie umowy zawartej z organizatorem usługi przewozowe w zakresie publicznego transportu zbiorowego (komunikacji miejskiej) na określonych liniach komunikacyjnych, jest Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Sp. z o.o. w Gnieźnie, występujące jako podmiot wewnętrzny w rozumieniu rozporządzenia (WE) Nr 1370/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007r. dotyczącego usług publicznych w zakresie kolejowego i drogowego transportu pasażerskiego oraz uchylającego rozporządzenia Rady (EWG) nr 1191/69 i (EWG) nr 1107/70. Zadania organizatora wypełnia Wydział Mienia Komunalnego.

Wysokość opłat za usługi przewozowe określa, w drodze uchwały, Rada Miasta Gniezna. Skargi i wnioski pasażerów w sprawach związanych z funkcjonowaniem komunikacji miejskiej rozpatruje Organizator – Prezydent Miasta Gniezna.

MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie działa na terenie miasta Gniezna oraz na podstawie porozumień międzygminnych – na terenie Gminy Niechanowo oraz Gminy Gniezno. W zasięgu funkcjonowania Spółki, w 2017 r. zamieszkiwało łącznie 86 440 osób²⁷.

MPK, jako spółka z ograniczoną odpowiedzialnością w organizacji, zawarł z Miastem w dniu 1 lutego 2019 r. umowę nr WRM.DG.7240.8.2019 dotyczącą realizacji zadania własnego w zakresie wykonywania gminnych przewozów pasażerskich w komunikacji miejskiej, na okres od lutego do 31 grudnia 2019 r. Wymiar pracy przewozowej – 1 794 085 km.

Według stanu na dzień 28 luty 2019 r., sieć połączeń komunikacji miejskiej w Gnieźnie tworzyło 19 linii autobusowych: 18 dziennych – oznaczonych numerami: 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 31 oraz 1 linia nocna – oznaczona literą N. Zakres kursowania linii jest zróżnicowany – 3 linie kursują tylko w dni nauki szkolnej, 7 kursuje tylko w dni robocze, 3 kursują w dni robocze i soboty a 5 codziennie.

Aktualny przebieg linii komunikacji miejskiej obsługiwanych przez MPK Sp. z o. o. w Gnieźnie został przedstawiony w tabeli poniżej.

Tabela 9. Aktualny przebieg linii komunikacji miejskiej obsługiwanych przez MPK Sp. z o. o. w Gnieźnie

Nr linii	Trasa podstawowa	Liczba przystanków	Okres kursowania
2	KIERUNEK: WIERZBICZANY Poznańska- Łaskiego- Jeziorna- Dalkoska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Roosevelta- Słowackiego- Reymonta- Roosevelta- Fabryczna- Wierzbiczany	26	Dni robocze
	KIERUNEK: POZNAŃSKA Wierzbiczany- Fabryczna- Roosevelta- Reymonta- Słowackiego- Roosevelta- Wyszyńskiego- Dąbrówki- Chrobrego- Kościuszki- Wawrzyńca- Łaskiego- Poznańska	25	
3	KIERUNEK: WSCHODNIA - WIERZBICZANY Pustachowska- Wrzesińska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Roosevelta- Słowackiego- Reymonta- Roosevelta- Wschodnia- Wierzbiczany	26	Dni robocze i soboty
	KIERUNEK: PUSTACHOWSKA	26	

²⁷ Bank Danych Lokalnych, <https://bdl.stat.gov.pl/>

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Nr linii	Trasa podstawowa	Liczba przystanków	Okres kursowania
	Wierzbiczany- Wschodnia- Roosevelta- Reymonta- Słowackiego- Roosevelta- Wyszyńskiego- Dąbrowki- Chrobrego- Kościuszki- Wrzesińska- Pustachowska- Półwiejska- Pustachowska		
4	KIERUNEK: BUDOWLANYCH - REYMONTA Cechowa- Al. Pierwsza- Osiniec- Al. Piąta- Leśna- Wolności- Armii Krajowej- 17 Dywizji Piechoty- Wesoła- Grunwaldzka- Cymśa- Wrzesińska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Chudoby- Budowlanych- Reymonta	24	Dni robocze szkolne
	KIERUNEK: CECHOWA Budowlanych- Chudoby- Wyszyńskiego- Dąbrowki- Chrobrego- Poczta- Kościuszki- Wrzesińska- Cymśa- Grunwaldzka- Wolności- Leśna- Cechowa	17	
5	KIERUNEK: LEDNICKA Cegielskiego- Kolejowa- Słoneczna- Witkowska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- 3 Maja- Gdańska- Lednicka	17	Dni robocze
	KIERUNEK: CEGIELSKIEGO Lednicka- Gdańska- 3 Maja- Dąbrowki- Chrobrego- Kościuszki- Witkowska- Słoneczna- Kolejowa- Cegielskiego	16	
7	KIERUNEK: POZNAŃSKA - SKIERESZEWO Gdańska- Pałucka- Gdańska- Żwirki i Wigury- Sobieskiego- Kościuszki- Wawrzyńca- Łaskiego- Poznańska- Swarzędzka- Skierszewo	21	Dni robocze, soboty, niedziele i Święta
	KIERUNEK: GDAŃSKA Skierszewo- Swarzędzka- Poznańska- Łaskiego- Jeziorna- Dalkoska- Dworcowa- Sobieskiego- Żwirki i Wigury- Gdańska- Lednicka- Gdańska- Pałucka- Gdańska	21	
8	KIERUNEK: POZNAŃSKA Lednicka- Gdańska- Lednicka- Arkuszewo- Roosevelta- Wschodnia- Wierzbiczany- Fabryczna- Roosevelta- Budowlanych- Chudoby- Wyszyńskiego- Dąbrowki- Chrobrego- Kościuszki- Wawrzyńca- Łaskiego- Poznańska- Kostrzewskiego- Orzeszkowej- Swarzędzka- Poznańska	28	Dni robocze
	KIERUNEK: FABRYCZNA I Poznańska- Swarzędzka- Orzeszkowej- Kostrzewskiego- Poznańska- Łaskiego- Jeziorna- Dalkoska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Chudoby- Budowlanych- Roosevelta- Fabryczna	22	
9	KIERUNEK: WITKOWSKA Lednicka- Gdańska- Pałucka- Gdańska- Chudoby- Budowlanych- Roosevelta- Wyszyńskiego- Dąbrowki- Chrobrego- Kościuszki- Witkowska- Słoneczna- Kolejowa- Słoneczna- Witkowska	32	Dni robocze, soboty, niedziele i Święta
	KIERUNEK: LEDNICKA Witkowska- Kolejowa- Słoneczna- Witkowska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Roosevelta- Budowlanych- Żwirki i Wigury- Gdańska- Lednicka- Gdańska- Pałucka- Gdańska	29	
10	KIERUNEK: PYSZCZYNEK Lednicka- Gdańska- Żwirki i Wigury- Wyszyńskiego- Dąbrowki- Chrobrego- Kościuszki- Wawrzyńca- Słomianka- Łaskiego- Powstańców Wlkp.- Pyszczynek	14	Dni robocze i soboty
	KIERUNEK: LEDNICKA Pyszczynek- Powstańców Wlkp.- Łaskiego- Jeziorna- Dalkoska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Żwirki i Wigury- Gdańska- Lednicka	15	
11	KIERUNEK: PYSZCZYN – KRZYSZCZEWO Pustachowska- Wrzesińska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- 3 Maja- Gdańska- Pałucka- Gdańska- Pyszczyń- Krzyszczewo	26	Dni robocze, soboty, niedziele i Święta
	KIERUNEK: PUSTACHOWSKA P Krzyszczewo- Pyszczyń- Gdańska- Pałucka- Gdańska- 3 Maja- Dąbrowki- Chrobrego- Kościuszki- Wrzesińska- Pustachowska	21	
12	KIERUNEK: OBORA Wełnica- Orcholska- Lednicka- Biskupińska- Gdańska- Żwirki i Wigury- Wyszyńskiego- Dąbrowki- Chrobrego- Kościuszki- Wawrzyńca- Łaskiego- Klekoska- Żerniki- Klekoska- Piekary- Obora	31	Dni robocze, soboty, niedziele i Święta
	KIERUNEK: LEDNICKA - WEŁNICA Obora- Piekary- Klekoska- Żerniki- Klekoska- Łaskiego- Jeziorna- Dalkoska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Żwirki i Wigury- Biskupińska- Lednicka- Orcholska- Wełnica	30	
13	KIERUNEK: JABŁONOWA	22	Dni robocze

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Nr linii	Trasa podstawowa	Liczba przystanków	Okres kursowania
	Wielnica- Orcholska- Lednicka- Biskupińska- Gdańska- 3 Maja- Dąbrówki- Chrobrego- Kościuszki- Dalkoska- Gajowa- Ludwiczaka- Jabłoniowa		
	KIERUNEK: WELNICA Jabłoniowa- Ludwiczaka- Gajowa- Dalkoska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- 3 Maja- Biskupińska- Lednicka- Orcholska- Wielnica	21	
14	KIERUNEK: KAWIARY Fabryczna- Roosevelta- Wyszyńskiego- Dąbrówki- Chrobrego- Kościuszki- Wrzesińska- Cymśa- Grunwaldzka- Armii Krajowej- 17 Dywizji Piechoty- Słoneczna- Kawiary	18	Dni robocze
	KIERUNEK: FABRYCZNA I Kawiary- Słoneczna- 17 Dywizji Piechoty- Armii Krajowej- Grunwaldzka- Cymśa- Wrzesińska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Roosevelta- Fabryczna	18	
15	KIERUNEK: WELNICA Paczkowskiego- Budowlanych- Staszica- Roosevelta- Fabryczna- Wierzbiczany- Wschodnia- Arkuszewo- Kruszwicka- Jankówko- Wielnica	21	Dni nauki szkolnej
	KIERUNEK: PACZKOWSKIEGO Wielnica- Jankówko- Kruszwicka- Arkuszewo- Roosevelta- Wschodnia- Wierzbiczany- Fabryczna- Roosevelta- Budowlanych- Staszica- Roosevelta- Paczkowskiego	21	
16	KIERUNEK: JABŁONIOWA Czarneckiego- Poznańska- Swarzędzka- Skierszewo- Orzeszkowej- Bluszczowa- Poznańska- Kostrzewskiego- Cienista- Gajowa- Ludwiczaka- Jabłoniowa	16	Dni nauki szkolnej
	KIERUNEK: CZARNIECKIEGO Jabłoniowa- Ludwiczaka- Gajowa- Dalkoska- Kostrzewskiego- Poznańska- Swarzędzka- Skierszewo- Orzeszkowej- Bluszczowa- Czarneckiego	15	
17	KIERUNEK: PÓŁWIEJSKA Lednicka- Gdańska- Chudoby- Budowlanych- Roosevelta- Wyszyńskiego- Dąbrówki- Chrobrego- Kościuszki- Witkowska- 17 Dywizji Piechoty- Armii Krajowej- Grunwaldzka- Wrzesińska- Półwiejska- Pustachowska	26	Dni robocze, soboty, niedziele i Święta
	KIERUNEK: LEDNICKA I Pustachowska- Półwiejska- Wrzesińska- Grunwaldzka- Armii Krajowej- 17 Dywizji Piechoty- Witkowska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Roosevelta- Budowlanych- Żwirki i Wigury- Gdańska- Lednicka	26	
22	KIERUNEK: JABŁONIOWA K. Wierzbiczany- Wschodnia- Fabryczna- Roosevelta- Reymonta- Słowackiego- Roosevelta- Wyszyńskiego- Dąbrówki- Chrobrego- Kościuszki- Wawrzyńca- Łaskiego- Poznańska- Swarzędzka- Orzeszkowej- Dalkoska- Gajowa- Ludwiczaka	37	Soboty, Niedziele i Święta
	KIERUNEK: WIERZBICZANY I Ludwiczaka- Gajowa- Dalkoska- Orzeszkowej- Swarzędzka- Poznańska- Łaskiego- Jeziorna- Dalkoska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Roosevelta- Słowackiego- Reymonta- Roosevelta- Fabryczna- Wschodnia- Wierzbiczany	36	
23	KIERUNEK: REYMONTA Czarneckiego- Klekoska- Żwirki i Wigury- Gdańska- Chudoby- Budowlanych- Reymonta	10	Dni robocze i soboty
	KIERUNEK: CZARNIECKIEGO Reymonta- Budowlanych- Żwirki i Wigury- Gdańska- Klekoska- Czarneckiego	10	
31	KIERUNEK: CIELIMOWO Kościuszki- Wrzesińska- Cielimowo	14	Dni robocze
	KIERUNEK: LEDNICKA Cielimowo P.- Cielimowo- Wrzesińska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- 3 Maja- Gdańska- Lednicka	20	
N	KIERUNEK: PUSTACHOWSKA P Lednicka- Gdańska- Chudoby- Budowlanych- Roosevelta- Dąbrówki- Chrobrego- Kościuszki- Dalkoska- Gajowa- Ludwiczaka- Wrzesińska- Pustachowska	23	Dni robocze
	KIERUNEK: LEDNICKA Pustachowska- Półwiejska- Wrzesińska- Grunwaldzka- Armii Krajowej- 17 Dywizji Piechoty- Witkowska- Dworcowa- Chrobrego- Łubieńskiego- Wyszyńskiego- Żwirki i Wigury- Gdańska- Lednicka	20	

źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.mpk.gniezno.pl>

Opisując gnieźnieński system komunikacji miejskiej można wskazać jego typowe cechy, do których zaliczmy m.in.:

- kumulacja głównych potoków pasażerskich pomiędzy dworcem kolejowym, a osiedlami na północy (os. Winiary) oraz na południu miasta (os. Grunwaldzkie),
- występowanie bariery terenowej w postaci linii kolejowej Poznań – Inowrocław, która powoduje prowadzenie linii komunikacyjnych na osi północ-południe dwoma ciągami transportowymi,
- powiązanie wielu linii komunikacyjnych w obszarze ścisłego centrum, co gwarantuje wysoką dostępność przestrzenną usług komunikacji miejskiej,
- brak konkurencji ze strony innych przewoźników w przewozach wewnątrzmiastowych w granicach Gniezna²⁸.

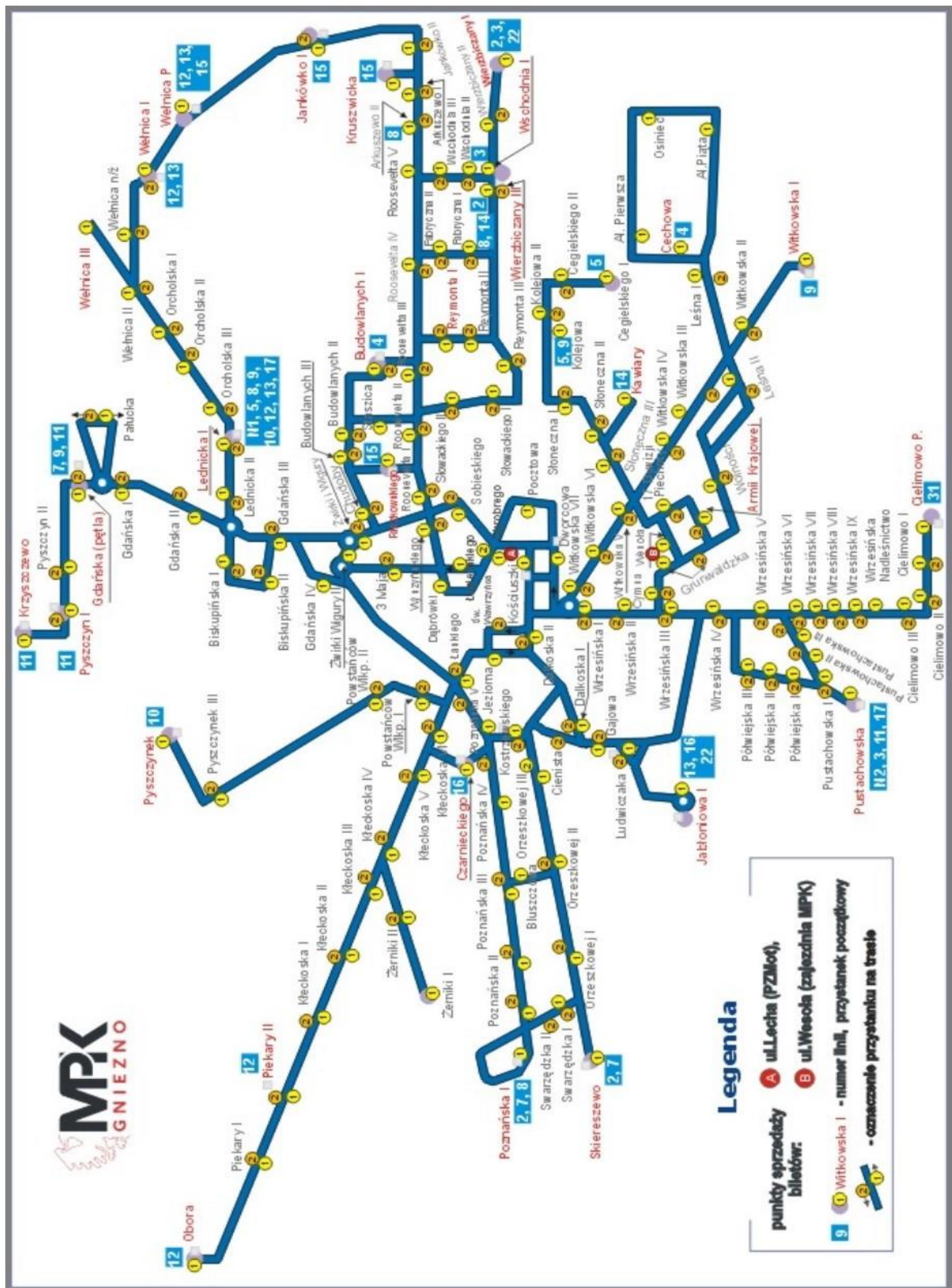
Główny ciężar obsługi Gniezna transportem zbiorowym przypada więc na autobusową komunikację miejską. Sieć komunikacyjna gnieźnieńskiego MPK składa się z 18 linii dziennych i jednej linii nocnej.

Podstawowy układ komunikacji miejskiej tworzą linie nr 2, 7, 9, 11, 13 i 17, docierające do ulic Lednickiej, Poznańskiej, Pustachowskiej, Witkowskiej oraz Wierzbiczany. Uzupełniającą rolę stanowią linie nr 3, 10 i 12, natomiast do grupy połączeń dodatkowych uruchamianych głównie w dni robocze lub w dni nauki szkolnej zaliczane są linie 4, 5, 8, 15, 16, N. W ramach linii nocnej (N) funkcjonuje tylko jeden kurs uruchamiany w dni robocze.

Rozkłady jazdy linii komunikacyjnych są zbudowane w oparciu o bardzo zróżnicowane częstotliwości kursowania, które nie gwarantują regularności kursowania oraz powtarzalności końcówek godzin odjazdów²⁹.

²⁸ Elementy zrównoważonej mobilności miejskiej, Suplement do Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna

²⁹ Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gniezna, 2013



Rysunek 17. Schemat linii komunikacyjnych obsługiwanych przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie (źródło: <http://www.mpk.gniezno.pl/>)

Wykaz przystanków początkowych i końcowych linii obsługiwanych przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie został przedstawiony w tabeli poniżej.

Tabela 10. Przystanki początkowe i końcowe linii obsługiwanych przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie

Nazwa przystanku	Ilość linii	Numer linii
Armii Krajowej	4	4, N, 14, 17
Budowlanych I	6	4, 8, 9, 15, 17, 23
Cechowa	1	4
Cielimowo P	1	31
Czarneckiego	2	16, 23
Gdańska (pętla)	3	7, 9, 11
Jabłoniowo I	3	13, 16, 22
Jankówko I	1	15
Kawiary	1	14
Kruszwicka	1	15
Krzyszczewo	1	11
Lednicka I	8	5, 8, 9, N, 10, 12, 13, 17
Obora	1	12
Paczkowskiego	1	15
Piekary II	1	12
Poznańska P	3	2, 7, 8
Pustachowska	4	3, N, 11, 17
Pyszczyn I	1	11
Pyszczynek	1	10
Reymonta I	4	2, 3, 22, 23
Skierszewo	2	2, 7
Wełnica I	2	12, 13
Wełnica III	2	12, 13
Wełnica P	3	12, 13, 15
Wierzbiczany I	4	2, 3, 15, 22
Wierzbiczany III	4	2, 3, 15, 22
Witkowska I	1	9
Wschodnia	3	3, 15, 22

źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie

4. Charakterystyka taboru autobusowego używanego w komunikacji miejskiej

4.1. Aktualny stan taboru

Organizatorem publicznego transportu zbiorowego w gminie miejskiej Gniezno jest Prezydent Miasta Gniezna, natomiast Operatorem Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Sp. z o.o. w Gnieźnie.

Linie gnieźnieńskiej komunikacji miejskiej obsługiwane są wyłącznie autobusami, którymi włada MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie.

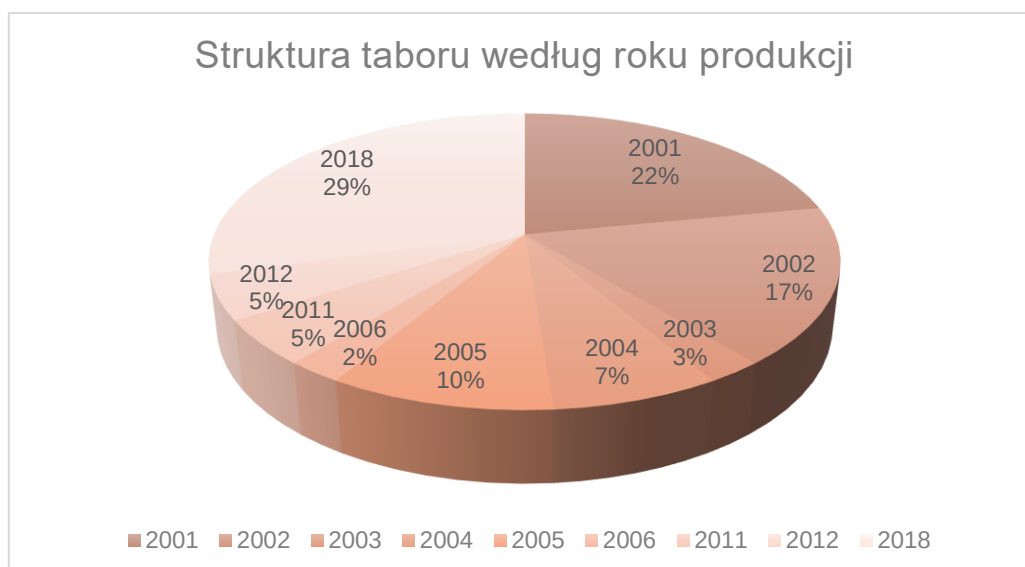
Według stanu na 28 lutego 2019 r. MPK dysponowało 41 autobusami, wszystkimi zasilane olejem napędowym. 88% z nich to autobusy niskopodłogowe, dostępne dla osób niepełnosprawnych. Średni wiek taboru przewoźnika wynosi 11 lat. 26 sztuk stanowią autobusy klasy MIDI a 15 klasy MAXI. W przypadku struktury ekologicznej - 61 % taboru stanowią pojazdy o emisji spali Euro – 2 i 3. Struktura taboru została przedstawiona poniżej.

Tabela 11. Struktura taboru zarządzanego przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie (stan na 28 luty 2019 r.)

Producent / model	rok produkcji	długość nadwozia [m]	Klasa	wysokość podłogi [mm]	rodzaj paliwa	Standard emisji spalin EURO	Liczba sztuk
MERCEDES 0345 CONECTO	2002	12	MAXI	520	ON	EURO 3	4
JELCZ M101 I3	2005	10	MIDI	320	ON	EURO 3	2
MERCEDES 0345 CONECTO	2003	12	MAXI	520	ON	EURO 3	2
SOLARIS URBINO 10	2004	10	MIDI	320	ON	EURO 3	3
SOLARIS URBINO 10	2011	10	MIDI	320	ON	EURO 5 EEV	2
SOLARIS URBINO 10	2012	10	MIDI	320	ON	EURO 5 EEV	2
MAN NM 283F A35	2002	10	MIDI	320	ON	EURO 3	2
MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	12	MAXI	320	ON	EURO 2	9
MAN A35 LIONS	2006	10	MIDI	320	ON	EURO 3	3
SOLARIS URBINO 10,5	2018	10,5	MIDI	320	ON	EURO 6	12

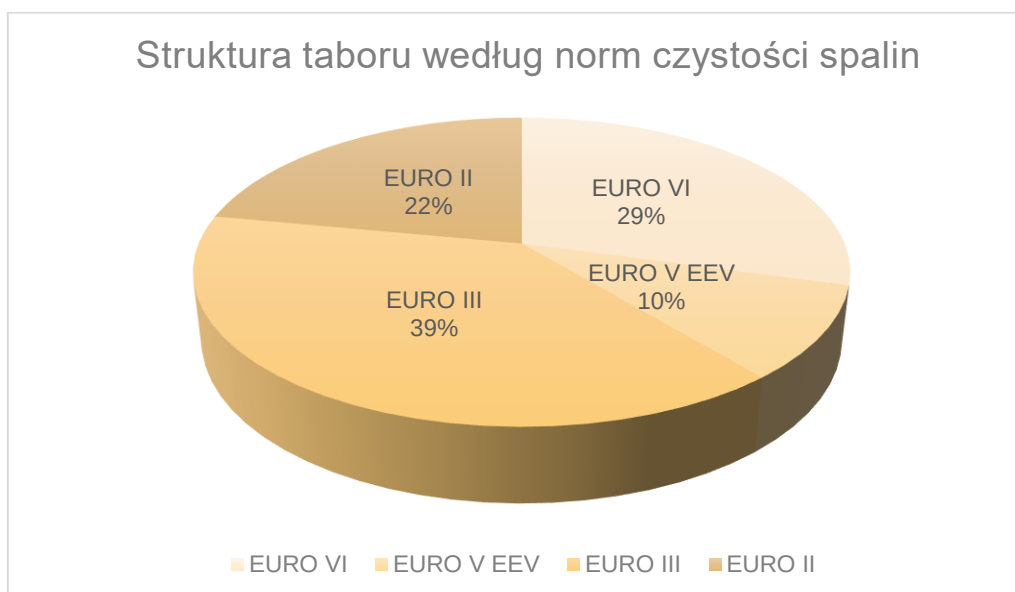
źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie

Na poniższych rysunkach zaprezentowano poszczególne zestawienia związane z taborom zarządzanym przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie.



Rysunek 18. Struktura taboru zarządzanego przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie według roku produkcji

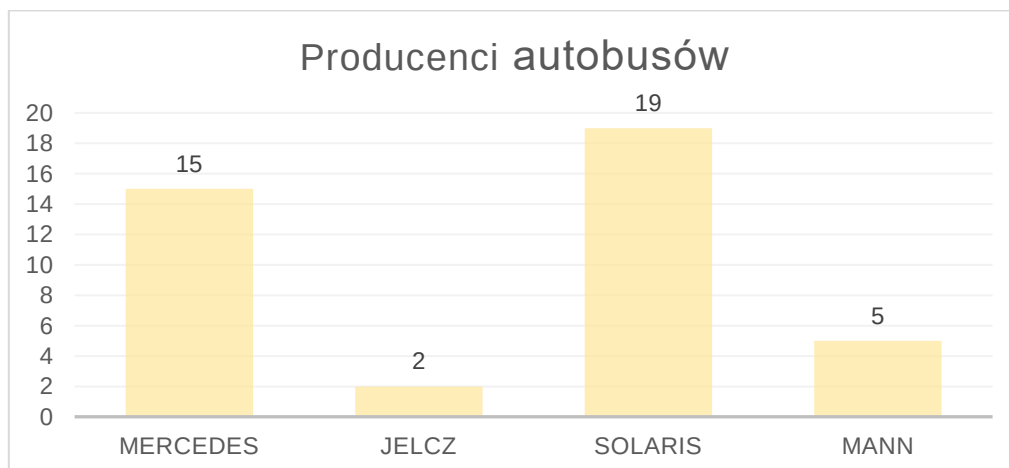
Średni wiek eksploatowanego taboru wynosi 11 lat, z czego ponad 60% są to autobusy w wieku ponad 10 lat. W tej grupie najwięcej jest autobusów 17 – 18 letnich - łącznie 16 sztuk. Najmłodszymi we flocie są autobusy klasy MIDI – Solaris Urbino 10,5, wyprodukowane w 2018 r. – 12 sztuk.



Rysunek 19. Struktura taboru zarządzanego przez MPK o Sp. z o.o. w Gnieźnie według norm czystości spalin

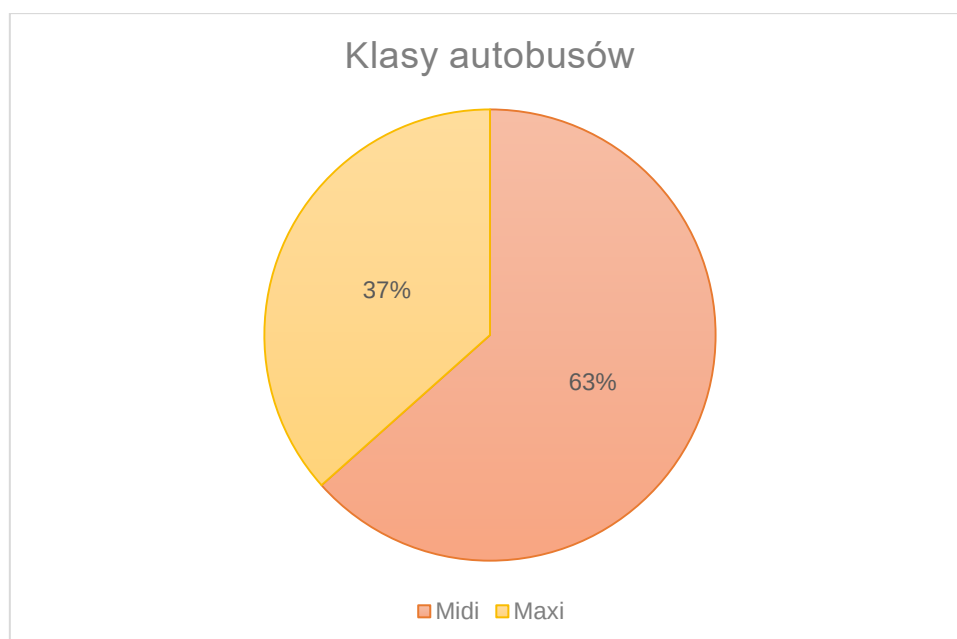
Emisja zanieczyszczeń wynikająca z eksploatacji pojazdów samochodowych, wśród nich także autobusów miejskich, jest związana przede wszystkim ze zużyciem energii potrzebnej do napędu pojazdu. Silniki napędzane olejem napędowym w procesie spalania emitują zanieczyszczenia, przede wszystkim takie jak: tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NOx), węglowodory (HC), cząstki stałe (PM), dwutlenek siarki (SO₂) oraz dwutlenek węgla (CO₂). Od początku lat 90-tych XX wieku systematycznie wprowadzane są coraz bardziej rygorystyczne normy EURO określające graniczne emisje poszczególnych związków przez silniki pojazdów samochodowych. Aktualnie obowiązującą normą, w przypadku rejestracji nowych autobusów od początku 2014 roku, jest norma EURO 6. W porównaniu do poprzedniej, EURO 5, emisja NOx jest mniejsza o 80%, a emisja PM o 50%.

W taborze zarządzanym przez MPK Gniezno Sp. z o.o. dominują autobusy z normą EURO 3 i niżej – 61 %.



Rysunek 20. Producenci autobusów zarządzanych zarządzanego przez MPK Sp. z o.o w Gnieźnie

Wśród taboru MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie najwięcej jest autobusów polskiego producenta Solaris Bus & Coach S.A. – 19 sztuk autobusów klasy MIDI, spośród których 16 spełnia normy emisji spalin EURO 5 EEV i EURO 6.



Rysunek 21. Klasy autobusów użytkowanych przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie

Tabor eksploatowany przez MPK w Gnieźnie zróżnicowany jest pod względem klas grupowanych w odniesieniu do długości: 63 % wykorzystywanych autobusów to pojazdy klasy MIDI (10 – 10,5 m). Pozostałymi wykorzystywanymi są pojazdy klasy MAXI (12 m), stanowiące 37 % całego taboru. MPK nie posiada autobusów klasy MEGA (15 – 24 m), co wynika z braku potrzeby kursowania takich dużych pojazdów na sieci komunikacyjnej.

4.2. Plany inwestycyjne

Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Gnieźnie działa jako spółka z ograniczoną odpowiedzialnością, w której 100% udziałów jest własnością Miasta Gniezna. Plany inwestycyjne Spółki w głównej mierze zależą więc od środków Miasta przeznaczonych w budżecie na realizację zadań związanych z lokalnym transportem zbiorowym.

W 2018 r. Spółka zrealizowała projekt związany z zakupem 12 nowych autobusów marki Solaris Urbino 10,5, mieszczących 70 pasażerów, w tym 23 na miejscach siedzących. Pojazdy posiadają silniki Euro 6, automatyczne skrzynie biegów, komplet tablic informacyjnych, klimatyzację oraz ładowarki USB. Nowe autobusy zastąpiły najstarsze pojazdy w obecnej flocie spółki i stanowią ok. 40% dziennego szczytowego uruchomienia.

W ramach projektów inwestycyjnych realizowany był także remont zajezdni MPK przy ul. Wesolej. W miejscu wyburzonego starego budynku warsztatowego, zbudowana została automatyczna myjnia portalowa, w której codziennie, po zakończeniu pracy, myte są wszystkie autobusy. Do tego wybudowano zintegrowane zaplecze socjalne dla pracowników warsztatu, nową kotłownię gazową i przebudowano hale warsztatowe. Cała nawierzchnia placu została wyremontowana.

Całkowita wartość realizowanych prac wynosiła ok. 18 mln 700 tys. zł, na co uzyskano dofinansowanie unijne w wysokości 11 mln 550 tys. zł. Projekt współfinansowany został ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Unii Europejskiej w ramach projektu Wielkopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2014 - 2020, Działanie 3.3 Wspieranie strategii niskoemisyjnych, w tym mobilność miejska, Poddziałanie 3.3.1 Inwestycje w obszarze transportu miejskiego, (*nr RPWP. 03.03.01-30-0026/16-00*).

W najbliższych latach (okres 15 letni) planowana jest dalsza wymiana i modernizacja posiadanego taboru. Zakłada się, iż w pierwszej kolejności zostaną wymienione autobusy średniopodłogowe (wysokość podłogi: 520 mm) marki Mercedes 0345 Conecto, eksploatowane we flocie MPK od 2003 r. (4 sztuki) oraz 2008 r. (2 sztuki). W dalszej kolejności planowana jest wymiana 9 autobusów spełniających normę emisji spalin EURO 2 marki Mercedes-Benz Citaro 0530.

W miejsce wymienianych autobusów planuje się zakup nowych spełniających normę EURO 6. Charakterystyka autobusów przewidzianych do wymiany została przedstawiona w tabeli poniżej.

Tabela 12. Wykaz autobusów planowanych do wymiany w taborze MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie

Lp.	Producent / model	Rok produkcji	Numer taborowy	Długość nadwozia [m]	Wysokość podłogi [mm]	Standard emisji spalin EURO	Całkowity przebieg [km]
1	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	20	12	520	EURO 3	737.863
2	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	21	12	520	EURO 3	751.893
3	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	22	12	520	EURO 3	755.750
4	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	23	12	520	EURO 3	712.942
5	MERCEDES 0345 CONECTO	2003	36	12	520	EURO 3	751.943
6	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	38	12	520	EURO 3	680.275

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Lp.	Producent / model	Rok produkcji	Numer taborowy	Długość nadwozia [m]	Wysokość podłogi [mm]	Standard emisji spalin EURO	Całkowity przebieg [km]
7	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	60	12	320	EURO 2	919.010
8	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	61	12	320	EURO 2	1.031.336
9	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	62	12	320	EURO 2	1.116.548
10	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	63	12	320	EURO 2	928.969
11	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	64	12	320	EURO 2	758.220
12	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	65	12	320	EURO 2	726.442
13	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	69	12	320	EURO 2	716.080
14	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	70	12	320	EURO 2	718.758
15	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	71	12	320	EURO 2	710.299

źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie

5. Możliwe Warianty Inwestycyjne

Zgodnie z zapisami ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018 poz. 317), autobusem zeroemisyjnym możemy nazwać autobus, który wykorzystuje do napędu:

- energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych,
- wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych oraz trolejbus.

Artykuł 36 ww. ustawy, wskazuje, że jednostka samorządu terytorialnego, z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000, świadczy usługę lub zleca świadczenie usługi komunikacji miejskiej podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego powinien wynosić co najmniej 30%. Obecnie MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie nie posiada w swoim taborze autobusów zeroemisyjnych, tak więc ich udział we flocie, zgodnie z wymogami ustawy, powinien wynosić:

Tabela 13. Wymagana ilość pojazdów zeroemisyjnych we flocie MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie zgodnie z ustawą z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych

Termin wymagany ustawą z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych	Wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie	Liczba pojazdów we flocie	Liczba pojazdów zeroemisyjnych we flocie
1 stycznia 2018 r.	0	41	0
od 1 stycznia 2021 r.	5%	41	2
od 1 stycznia 2023 r.	10%	41	4
od 1 stycznia 2025 r.	20%	41	8
od 1 stycznia 2028 r.	30%	41	12

Niniejsza analiza kosztów i korzyści wynikających z wykorzystania autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie odnosi się do możliwości modernizacji aktualnej floty pojazdami uznawanymi za spełniające wymogi Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2018 poz. 317).

Analizie poddano zatem następujące warianty inwestycyjne, dla których okres referencyjny wynosi 15 lat:

- **WARIANT BAZOWY (W0)** - podstawowy, stanowiący wariant wyjściowy analizy porównawczej, w stosunku do którego będą odnoszone i porównywane wszystkie analizowane opcje inwestycyjne – dotyczy świadczenia usług z wykorzystaniem zmodernizowanego taboru o napędzie konwencjonalnym spełniającym normy emisji spalin EURO 6,
- **WARIANT W1 – tabor zasilany energią elektryczną**, sukcesywna wymiana taboru na pojazdy elektryczne w celu wypełniania obowiązków ustawowych,
- **WARIANT W2– tabor zasilany paliwem wodorowym**, sukcesywna wymiana taboru na pojazdy zasilane wodorem w celu wypełniania obowiązków ustawowych.

5.1. Wariant bazowy

Prezentowany wariant bazowy ma charakter wyłącznie porównawczym, stanowiący punkt odniesienia dla pozostałych wariantów, który zakłada ponoszenia nakładów na odtworzenie taboru. W wariantcie tym przyjmuje się, że w okresie 15 lat zajdzie wymiana obecnie używanych autobusów na nowe lub używane pojazdy o napędzie konwencjonalnym (silnik zasilany olejem napędowym), spełniających normę spalin EURO 6.

Zakłada się, iż w pierwszej kolejności zostaną wymienione autobusy średniopodłogowe, spełniające normę spalin EURO 3 (6 sztuk Mercedes 0345 CONECTO), a w kolejnych latach autobusy z normą EURO 2 (9 sztuk).

Eksploatacja autobusów o napędzie spalinowym pozwala uniknąć nakładów finansowych na dodatkową infrastrukturę do obsługi pojazdów. W zakresie zaopatrzenia w paliwo autobusy będą dalej korzystać z istniejącej na terenie miasta infrastruktury stacji paliw, w szczególności w zajezdni.

W wariantcie bazowym zakłada się wykorzystanie pojazdów spełniających normę EURO 6, która została opracowana w celu redukcji emisji niektórych szkodliwych gazów wydzielanych przez pojazdy drogowe. Norma zmusza producentów do wytwarzania bardziej ekologicznych samochodów osobowych i ciężarowych. Dopuszczalna wartość emisji tlenków azotu ma wynieść 400 mg/kWh, a więc o 80% mniej niż w normie Euro 5. Limity emisji cząstek stałych zostaną zmniejszone o 66% i mają wynosić 10 mg/kWh. Ma ona charakter obligatoryjny i dotyczy wszystkich pojazdów użytkowych wyprodukowanych po 2013 roku. Obowiązuje od 2014 r³⁰. Porównanie dopuszczalnych wartości emisji spalin w poszczególnych normach EURO dla silników wysokoprężnych zostało przedstawione poniżej.

Tabela 14. Dopuszczalne wartości emisji spalin w poszczególnych normach EURO dla samochodów z silnikiem wysokoprężnym, g/km

Emisja	EURO 1 [1993]	EURO 2 [1997]	EURO 3 [2001]	EURO 4 [2006]	EURO 5 [2011]	EURO 6 [2015]
CO	2,72	1,00	0,64	0,50	0,50	0,50
NOx	-	-	0,50	0,25	0,18	0,08
HC+NOx	0,97	0,70	0,56	0,30	0,23	0,17
PM	0,140	0,080	0,050	0,025	0,005	0,005

źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Europejski_standard_emisji_spalin

Realizacja powyższego wariantu zakłada dalszą eksploatację taboru opartego o silniki wysokoprężne zasilane olejem napędowym. Będzie on realizowany w oparciu o wymianę autobusów na nowe, o podobnych parametrach przewozowych, w pierwszej kolejności pojazdów średniopodłogowych (wysokość podłogi 520 mm) spełniających normę emisji EURO 3 (6 sztuk), a w następnej kolejności autobusów o normie spalin EURO 2 (9 sztuk), które są obecnie najstarszymi w taborze eksploatowanym przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie (tabela 11). Wymiana będzie dotyczyć pojazdów wskazanych w tabeli 12 w rozdziale 4.2. niniejszego opracowania.

³⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32012R0459>

Tabela 15. Harmonogram wymiany taboru w wariancie bazowym W0

Lp.	Producent / model	Rok produkcji	Numer taborowy	Długość nadwozia [m]	Wysokość podłogi [mm]	Standard emisji spalin EURO	Rok wymiany
1	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	20	12	520	EURO 3	2023
2	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	21	12	520	EURO 3	2023
3	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	22	12	520	EURO 3	2023
4	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	23	12	520	EURO 3	
5	MERCEDES 0345 CONECTO	2003	36	12	520	EURO 3	2023
6	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	38	12	520	EURO 3	2023
7	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	60	12	320	EURO 2	2032
8	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	61	12	320	EURO 2	2032
9	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	62	12	320	EURO 2	2026
10	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	63	12	320	EURO 2	2026
11	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	64	12	320	EURO 2	2029
12	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	65	12	320	EURO 2	2029
13	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	69	12	320	EURO 2	2026
14	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	70	12	320	EURO 2	2029
15	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	71	12	320	EURO 2	2032

5.2. Wariant W1

Wariant W1 zakłada zakup oraz eksploatację autobusów zeroemisyjnych napędzanych energią elektryczną z akumulatorów oraz infrastruktury potrzebnej do obsługi taboru.

Zgodnie z wymogami *ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych* (Dz. U. 2018 poz. 317), ilość autobusów zeroemisyjnych we flocie obsługującej komunikację miejską, do 2028 r. powinien wynosić 12 sztuk.

Wariant ten zakłada, że z floty pojazdów eksploatowanych na sieci komunikacyjnej miasta zostaną wycofane autobusy średniopodłogowe z silnikiem z normą emisji EURO 3 i wybrane z normą emisji EURO 2. W ich miejsce zostaną zakupione autobusy elektryczne wraz z dedykowaną im infrastrukturą służącą ładowaniu autobusów.

Uwzględniając ilość pasażerów oraz potrzeby w zakresie usług komunikacyjnych w Gnieźnie, założono zakup autobusów o długości 12m, średniej pojemności. W celu zapewnienia ciągłej eksploatacji pojazdów na liniach, autobusy muszą być ładowane zarówno w nocy w zajezdni, jak i doładowywane w ciągu dnia, stąd też przewiduje się zakup odpowiedniej liczby ładowarek plug-in jak i stacji szybkiego ładowania typu pantografowego.. Informacje dotyczące obecnie stosowanych technologii związanych z taborom elektrycznym zostały opisane szczegółów w rozdziale 2 niniejszego opracowania.

Reasumując, wariant W1 przewiduje zakup:

- a) autobusów elektrycznych klasy MAXI o odpowiedniej pojemności baterii pozwalającej na realizację kursów wg założonego rozkładu jazdy i trybu ładowania (patrz punkt 7.2),
- b) odpowiedniej liczby stacji ładowania autobusów elektrycznych wyposażonych w pantograf – tzw. szybkie ładowanie, które zostaną zainstalowane na pętli Lednicka I,
- c) odpowiedniej liczby ładowarek do ładowania autobusów elektrycznych metodą plug-in – ładowanie odbywać się będzie w zajezdni w godzinach nocnych (tzw. długie ładowanie).

W stosunku do harmonogramu wymiany autobusów w wariantcie bazowym, wariant W1 zakłada przyspieszenie wymiany w celu spełnienia wymogów udziału taboru zeroemisyjnego we flocie przewoźnika.

Tabela 16. Harmonogram wymiany taboru w wariantcie W1

Lp.	Producent / model	Rok produkcji	Numer taborowy	Długość nadwozia [m]	Wysokość podłogi [mm]	Standard emisji spalin EURO	Rok wymiany
1	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	20	12	520	EURO 3	2021
2	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	21	12	520	EURO 3	2021
3	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	22	12	520	EURO 3	2025
4	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	23	12	520	EURO 3	2025
5	MERCEDES 0345 CONECTO	2003	36	12	520	EURO 3	2023
6	MERCEDES 0345 CONECTO	2002	38	12	520	EURO 3	2023
7	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	60	12	320	EURO 2	2032 [ON]
8	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	61	12	320	EURO 2	2032 [ON]
9	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	62	12	320	EURO 2	2028
10	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	63	12	320	EURO 2	2025
11	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	64	12	320	EURO 2	2028
12	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	65	12	320	EURO 2	2028
13	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	69	12	320	EURO 2	2025
14	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	70	12	320	EURO 2	2028
15	MERCEDES-BENZ CITARO O530	2001	71	12	320	EURO 2	2032 [ON]

[ON] – wymiana na autobus z napędem diesla o normie EURO 6

5.3. Wariant W2

Wariant W2 zakłada, że do wypełnienia wymogów *ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych* (Dz. U. 2018 poz. 317), zostaną wykorzystane pojazdy napędzane paliwem wodorowym.

W przypadku tej technologii, autobusy wyposażone są w silniki elektryczne zasilane prądem wytworzonym podczas elektrochemicznego procesu wykorzystującego wodór. W trakcie reakcji wodór (H_2) łączy się tlenem (O) w ogniwie paliwowym, w którym powstaje woda (H_2O) oraz energia elektryczna. Zaletą tego rodzaju pojazdów jest więc całkowita bezemisyjność, gdyż produktem ubocznym jest wyłącznie para wodna. Co więcej, pojazdy te mają szacowany zasięg sięgający 350 – 400 km, co umożliwia pracę bez konieczności tankowania przez cały dzień. Z kolei samo ładowanie jest krótkim procesem i trwa do kilkunastu minut.

Autobusy napędzane paliwem wodorowym jeżdżą w 7 europejskich miastach w Wielkiej Brytanii (Londyn), Szwajcarii (Aargau), Włoszech (Mediolan, Bolzano), Niemczech (Hamburg, Kolonia) i Norwegii (Oslo)³¹.

Znacznym problemem ograniczającym rozwój tej technologii napędzania pojazdów, nie tylko autobusowych, jest też konieczność budowy odpowiedniej infrastruktury. W Polsce nie ma dziś żadnej stacji tankowania wodoru dla autobusów. Wodór, który jest gazem lotnym i wybuchowym, jest paliwem trudnym w przechowywaniu i użytkowaniu. Na razie nie zachęca to nie tylko miast polskich, ale też zagranicznych³².

Zainteresowanie tego typu pojazdami bezemisyjnymi wykazują jednak polscy producenci.

Solaris Bus & Coach na 2019 r. zaplanował premierę autobusu wodorowego nowej generacji Solaris Urbino 12 Hydrogen, pojazdu całkowicie bezemisyjnego. Energia potrzebna do zasilenia układu napędowego autobusu pochodzić będzie z wodoru przetwarzanego w ogniwie paliwowym na prąd elektryczny. Dzięki zastosowanej w pojeździe technologii, autobus wodorowy będzie miał możliwość pokonania rekordowego (z całej gamy autobusów elektrycznych) zasięgu na pojedynczym tankowaniu – ponad 350 km. Ponadto, pojazd zostanie wyposażony w małą baterię trakcyjną Solaris High Power o pojemności 29,2 kWh, mającą za zadanie wspomagać ogniwo paliwowe w chwilach największego zapotrzebowania na energię. Bateria będzie ładowana energią pochodzącą z wodoru. Dodatkowo pojazd będzie miał możliwość naładowania baterii także poprzez gniazdo plug-in (tak jak dzieje się to standardowo w przypadku autobusów elektrycznych). Z kolei napęd stanowić będzie oś ze zintegrowanymi silnikami elektrycznymi o nominalnej mocy 60 kW każdy. Dwunastometrowy autobus będzie charakteryzować się dużą pojemnością pasażerską (do 80 podróżnych)³³.

Prototyp autobusu elektrycznego z ogniwami wodorowymi zaprezentowała w czerwcu 2018 r. również spółka Ursus.

Autobus Ursusa zasilany jest wodorem, który gromadzony jest w kompozytowych zbiornikach umieszczonych na dachu pojazdu. Na jednym tankowaniu wodoru autobus może przejechać ok. 450 km, a tankowanie trwa ok. 10 minut. Autobus ma 12 m długości i może pomieścić 75 pasażerów - ma 28 miejsc siedzących i 47 stojących³⁴.

³¹ <https://www.green-projects.pl/wodorowe-autobusy-zero-emisji/>

³² ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

³³ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/solaris-zaprezentuje-autobus-wodorowy-nowej-generacji--58865.html>

³⁴ <https://motoryzacja.interia.pl/wiadomosci/producenci/news-ursus-zbudowal-pierwszy-autobus-na-wodor,nId,2595374>

Zakup autobusów z napędem paliwem wodorowym jest możliwy, ale mając na uwadze brak jakiegokolwiek infrastruktury dedykowanej tankowaniu pojazdów wodorowych na terenie kraju, brak jest możliwości do skutecznego wdrażania tego wariantu.

W przypadku wprowadzenia autobusów wodorowych do komunikacji miejskiej, konieczne byłoby przeprowadzenie inwestycji nie tylko w sam tabor, ale również w stację tankowania wodoru oraz kontraktację samego paliwa od zewnętrznych dostawców.

5.4. Analiza jakościowa wariantów wymiany taboru

Dla potrzeb przeprowadzenia analizy jakościowej zastosowano kryteria o charakterze jakościowym. Wszystkie zastosowane kryteria oceny odzwierciedlają założenia oraz cele, jakie przyświecają wprowadzeniu i wykorzystaniu autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie.

Na potrzeby przeprowadzenia analizy jakościowej zdefiniowano następujące kryteria oceny:

- A. Funkcjonalność:
 - A.1 Dostępność technologii
 - A.2 Dostępność infrastruktury
 - A.3 Zasilanie
 - A.4 Zarządzanie taboru
- B. Efektywność wykorzystania taboru:
 - B.1 Ilość obsługiwanych pasażerów
 - B.2 Ilość obsługiwanych tras
- C. Wpływ na środowisko:
 - C.1 Emisje do powietrza
 - C.2 Emisja hałasu
- D. Aspekt ekonomiczno-finansowy:
 - D.1 Koszty wprowadzenia

Poszczególnym kryteriom przyporządkowano następnie wartości punktowe w następującej skali:

- | | |
|----------|--|
| + | pozytywne interakcje, odnoszące się do korzystnego wpływu danego kryterium bądź możliwości łatwego spełnienia warunków dla danego kryterium wymiany taboru |
| 0 | neutralne interakcje, odnoszące się do obojętnego wpływu danego kryterium bądź możliwości spełnienia warunków dla danego kryterium wymiany taboru bez dodatkowych ułatwień czy też trudności |
| - | negatywne interakcje, odnoszące się do niekorzystnego wpływu danego kryterium bądź trudności w spełnienia warunków dla danego kryterium wymiany taboru |

Dla poszczególnych wariantów określono jakościowy wpływ na dane kryteria, co zostało przedstawione w tabeli poniżej.

Tabela 17. Analiza jakościowa wariantów wymiany taboru

Lp.	Kryterium	WARIANT BAZOWY	WARIANT 1	WARIANT 2
A	Funkcjonalność			
A.1	Dostępność technologii	+	0	-
A.2	Dostępność infrastruktury	+	0	-
A.3	Zasilanie	+	-	-
A.4	Zarządzanie taboru	+	-/0	+
B	Efektywność wykorzystania taboru			
B.1	Ilość obsługiwanych tras	+	-	+
B.2	Ilość obsługiwanych pasażerów	+	0	0
C	Wpływ na środowisko			
C.1	Emisje do powietrza	-	+	+
C.2	Emisje hałasu	0	+	+
D	Aspekt ekonomiczno - finansowy			
D.1	Koszty wprowadzenia	0	-	-

Przeprowadzona analiza jakościowa odnosiła się do różnych kryteriów wymiany odzwierciedlających założenia oraz cele wprowadzenia i wykorzystania autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie.

Dla poszczególnych wariantów określono jakościowy wpływ na dane kryteria, który zakładał pozytywne, neutralne bądź negatywne interakcje odnoszące się do wpływu danego kryterium bądź też możliwości jego spełnienia.

Następnie dokonano oceny wyboru wariantu, która wskazała, że najlepszym wariantem jest WARIANT BAZOWY.

Szczegółowa ocena wyboru, odnosząca się do poszczególnych kryteriów dla danych wariantów, została przedstawiona poniżej.

➤ FUNKCJONALNOŚĆ

Kryterium funkcjonalności odnosiło się zagadnień związanych z aspektami technologicznymi i technicznymi wymiany taboru.

Niewątpliwie tabor o napędzie konwencjonalnym jest obecnie najpowszechniej wykorzystywany do świadczenia usług komunikacyjnych. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego na koniec 2016 r. w Polsce eksploatowane były 11.973 autobusy komunikacji miejskiej. Liczba ta ulega od kilku lat jedynie niewielkim zmianom – różnica pomiędzy rokiem 2010 a 2016 to nieco ponad 100 sztuk. Tylko 454 jednostki spośród ogółu autobusów to pojazdy na paliwo alternatywne (w 2015 r. – 419). Na koniec 2017 r. w Polsce w ramach usług świadczonych przez miejskich przewoźników autobusowych eksploatowano 64 autobusy na

CNG, 40 na LNG, 20 jeżdżących na biopaliwa, 104 pojazdy hybrydowe oraz 52 autobusy elektryczne³⁵. Z kolei autobusy zasilane wodorem nie jeżdżą w żadnym polskim mieście.

Realizacja wariantu polegającego na wymianie autobusów na pojazdy spełniające normę spalin EURO 6 nie wymaga realizacji dodatkowej infrastruktury, w przeciwieństwie do taboru zasilanego energią elektryczną czy wykorzystującego ogniwa wodorowe.

O ile zakup infrastruktury niezbędnej do ładowania autobusów elektrycznych nie jest niczym ograniczony, to w przypadku autobusów napędzanych wodorem sytuacja jest odmienna. Eksploatacja tego typu pojazdów wiąże się z koniecznością budowy odpowiednich stacji do tankowania, a obecnie na terenie Polski brak jest stacji tankowania wodorem, który jest niezbędny do zasilania ogniw paliwowych. Nie jest również prowadzona dystrybucja czystego wodoru na potrzeby transportowe.

Podobnie w przypadku paliwa zasilającego – dostęp do autobusów z napędem konwencjonalnym nie jest niczym ograniczony, natomiast w przypadku autobusów elektrycznych należy dokonać wyboru optymalnej strategii zaopatrywania autobusów w energię na trasie, co wymaga rozstrzygnięcia kwestii dotyczących ładowania baterii lub ich wymiany przy założeniu realizacji zadanego planu operacyjnego. Konieczna jest analiza miejsc potencjalnych lokalizacji systemu ładowania, uzależniona od możliwości ich przyłączenia do sieci na trasie kursowania autobusu. W przypadku ogniw wodorowych, jak wspomniano powyżej, obecnie brak jest stacji tankowania, nie jest także prowadzona jego dystrybucja.

Zarządzania taborem z napędem konwencjonalnym nie ma ograniczeń wynikających dostępności do infrastruktury do tankowania bądź zasilania. Mogą one realizować kursy na trasach obsługujących linie międzygminne czy też obszarach o znacznych deniwelacjach terenu.

➤ **EFEKTYWNOŚĆ WYKORZYSTANIA TABORU**

W przypadku tras obsługiwanych taborem konwencjonalnym czy napędzanych paliwem wodorowym brak jest ograniczeń wynikających z dostępności do miejsc ich tankowania. W przypadku autobusów elektrycznych istotny jest wybór linii o właściwej parametryzacji obejmującej m.in. obsługę obszarów miejskie o intensywnej zabudowie wielorodzinnej ze względu na brak emisji hałasu, występowanie dużej intensywności dobowego i rocznego wykorzystania taboru oraz dostępności przestrzennej przystanków. Trasa powinna mieć względnie płaski profil pionowy i dana linia powinna być podatna na kongestię drogową.

Wybór linii o właściwej parametryzacji wpływa tym samym na ilość przewożonych pasażerów – w przypadku autobusów elektrycznych ich wykorzystywanie ogranicza się do trenów miasta i uniemożliwia ich wykorzystanie na liniach realizujących połączenia międzygminne.

➤ **WPŁYW NA ŚRODOWISKO**

Wykorzystanie taboru zasilanego paliwem alternatywnym niesie ze sobą bezsprzeczne korzyści środowiskowe, tak jak m.in.:

- brak emisji zanieczyszczeń w miejscu użytkowania autobusu, a co za tym idzie zmniejszenie niskiej emisji z transportu w mieście,
- poprawa komfortu jazdy wynikająca ze zmniejszenia emisji hałasu na zewnątrz i wewnątrz pojazdu oraz braku spalin na przystanku,

³⁵ ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

- zmniejszenie obciążenia ulic hałasem i spalinami,

➤ **ASPEKT EKONOMICZNO – FINANSOWY**

Koszty wprowadzenia taboru z napędem alternatywnym są znacznie wyższe od realizacji wariantu konwencjonalnego - wyniki analizy przedstawiono w rozdziale 7, które jednoznacznie wskazują na o wiele wyższą wartość NPV dla autobusów elektrycznych.

Technologia pozwalająca na napędzanie pojazdów wodorem jest technologią nową, bardzo zaawansowaną technicznie, a co najważniejsze na chwilę obecną bardzo drogą, w zakupie nawet przyrównując do zakupu pojazdów z napędem elektrycznym. Koszt zakupu autobusu wodorowego oscyluje w okolicach 3 000 000,00 zł³⁶.

Analiza powyższych uwarunkowań wskazała, że najlepszym wariantem spośród ocenianych jest WARIANT BAZOWY, zakładający wymianę używanych autobusów na pojazdy spełniające normę emisji spalin EURO 6. Kolejny jest wariant W1, zakładający zakup oraz eksploatację autobusów zeroemisyjnych napędzanych elektryczną z akumulatorów oraz infrastruktury potrzebnej do obsługi taboru.

Powyższe warianty (bazowy i W1) będą poddane szczegółowej analizie w kolejnych rozdziałach.

W przypadku Wariantu W2, zakładającego zakup autobusów z napędem wodorowym, mając na uwadze brak jakiegokolwiek infrastruktury dedykowanej tankowaniu pojazdów wodorowych na terenie kraju, brak jest możliwości do skutecznego wdrażania tego wariantu, stąd nie był on poddawany dalszym analizom.

³⁶ <https://www.money.pl/sekcja/impactmobility2018/autobus-wodorowy-to-przyszlosc-juz-niedlugo,174,0,2409646.html>

6. Koncepcja obsługi sieci miejskiej autobusami elektrycznymi

Dobór odpowiedniego taboru przeznaczonego do elektryfikacji stanowi wypadkową różnych czynników, wśród których można wskazać przede wszystkim: potrzebną pojemności, zasięg, planowany model ładowania, a także dostępne sposoby finansowania zarówno zakupu, jak i późniejszego użytkowania pojazdów³⁷.

Dostępne technologie oraz rozwiązania praktyczne muszą być rozpatrywane zarówno pod kątem potrzeb poszczególnych przedsiębiorstw komunikacji miejskiej, do których zaliczyć należy w szczególności potrzeby w aspektach technicznych, organizacyjno-transportowych, ekologicznych i ekonomicznych. Dla właściwego przebiegu procesu eksploatacji autobusów elektrycznych w systemie publicznego transportu zbiorowego, konieczne jest rozwiązanie kilku zasadniczych problemów, m.in. o charakterze techniczno-eksploatacyjnym, takich jak:

- dobór tras do obsługi autobusami elektrycznymi w sposób umożliwiających realizację obowiązującego rozkładu jazdy,
- ustalenie optymalnej lokalizacji punktów ładowania baterii przy założeniu realizacji zadanego planu operacyjnego (układu tras i linii oraz rozkładu jazdy) a także przy uwzględnieniu procesu rozładowania baterii w funkcji: czasu jazdy, planu i profilu tras komunikacyjnych, warunków jazdy, w tym m. in. liczby zatrzymań i ruszeń spowodowanych zatorami lub sygnalizacją świetlną, zapotrzebowania na energię urządzeń pokładowych (szczególnie system ogrzewania i klimatyzacji),
- wyboru optymalnej strategii zaopatrywania autobusów w energię na trasie, co wymaga rozstrzygnięcia kwestii dotyczących ładowania baterii lub ich wymiany przy założeniu realizacji zadanego planu operacyjnego i zdefiniowanego uprzednio procesu rozładowania baterii³⁸.

6.1. Analiza wyboru linii komunikacyjnych obsługiwanych przez autobusy zeroemisyjne

Analizując wybór linii komunikacyjnych obsługiwanych przez autobusy zeroemisyjne odniesiono się do rekomendacji wskazanych w praktycznym przewodniku dla samorządów dotyczącym zasad opracowywania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych³⁹.

Zgodnie z rekomendacjami w zakresie kierowania autobusów elektrycznych do obsługi linii komunikacyjnych w zależności od charakteru ich tras, pojazdy takie mogą być przeznaczane do obsługi danej linii w sytuacji, gdy:

- obsługują obszary miejskie o intensywnej zabudowie wielorodzinnej ze względu na brak emisji hałasu,

³⁷ ZDG TOR, „Polska na drodze do elektromobilności”, 2018

³⁸ Janecki R. i inni, *Aspekty ekonomiczne procesu wdrażania autobusów elektrycznych w publicznym transporcie zbiorowym*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z.108, 2015

³⁹ Gromadzki M., *Zasady opracowywania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych*. Praktyczny przewodnik dla samorządów, Warszawa, czerwiec 2018

- występuje duża intensywność dobowego i rocznego wykorzystania taboru – środki transportu o wysokich kosztach stałych powinny być eksploatowane w sposób maksymalnie intensywny (próg opłacalności eksploatacji elektrobusów wyznaczono na 100 tys. wozokilometrów rocznie – należy zauważyć przy tym, że obecny poziom techniki poważnie utrudnia lub nawet uniemożliwia jego osiągnięcie);
- występuje wysoka dostępność przestrzenna przystanków – cechy techniczno-eksploatacyjne elektrobusów predestynują je do obsługi linii o dużej gęstości przystanków;
- trasa ma względnie płaski profil pionowy – przy obecnym zaawansowaniu i sprawności procesu rekuperacji powinno się preferować linie bez bardzo dużych deniwelacji w przebiegu trasy;
- analizowana linia stanowi element systemu skoordynowanej obsługi obszaru zurbanizowanego wieloma liniami – wymagane synchronizacją rozkładów jazdy dłuższe postoje wyrównawcze na pętlach mogą być dzięki temu efektywnie wykorzystane na doładowanie zasobników energii;
- dana linia jest podatna na kongestię drogową – jej trasa charakteryzuje się dużą liczbą zatrzymań autobusów pomiędzy przystankami i niewielką prędkością jazdy pomiędzy tymi zatrzymaniami;
- niska prędkość techniczna zdeterminowana przyczynami innymi niż kongestia⁴⁰ (np. przebieg trasy przez strefy ograniczonego ruchu – z pierwszeństwem pieszych i rowerzystów, obszary uspokojonego ruchu „Tempo 30” i inne);
- przebieg trasy obejmuje planowane przyszłe strefy ekologiczne dla pojazdów mechanicznych (w szczególności okolice obiektów zabytkowych).

⁴⁰ Kongestia to wzrost liczby pojazdów na drogach oraz natężenie ruchu, zwana też inaczej „Paraliż drogowy”, spowodowany zakorkowaniem pewnych odcinków dróg. Występuje prawie w każdej gałęzi. W transporcie jest związana ze wzrostem ilości samochodów w pewnych okresach. W transporcie ładunków kongestia najczęściej występuje w przypadku towarów sezonowych

Tabela 18. Parametryzacja linii komunikacyjnych obsługiwanych przez MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie

Nr linii	Trasa podstawowa	Liczba przystanków	Długość trasy [km]	Okres kursowania	Wozokilometry [wkm/doba]	Czas przejazdu przez linię [min]	Liczba kursów na linii
2	KIERUNEK: WIERZBICZANY	26	12,5	dni robocze	306	30	24
	KIERUNEK: POZNAŃSKA	25	11,3		261	30	24
3	KIERUNEK: WSCHODNIA - WIERZBICZANY	26	10,8	dni robocze i soboty	219	30	23
	KIERUNEK: PUSTACHOWSKA	26	10,9		225	30	23
4	KIERUNEK: BUDOWLANYCH - REYMONTA	24	11	dni robocze szkolne	40	31	5
	KIERUNEK: CECHOWA	17	7,9		30	23	4
5	KIERUNEK: LEDNICKA	17	8,6	dni robocze	41	24	6
	KIERUNEK: CEGIELSKIEGO	16	8,5		63	24	9
7	KIERUNEK: POZNAŃSKA - SKIERESZEWO	21	10,1 9,3 (do Poznańskiej)	dni robocze, soboty, niedziele i Święta	220	30	22
	KIERUNEK: GDAŃSKA	21	10 10,6 (z Poznańskiej)		240	28	24
8	KIERUNEK: POZNAŃSKA	28	9,9 12,2 (z Arkuszowa) 9,5 (z Lednickiej)	dni robocze	214	31	22
	KIERUNEK: FABRYCZNA I	22	10,9		208	32	20
9	KIERUNEK: WITKOWSKA	32	10,9 (z Gdańskiej) 9,6 (z Lednickiej) 13,5 (z Lednickiej p/Stoneczną)	dni robocze, soboty, niedziele i Święta	434	33	44
	KIERUNEK: LEDNICKA	29	10,4 (do Gdańskiej) 9,4 (do Lednickiej)		469	33	47
10	KIERUNEK: PYSZCZYNEK	14	8,8	dni robocze i soboty	89	23	10
	KIERUNEK: LEDNICKA	15	9,1		98	22	11
11	KIERUNEK: PYSZCZYN - KRZYSZCZEWO	26	10,9	dni robocze, soboty, niedziele i Święta	242	29	24
	KIERUNEK: PUSTACHOWSKA P	21	11		264	29	27

Nr linii	Trasa podstawowa	Liczba przystanków	Długość trasy [km]	Okres kursowania	Wozokilometry [wkm/doba]	Czas przejazdu przez linię [min]	Liczba kursów na linii
12	KIERUNEK: OBORA	31	15 18,5 (p/Żerniki)	dni robocze, soboty, niedziele i Święta	290	39	24
	KIERUNEK: LEDNICKA - WEŁNICA	30	15,1 18,6 (p/Żerniki)		286	37	24
13	KIERUNEK: JABŁONIOWA	22	11,2	dni robocze	289	31	30
	KIERUNEK: WEŁNICA	21	10,9		282	29	31
14	KIERUNEK: KAWIARY	18	8,1	dni robocze	50	25	7
	KIERUNEK: FABRYCZNA I	18	8,1		40	27	5
15	KIERUNEK: WEŁNICA	21	10	dni nauki szkolnej	104	22	11
	KIERUNEK: PACZKOWSKIEGO	21	10		75	24	10
16	KIERUNEK: JABŁONIOWA	16	9	dni nauki szkolnej	54	20	6
	KIERUNEK: CZARNIECKIEGO	15	9,5		65	24	7
17	KIERUNEK: PÓŁWIEJSKA	26	11,8	dni robocze, soboty, niedziele i Święta	567	36	47
	KIERUNEK: LEDNICKA I	26	11,7		549	35	47
22	KIERUNEK: JABŁONIOWA K.	37	15,7	Soboty, niedziele i Święta	296	42	18 (sobota)
	KIERUNEK: WIERZBICZANY I	36	15		293	39	18 (sobota)
23	KIERUNEK: REYMONTA	10	6,4	dni robocze i soboty	13	18	2
	KIERUNEK: CZARNIECKIEGO	10	6,3		15	19	2
31	KIERUNEK: CIELIMOWO	14	7,3	dni robocze	74	18	8
	KIERUNEK: LEDNICKA	20	10,8		59	26	8
N	KIERUNEK: PUSTACHOWSKA P	23	11,3	dni robocze	11,3	35	1
	KIERUNEK: LEDNICKA	20	9,5		9,5	28	1

linie o charakterze podmiejskim realizowane są na podstawie porozumień międzygminnych

Sieć komunikacyjna gnieźnieńskiego MPK składa się z 18 linii dziennych i jednej linii nocnej..

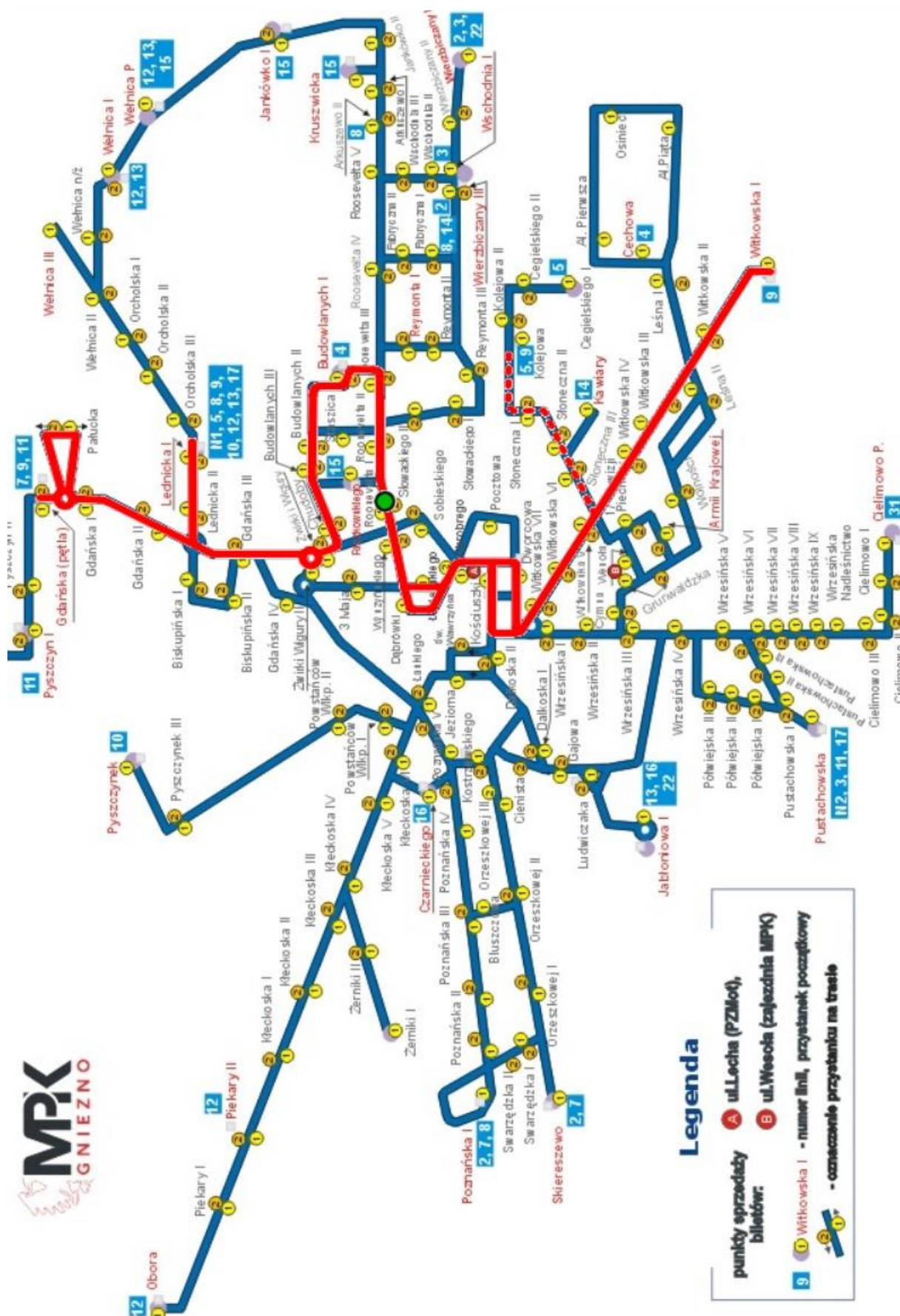
Podstawowy układ komunikacji miejskiej tworzą linie nr 2, 7, 9, 11, 13 i 17, docierające do ulic Lednickiej, Poznańskiej, Pustachowskiej, Witkowskiej oraz Wierzbiczany. Uzupełniającą rolę stanowią linie nr 3, 10 i 12, natomiast do grupy połączeń dodatkowych uruchamianych głównie w dni robocze lub w dni nauki szkolnej zaliczane są linie 4, 5, 8, 15, 16. W ramach linii nocnej N funkcjonuje tylko jeden kurs uruchamiany w dni robocze.

Mając na uwadze powyższe, można przyjąć założenia dla linii w celu spełnienia powyższych przesłanek dotyczące m.in.:

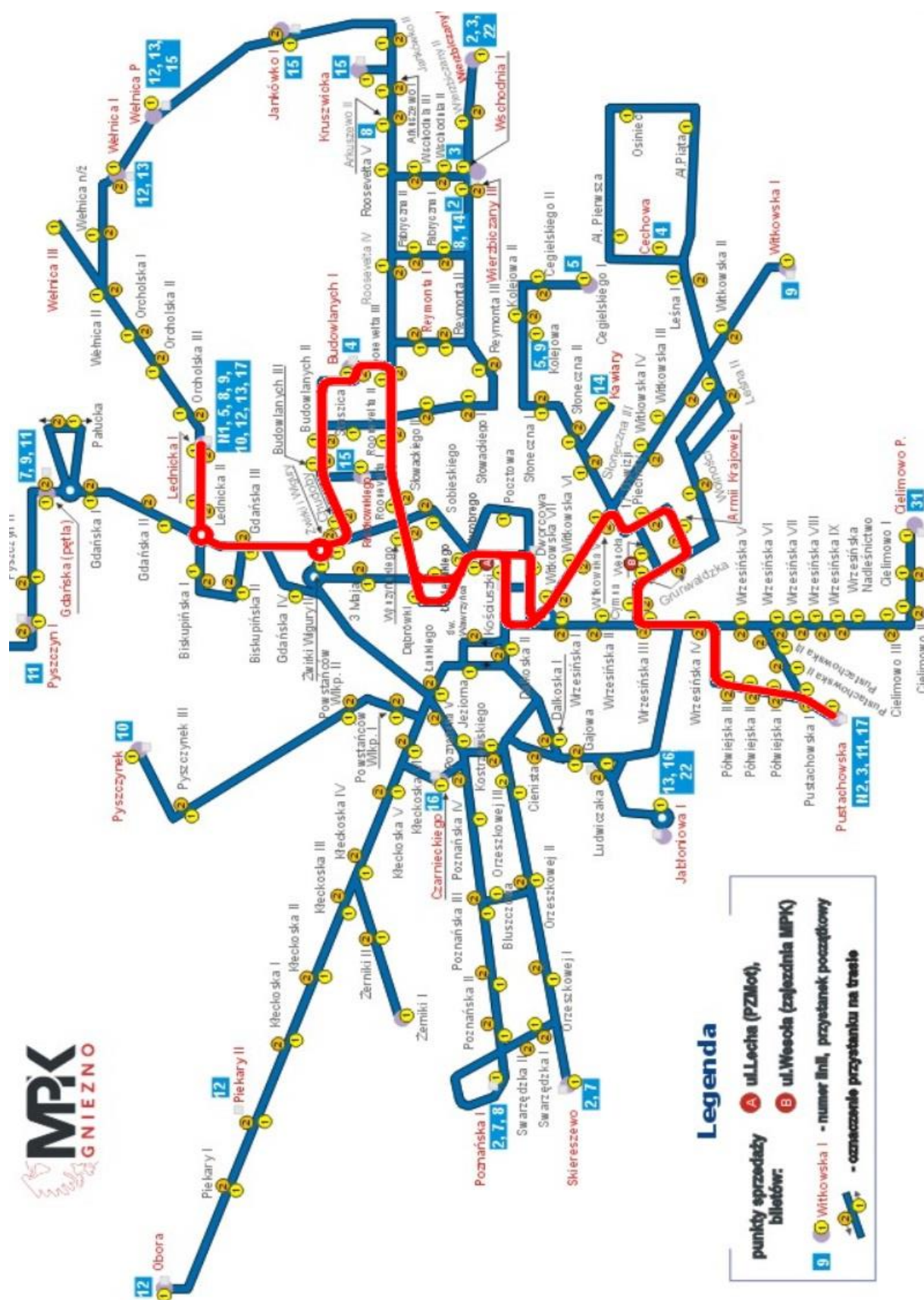
- obsługi dużych potoków pasażerskich oraz najbardziej zaludnionych obszarów miasta,
- wyboru linii łączącej centrum miasta z dużymi osiedlami mieszkaniowymi,
- przebieg linii przez tereny gęstej zabudowy mieszkaniowej,
- duża częstotliwość kursowania,
- przebieg linii wzdłuż załoczonych tras.

Uwzględniając charakter komunikacji miejskiej i powyższe założenia, z analizy zostały wyłączone linie realizujące kursy podmiejskie na podstawie zawartych porozumień międzygminnych.

Mając na względzie powyższe założenia, tj. linie obsługujące wyłącznie obszar miasta oraz tworzące podstawowy układ komunikacji miejskiej jak i okres kursowania pogłębionej analizie zostały poddane linie: **9 i 17**.



Rysunek 22. Przebieg linii nr 9 (http://cms.mobiinfo.pl/m/gm7xp.php?IDKlienta=GNIEZNO_MPK#)



Rysunek 23. Przebieg linii nr 17 (http://cms.mobiinfo.pl/m/gm7xp.php?IDKlienta=GNIEZNO_MPK#)

6.2. Potencjalna lokalizacja stacji ładowania autobusów zeroemisyjnych

W przypadku ładowania wolnego (nocnego) ze względów operacyjnych jako lokalizację ładowarek proponuje się teren zajezdni MPK Gniezno przy ul. Wesołej.

W przypadku ładowania szybkiego najkorzystniejszą byłaby lokalizacja ładowarek w obrębie pętli Lednicka I. Jest to podyktowane następującymi uwarunkowaniami:

- pętla ta obsługuje 7 linii dziennych, w tym linie preferowane do obsługi autobusami elektrycznymi tj. 9 i 17;
- dostępny jest wolny teren do zainstalowania ładowarek;
- niedaleko pętli znajdują się obszary przemysłowe oraz stacja elektroenergetyczna 110 kV/SN, należąca do operatora systemu dystrybucyjnego ENEA Operator.



Rysunek 24. Lokalizacja pętli Lednicka I (<http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/?locale=pl&gui=new&sessionID=4427717>)

7. Analiza kosztów i korzyści

7.1. Założenia ogólne

Zastosowana metodyka analizy finansowej oraz społeczno-ekonomicznej zgodna jest z wytycznymi i zaleceniami zawartymi w dokumentach:

- „Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020”;
- „Wytyczne w zakresie zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020”;
- „Niebieska Księga – Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach”;
- „Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej. Vademecum Beneficjenta”;
- „Najlepsze praktyki w analizach kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków unijnych”.

Analiza finansowa przeprowadzona została w cenach stałych netto, tj. wielkościach realnych, z wyłączeniem zmian cen wynikających z inflacji oraz z wyłączeniem podatku VAT. Jako rok bazowy dla wyznaczenia wartości nakładów oraz kosztów i cen przyjęto rok 2019. Przy obliczaniu wartości zaktualizowanej przepływów finansowych zastosowano realną finansową stopę dyskontową w wysokości 4%.

Przedmiotem analizy finansowej są rzeczywiste wpływy i wydatki pieniężne dla inwestora (MPK Gniezno), z wyłączeniem takich kategorii księgowych jak amortyzacja, rezerwy na zobowiązania czy też rezerwy na nieprzewidziane wydatki.

Zarówno w analizie finansowej jak i społeczno-ekonomicznej zastosowano podejście różnicowe, tzn. wyznaczono różnicę pomiędzy badanymi wariantami inwestycji a wariantem bazowym w zakresie:

- nakładów inwestycyjnych na tabor oraz na infrastrukturę do ładowania pojazdów elektrycznych;
- kosztów zakupu oleju napędowego i energii elektrycznej, wynikających z planowanej pracy przewozowej dla poszczególnych typów pojazdów;
- kosztów bieżącego serwisu pojazdów;
- korekt fiskalnych i cenowych;
- kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń, gazów cieplarnianych oraz hałasu.

Okres odniesienia zarówno dla analizy finansowej jak i społeczno-ekonomicznej obejmuje 15 od roku 2019. W ostatnim roku analizy w obliczeniach finansowych przepływów gotówki uwzględniono wartość rezydualną, którą przyjęto jako równą wartości księgowej netto składników majątku pozyskanych w ramach inwestycji planowanych w okresie odniesienia.

7.2. Warianty inwestycji w autobusy elektryczne

Analizie finansowej i ekonomicznej poddano wariant inwestycyjny W1 polegający na wymianie autobusów z napędem spalinowym na autobusy elektryczne. Rozważono przy tym dwa warianty realizacji, różniące się pod względem wybranego podstawowego trybu ładowania baterii autobusów:

- wariant W1-1, w którym podstawowym trybem ładowania będzie nocne ładowanie wolne a w ciągu dnia energia będzie uzupełniania jednym doładowaniem szybkim;
- wariant W1-2 gdzie podstawowe będzie ładowanie szybkie a dodatkowe doładowanie będzie realizowane w trybie wolnym.

Warianty te różnią się pomiędzy sobą w następujących elementach:

- pojemność baterii zainstalowanych w autobusach a co za tym idzie koszty zakupu pojazdów;
- liczba oraz moce poszczególnych typów ładowarek;
- roczne przebiegi autobusów elektrycznych – dla ładowania szybkiego możliwe będzie doładowania podczas postojów na pętli Lednicka zgodnie z rozkładem jazdy, w przypadku wariantu W1-1 postoje te będą musiały ulec wydłużeniu.

Na podstawie dokonanej analizy rozkładów jazdy na liniach objętych wprowadzeniem taboru elektrycznego, zużycia energii przez autobusy oraz wymaganych czasów ładowania baterii opracowano następujące założenia dla wariantów W1-1 i W1-2.

Tabela 19. Specyfikacja zasilania autobusów elektrycznych w zależności od trybu ładowania baterii

Parametr	Wariant	
	W1-1	W1-2
Pojemność baterii autobusu	380 kWh	160 kWh
Ładowarki wolne	Liczba docelowa: 12 Moc ładowarki: 70 kW Harmonogram instalacji: 2021: 2 2023: 2 2025: 4 2028: 4 Przyłącze: 930 kW (2021)	Liczba docelowa: 12 Moc ładowarki: 10 kW Harmonogram instalacji: 2021: 2 2023: 2 2025: 4 2028: 4 Przyłącze: 140 kW (2021)
Ładowarki szybkie	Liczba docelowa: 1 Moc ładowarki: 310 kW Harmonogram instalacji: 2021: 1 Przyłącze: 350 kW (2021)	Liczba docelowa: 3 Moc ładowarki: 550 kW Harmonogram instalacji: 2021: 1 2025: 1 2028: 1 Przyłącze 1.820 kW (2021)
Roczne przebiegi autobusów	Niższe o 10 % od wariantu W1-2 ze względu na konieczność dłuższego doładowania szybkiego w ciągu dnia	Dla autobusów kupowanych w roku: 2021: 75.000 km 2023: 75.000 km 2025: 70.000 km 2028: 65.000 km

7.3. Analiza finansowa

Przeprowadzona analiza finansowa ma na celu wykazanie, czy zastosowanie taboru elektrycznego byłoby z punktu widzenia MPK Gniezno inwestycją opłacalną finansowo, tzn. taką, która gwarantowałaby uzyskanie wewnętrznej stopy zwrotu (IRR) na poziomie zakładanej stopy dyskonta. Jest to równoznaczne ze spełnieniem warunku zerowej lub dodatniej wartości zaktualizowanej netto (NPV) różnicowych przepływów gotówki dla okresu objętego analizą.

Poniżej przedstawiono podstawowe założenia poszczególnych elementów przepływów, w szczególności nakładów inwestycyjnych oraz kosztów operacyjnych a także podsumowano wyniki oceny efektywności finansowej rozważanego przedsięwzięcia.

7.3.1. Nakłady inwestycyjne

Nakłady inwestycyjne wynikają z planu wymiany taboru oraz budowy infrastruktury ładowania przedstawionych w punktach 5.2, 5.3 i 7.2 i podzielone są na dwie grupy:

- zakup taboru;
- zakup i instalacja ładowarek wraz z przyłączami elektroenergetycznymi w wariantach zakładających zastosowanie autobusów elektrycznych.

W przypadku zakupu nowych autobusów z napędem silnikami spalinowymi (wariant W0), spełniających normę EURO 6, przyjęto następujące ceny netto pojazdów:

- klasa MAXI 900.000 zł.

W przypadku zakupu autobusów elektrycznych, cenę pojazdów dla roku bazowego założono wariantowo, uwzględniając wymagane pojemności i typy baterii, zależne od klasy pojazdu oraz trybu eksploatacji, w tym przyjętego sposobu ładowania (Warianty W1-1 i W1-2 – patrz punkt 7.2.):

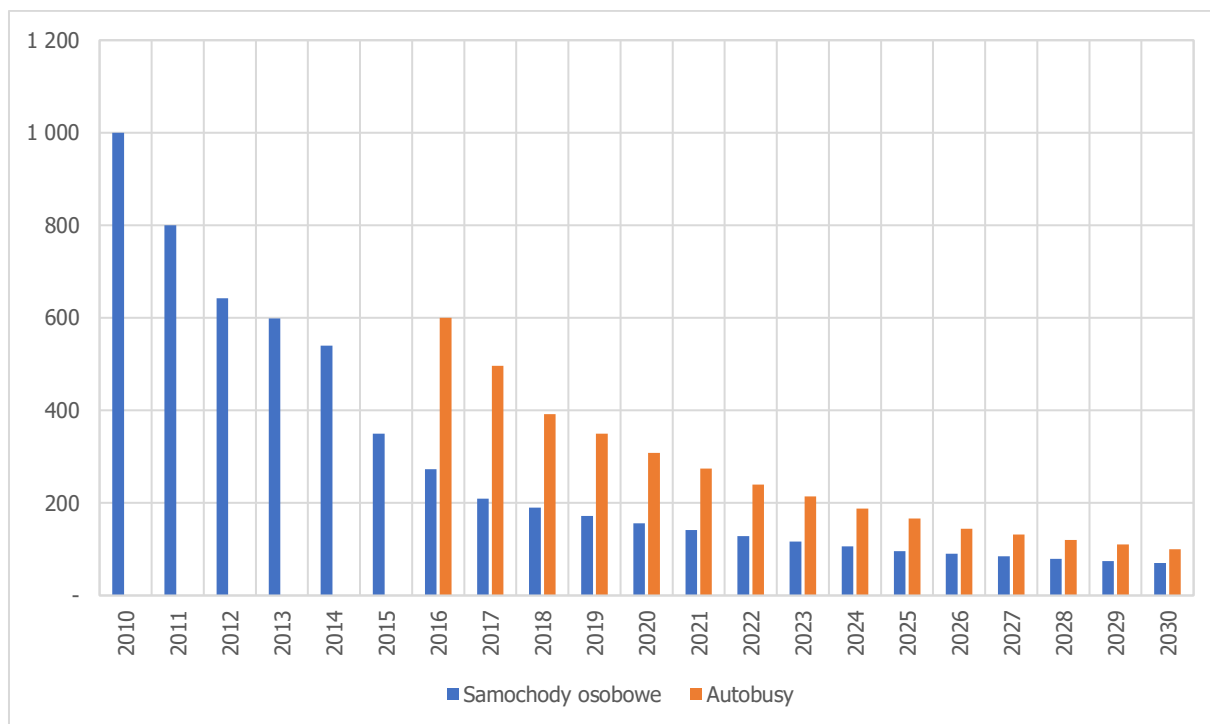
- klasa MAXI, ładowanie wolne, bateria 380 kWh 2.420.000 zł;
- klasa MAXI, ładowanie wolne i szybkie, bateria 160 kWh 2.200.000 zł.

Dla pojazdów z napędem spalinowym przyjęto utrzymanie założonych cen zakupu na stałym poziomie w całym okresie prognozy. W przypadku pojazdów elektrycznych uwzględniono oczekiwany spadek cen w czasie, wynikający głównie ze spadku cen baterii wraz z wdrażaniem masowej produkcji tego elementu a także z upowszechnieniem autobusów elektrycznych (patrz wykresy poniżej).

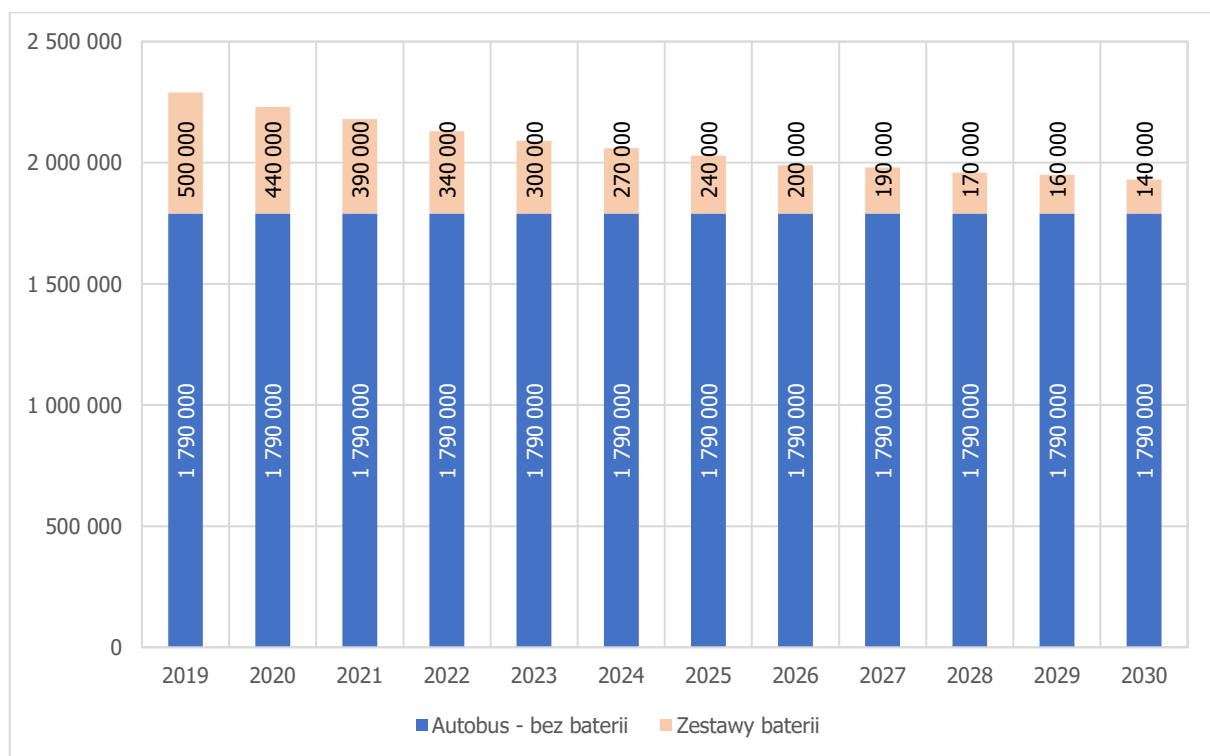
Jako element dotyczący zakupu taboru w przypadku pojazdów elektrycznych uwzględniono również koszty wymiany zestawów baterii, której częstotliwość będzie zależna od przyjętego trybu ładowania pojazdów:

- ładowanie wolne – wymiana baterii co 7 lat;
- ładowanie wolne i szybkie – wymiana baterii co 5 lat.

Koszt zakupu baterii na wymianę stanowi 75% kosztu nowej baterii (ze względu na możliwość sprzedaży używanej baterii na rosnącym rynku zastosowań wtórnych) oraz uwzględnia zakładany spadek cen tego elementu w kolejnych latach.



Rysunek 25. Jednostkowe ceny baterii pojazdów elektrycznych⁴¹



Rysunek 26. Składniki ceny autobusu elektrycznego (rynek polski, klasa MAXI, bateria 250 kWh)⁴²

⁴¹ Bloomberg New Energy Finance, „Electric Buses in Cities. Driving Towards Cleaner Air and Lower CO₂”, 29.03.2018. Prezentowane ceny dla samochodów osobowych dotyczą rynku globalnego, dla autobusów – rynku europejskiego. Wyższe ceny jednostkowe baterii autobusów wynikają ze znacząco mniejszej skali produkcji. Wraz z upowszechnianiem autobusów elektrycznych oczekiwane jest zbliżenie cen. Cena baterii obejmuje ogniwa połączone w moduły, połączenia elektryczne modułów, układ chłodzenia ogniw, konstrukcję nośną i obudowę oraz system zarządzania bateriami (BMS)

⁴² Opracowanie własne na podstawie: Polski Fundusz Rozwoju, „Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania”, 2018

Kolejnym składnikiem inwestycji w przypadku wdrożenia transportu bezemisyjnego będzie infrastruktura elektroenergetyczna potrzebna do ładowania baterii autobusów elektrycznych. Na infrastrukturę tę złożą się ładowarki wolnego oraz szybkiego ładowania wraz z odpowiednimi przyłączami energetycznymi. Harmonogram zakupu i instalacji ładowarek o odpowiedniej mocy oraz przygotowania przyłączy przedstawiono w punkcie 7.2.

Jednostkowe ceny przyjęto wg rozeznania rynku i są one następujące:

- ładowarka wolna 10 kW (wariant W1-2) 20.000 zł;
- ładowarka wolna 70 kW (W1-1) 130.000 zł;
- ładowarka szybka 310 kW (W1-1) 490.000 zł;
- ładowarka szybka 550 kW (W1-2) 830.000 zł;
- przyłączy do zajezdni 930 kW (W1-1) 186.000 zł;
- przyłączy do zajezdni 140 kW (W1-2) 28.000 zł;
- przyłączy na pętli Lednicka I 350 kW (W1-1) 175.000 zł;
- przyłączy na pętli Lednicka I 1.820 kW (W1-2) 910.000 zł.

Wynikowe wartości nakładów inwestycyjnych dla poszczególnych wariantów przedstawiono w tabelach i na wykresach poniżej.

Tabela 20. Nakłady inwestycyjne – wariant W0, zł w cenach roku 2019

Rok	Autobusy			Ładowarki		Przyłącza	Razem
	ON	Elektryczne	Wymiana baterii	Wolne	Szybkie		
2019	-	-	-	-	-	-	-
2020	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	-	-	-	-	-	-
2022	-	-	-	-	-	-	-
2023	5 400 000	-	-	-	-	-	5 400 000
2024	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-
2026	2 700 000	-	-	-	-	-	2 700 000
2027	-	-	-	-	-	-	-
2028	-	-	-	-	-	-	-
2029	2 700 000	-	-	-	-	-	2 700 000
2030	-	-	-	-	-	-	-
2031	-	-	-	-	-	-	-
2032	2 700 000	-	-	-	-	-	2 700 000
2033	-	-	-	-	-	-	-
Razem	13 500 000	-	-	-	-	-	13 500 000

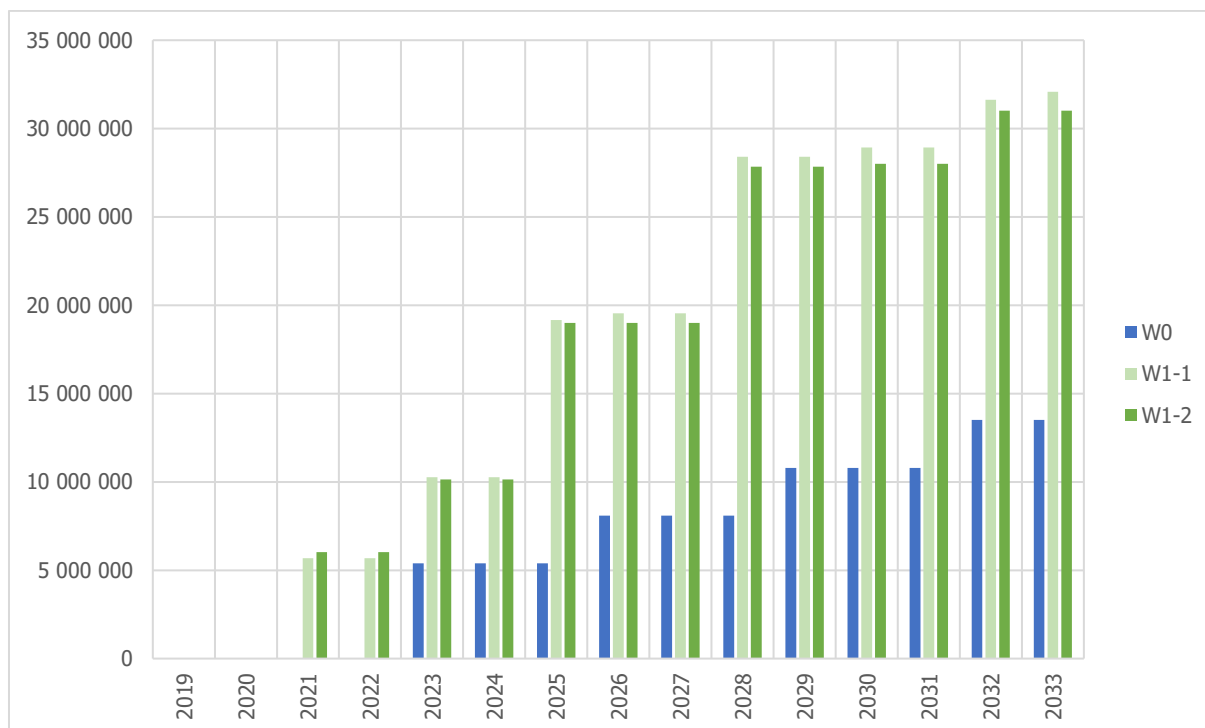
Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Tabela 21. Nakłady inwestycyjne – wariant W1-1, zł w cenach roku 2019

Rok	Autobusy			Ładowarki		Przylączy	Razem
	ON	Elektryczne	Wymiana baterii	Wolne	Szybkie		
2019	-	-	-	-	-	-	-
2020	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	4 563 000	-	260 000	490 000	361 000	5 674 000
2022	-	-	-	-	-	-	-
2023	-	4 336 000	-	260 000	-	-	4 596 000
2024	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	8 370 000	-	520 000	-	-	8 890 000
2026	-	-	378 000	-	-	-	378 000
2027	-	-	-	-	-	-	-
2028	-	8 017 000	321 000	520 000	-	-	8 858 000
2029	-	-	-	-	-	-	-
2030	-	-	529 000	-	-	-	529 000
2031	-	-	-	-	-	-	-
2032	2 700 000	-	-	-	-	-	2 700 000
2033	-	-	463 000	-	-	-	463 000
Razem	2 700 000	25 286 000	1 691 000	1 560 000	490 000	361 000	32 088 000

Tabela 22. Nakłady inwestycyjne – wariant W1-2, zł w cenach roku 2019

Rok	Autobusy			Ładowarki		Przylączy	Razem
	ON	Elektryczne	Wymiana baterii	Wolne	Szybkie		
2019	-	-	-	-	-	-	-
2020	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	4 220 000	-	40 000	830 000	938 000	6 028 000
2022	-	-	-	-	-	-	-
2023	-	4 072 000	-	40 000	-	-	4 112 000
2024	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	7 947 000	-	80 000	830 000	-	8 857 000
2026	-	-	-	-	-	-	-
2027	-	-	-	-	-	-	-
2028	-	7 718 000	209 000	80 000	830 000	-	8 837 000
2029	-	-	-	-	-	-	-
2030	-	-	172 000	-	-	-	172 000
2031	-	-	-	-	-	-	-
2032	2 700 000	-	308 000	-	-	-	3 008 000
2033	-	-	-	-	-	-	-
Razem	2 700 000	23 957 000	689 000	240 000	2 490 000	938 000	31 014 000



Rysunek 27. Nakłady inwestycyjne skumulowane, zł w cenach roku 2019

Z porównania nakładów pomiędzy wariantami wynikają następujące wnioski:

- w przypadku wariantów z zastosowaniem pojazdów elektrycznych, harmonogram nakładów rozpoczyna się już w roku 2021 (warunkowany wymogami ustawowymi), podczas gdy w przypadku kontynuacji wykorzystania taboru spalinowego pierwsze zakupy autobusów są konieczne dopiero w roku 2023;
- warianty elektryczne charakteryzują się nakładami znacząco ponad dwukrotnie wyższymi od wariantu spalinowego;
- nie ma istotnej różnicy pomiędzy wariantami elektrycznymi o różnych sposobach ładowania baterii – niższe koszty zakupu autobusów o mniejszych bateriach są prawie w całości kompensowane wyższymi kosztami infrastruktury ładowania.

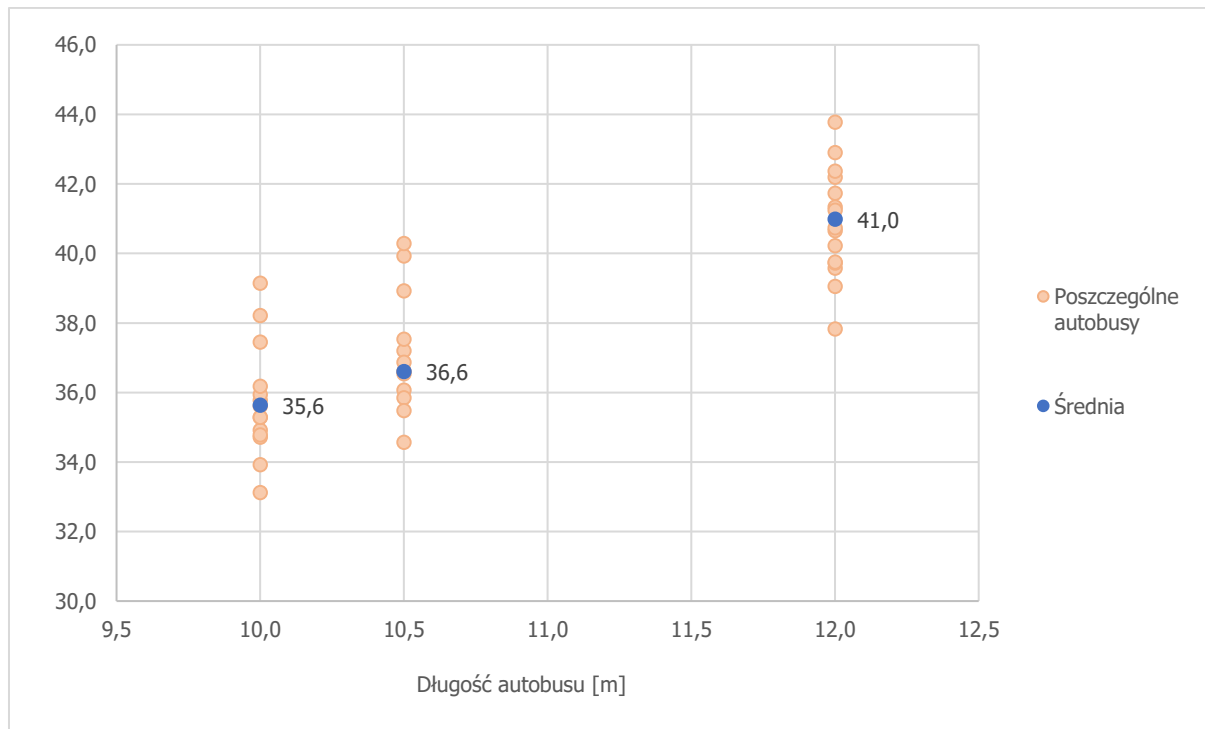
7.3.2. Koszty operacyjne

Przeprowadzona analiza finansowa ma charakter różnicowy, tak więc w oszacowaniu kosztów operacyjnych skupiono się jedynie na dwóch kategoriach, dla których z pewnością wystąpią znaczące różnice pomiędzy wariantami wprowadzającymi tabor elektryczny a wariantem spalinowym. Są to koszty:

- zakupu nośników energii – oleju napędowego i energii elektrycznej; oraz
- serwisu pojazdów.

Podstawą do wyznaczenia kosztów zakupu nośników energii są założenia dotyczące średniego zużycia energii na 100 km, realizowanych przebiegów oraz cen oleju napędowego i energii elektrycznej.

Dla każdego z autobusów użytkowanych obecnie przez MPK dane dotyczące średniego spalania przyjęto na podstawie statystyki za lata 2016-2018. Dla nowych autobusów o napędzie spalinowym poziom jednostkowego zużycia paliwa założono jako średnią z danych dla istniejącego taboru.



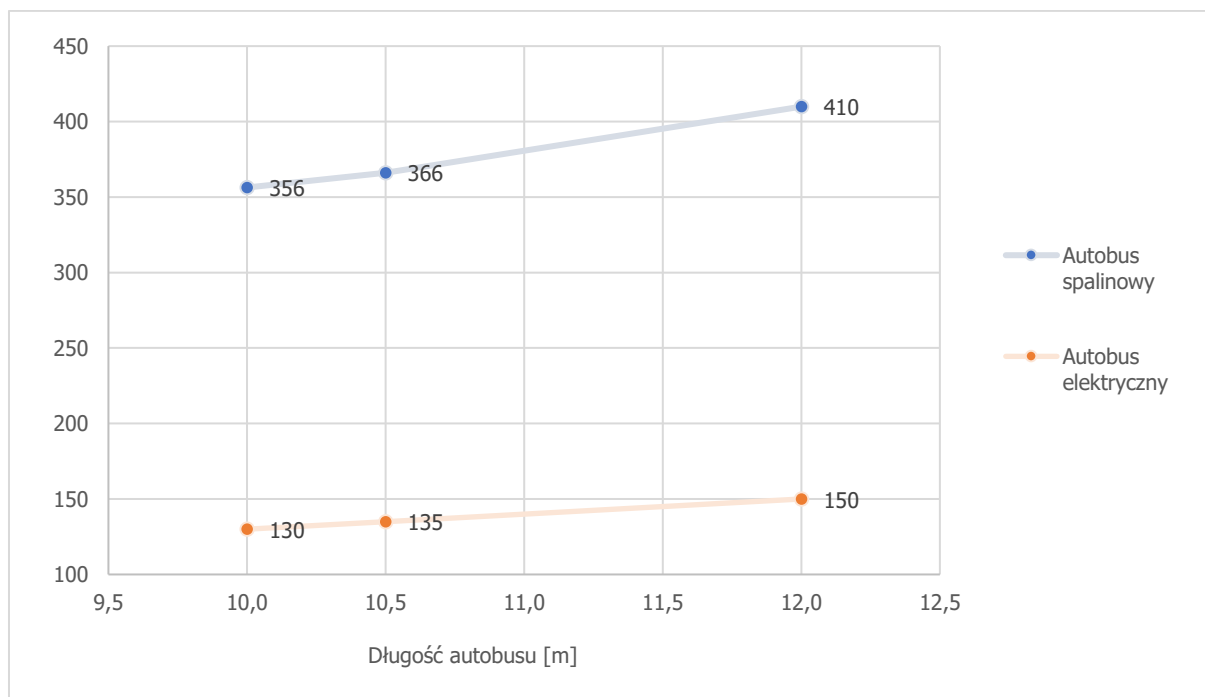
Rysunek 28. Jednostkowe zużycie ON, l/100 km

Dla autobusów elektrycznych poziom jednostkowego zużycia energii przyjęto na podstawie analizy danych producentów oraz informacji udostępnianych przez operatorów wykorzystujących obecnie ten typ napędu. Przyjęto przy tym, że kupowane autobusy będą w pełni elektryczne (tzn. energia elektryczna będzie wykorzystywana również do zasilania układów ogrzewania i klimatyzacji). Dodatkowo wykorzystano wyniki szczegółowych obliczeń, zaprezentowane w analizie dla Gorzowa Wielkopolskiego⁴³.

Przyjęte wynikowo wartości zużycia energii elektrycznej wraz z ich porównaniem do zużycia energii chemicznej w oleju napędowych dla autobusów spalinowych przedstawiono na wykresie poniżej. Nie różnicowano przy tym zużycia pomiędzy autobusami elektrycznymi o tej samej długości lecz różnej pojemności baterii⁴⁴.

⁴³ Gorzów Wielkopolski, „Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych”

⁴⁴ W wariantcie W1-1 maksymalna masa baterii szacowana jest na 1.900 kg (technologia NMC o gęstości energii 200 Wh/kg). W przypadku wariantu W1-2 masa ta jest jedynie 300 kg niższa (technologia LTO, 100 Wh/kg).



Rysunek 29. Jednostkowe zużycie energii, kWh/100 km

Przebiegi autobusów okresie analizy odzwierciedlają podstawowe założenia:

- brak istotnego wzrostu zapotrzebowania na usługi przewozowe;
- brak znaczących zmian w układzie komunikacyjnym oraz rozkładach jazdy MPK Gniezno.

Roczne wartości przebiegów dla poszczególnych pojazdów pozostających we flocie MPK w okresie analizy przyjęto na poziomie średniej rocznej z lat 2016-2018. W wariancie W0 założono, że nowej pojazdy z napędem spalinowym będą przejmować roczne przebiegi pojazdów wycofywanych z eksploatacji.

W wariantach zakładających zakup pojazdów elektrycznych przyjęto, że roczne przebiegi tych autobusów zostaną zmaksymalizowane poprzez działania operacyjne w ramach obecnych rozkładów jazdy linii przewidzianych do wprowadzenia transportu zeroemisyjnego. Jednocześnie zwiększone przebiegi autobusów elektrycznych będą kompensowane zmniejszeniem przebiegów jednostek z napędem spalinowym.

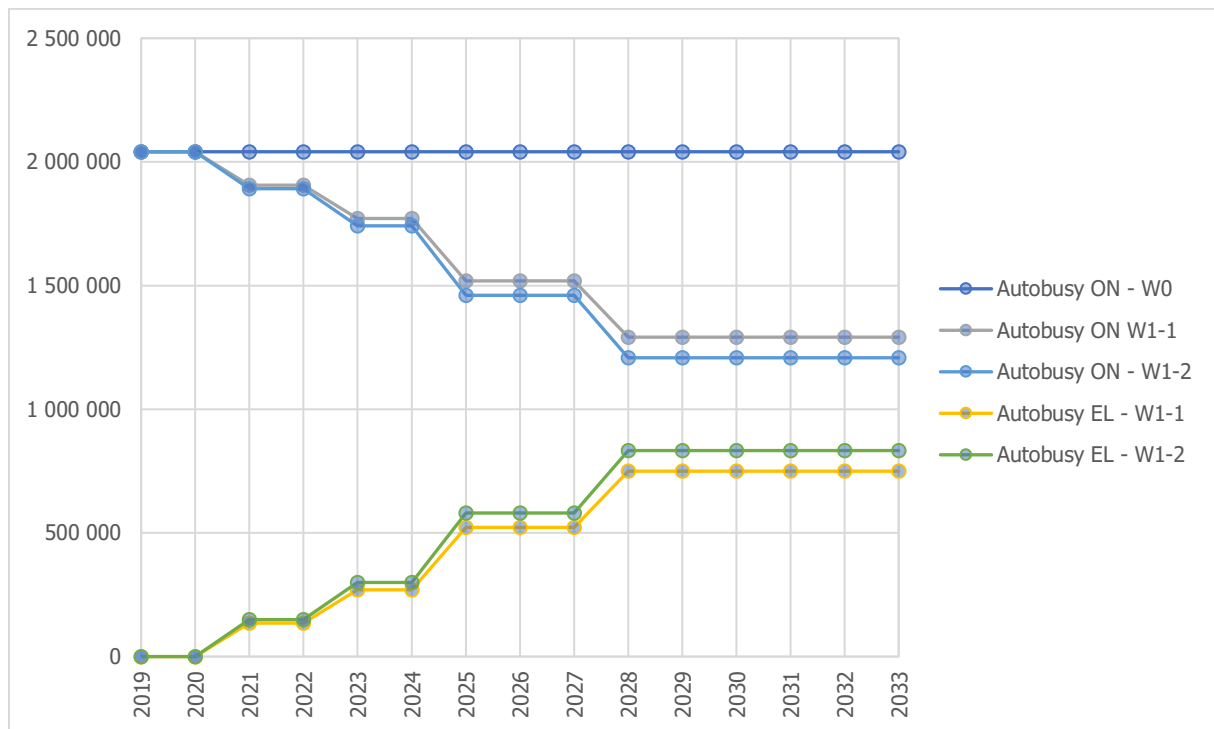
Wynikowo we wszystkich wariantach łączna roczna liczba wozokilometrów wykonywanych przez MPK na liniach postanie bez zmian. Wynikowe liczby wozokilometrów dla poszczególnych typów pojazdów i wariantów zaprezentowano na wykresie poniżej.

Cenę zakupu oleju napędowego przyjęto na podstawie:

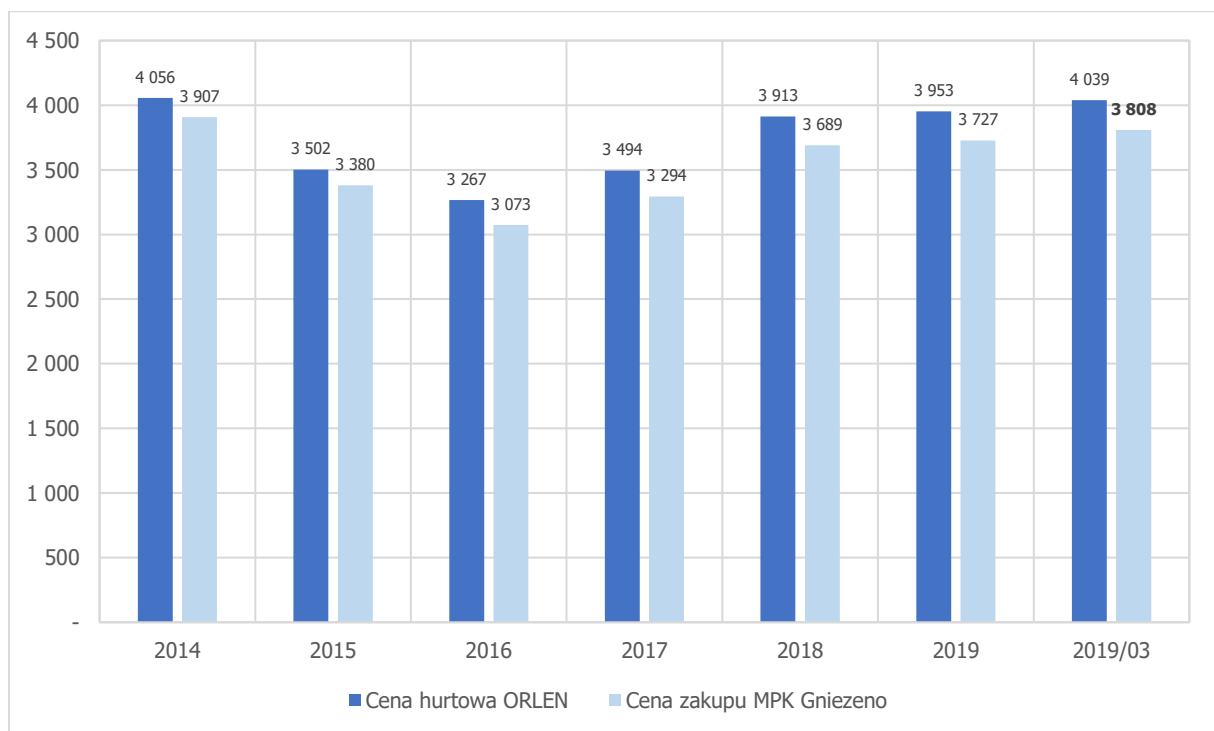
- aktualnych (marzec 2019) cen hurtowych oleju oferowanych przez Orlen;
- analizy relacji historycznych cen zakupu paliwa przez MPK Gniezno do cen hurtowych.

Z danych za lata 2014-2017 należy wnioskować, że MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie jako duży odbiorca może liczyć na upusty rzędu 4-6% od ceny hurtowej. Dla okresu prognozy jako cenę hurtową przyjęto średni poziom cen Orlen z marca 2019 a upust przy zakupie paliwa przez MPK założono na poziomie 5,7%. Wynikowe ceny zakupu ON przedstawiono na wykresie poniżej.

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie



Rysunek 30. Praca przewozowa, wkm/rok



Rysunek 31. Ceny zakupu ON, zł/m3 w cenach bieżących

Na koszty zużycia energii elektrycznej składać się będą dwa elementy:

- opłaty za pobraną energię elektryczną czynną, określane na podstawie zużycia energii oraz stawek określonych w taryfie ENEA S.A. obowiązującej od dnia 19 stycznia 2019 r.; oraz

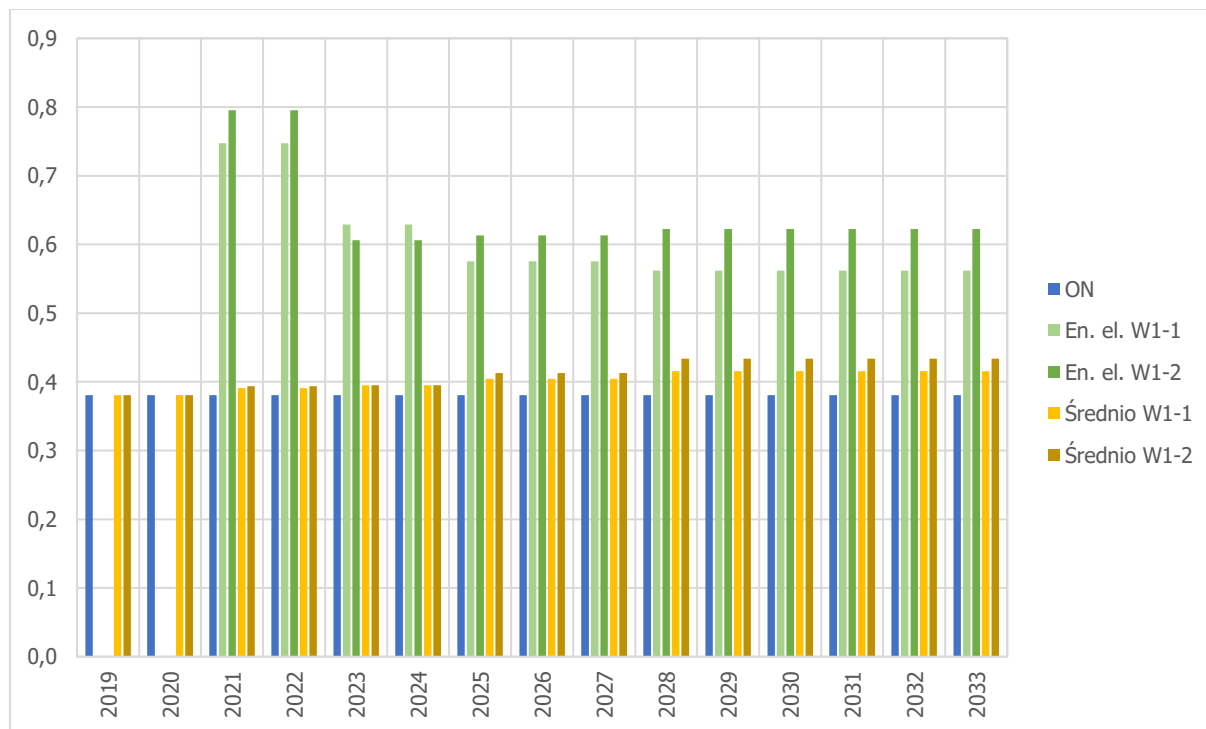
- opłaty za usługę dystrybucji, określane na podstawie zużycia energii i mocy umownych oraz stawek określonych w taryfie ENEA Operator Sp. z o.o., obowiązującej od dnia 22 marca 2019 r.

Na podstawie założeń dotyczących udziału poszczególnych trybów ładowania w wariantach W1-1 i W1-2 oraz oszacowania mocy przyłączeniowych w poszczególnych lokalizacjach dokonano następującego wyboru grup taryfowych:

Tabela 23. Plan zakupu energii elektrycznej

Tryb ładowania	Wariant	
	W1-1	W1-2
Wolne	Lokalizacja ładowarek: Zajezdnia Poziom napięcia: SN Docelowa moc umowna: 840 kW Pobór pozaszczytowy: 100% Udział w całkowitym ładowaniu: 50% Grupa taryfowa: B22	Lokalizacja ładowarek: Zajezdnia Poziom napięcia: nN Docelowa moc umowna: 120 kW Pobór pozaszczytowy: 100% Udział w całkowitym ładowaniu: 8% Grupa taryfowa: C22
Szybkie	Lokalizacja ładowarek: Zajezdnia Poziom napięcia: SN Docelowa moc umowna: 310 kW Pobór pozaszczytowy: 0% Udział w całkowitym ładowaniu: 50% Grupa taryfowa: B21	Lokalizacja ładowarek: Lednicka I Poziom napięcia: SN Docelowa moc umowna: 1.650 kW Pobór pozaszczytowy: 0% Udział w całkowitym ładowaniu: 92% Grupa taryfowa: B21

Wynikowe koszty jednostkowe zakupu oleju napędowego oraz energii elektrycznej, stosowane w prognozach finansowych zaprezentowano na wykresie poniżej.



Rysunek 32. Jednostkowe ceny zakupu paliw i energii, zł/kWh w cenach roku 2019

Na podstawie uzyskanych wyników można przedstawić następujące wnioski:

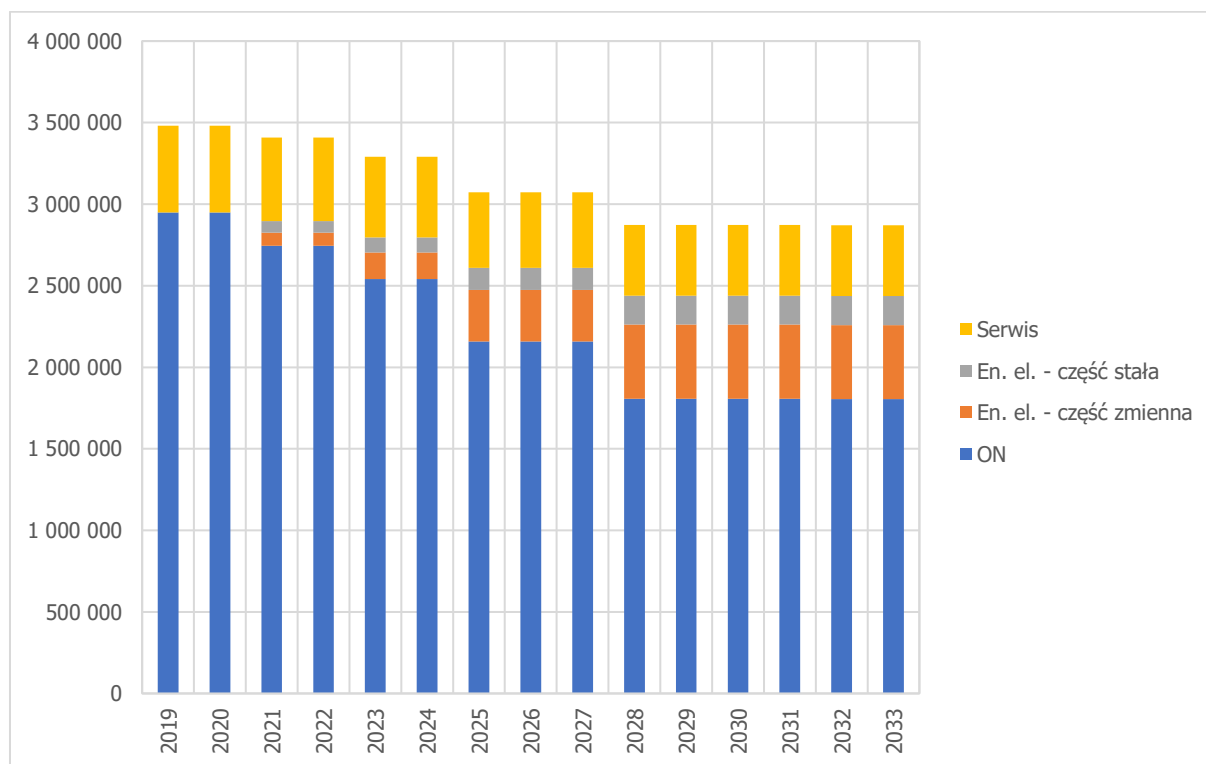
- łączne (obejmujące zakup energii oraz usługi dystrybucyjnej) koszty jednostkowe energii elektrycznej są o 48% (Wariant W1-1) a nawet 63% (wariant W1-2) wyższe od kosztu oleju napędowego w perspektywie wieloletniej;
- wyraźnie wyższe koszty energii elektrycznej w wariantach W1-1 i W1-2 niż w W1-2 wynikają z przyjętego trybu ładowania, który skutkuje znacząco niższym rocznym czasem wykorzystania mocy zainstalowanej w ładowarkach, a co za tym idzie wyższymi jednostkowymi opłatami stałymi z tytułu mocy umownej.

Koszty serwisu pojazdów wyznaczono w sposób uproszczony, zakładając jednostkowe stawki zależne od typu autobusu:

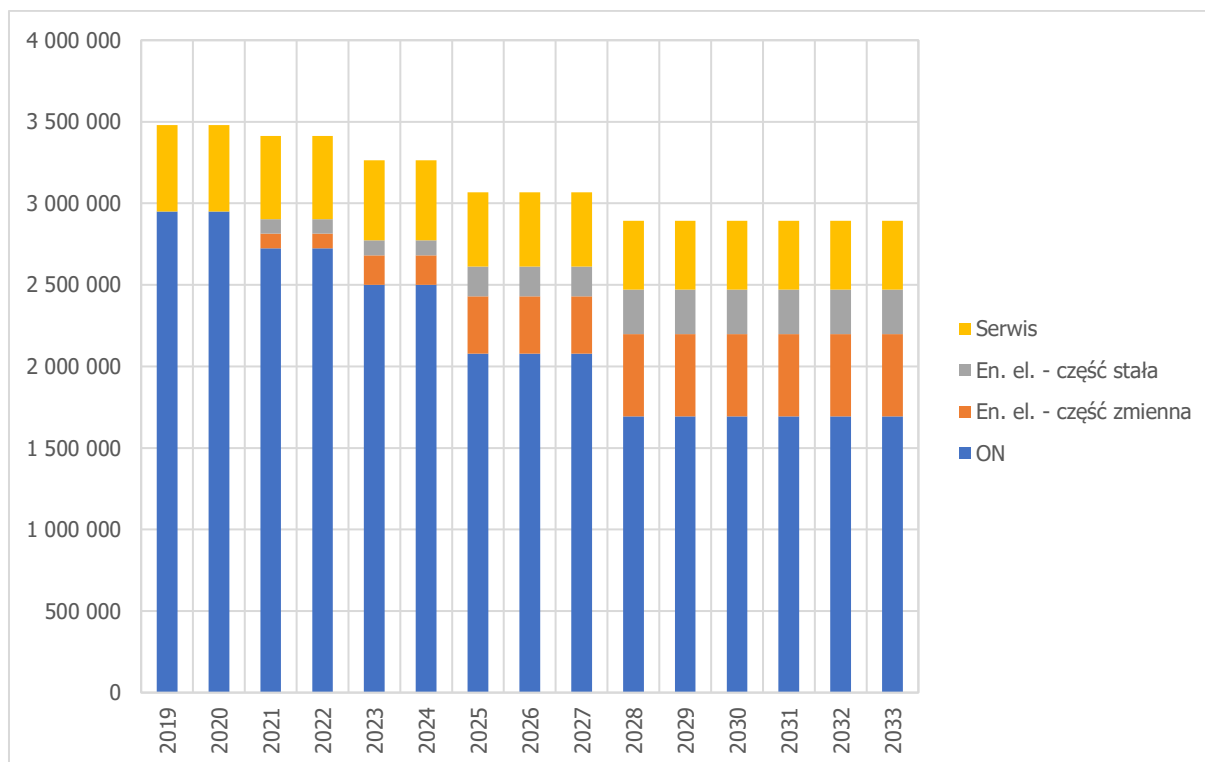
- autobus spalinowy – 0,26 zł/wkm;
- autobus elektryczny – 0,13 zł/wkm.

Podsumowanie porównania kosztów operacyjnych między wariantami przedstawiono na wykresach poniżej. Wnioski z analizy kosztów są następujące:

- oba warianty zakładające zastosowanie pojazdów elektrycznych (W1-1 i W1-2) charakteryzują się bardzo zbliżonym poziomem kosztów;
- koszty dla wariantu W1-2 zakładającego zastosowanie jako podstawowego ładowania szybkiego charakteryzują się minimalnie wyższymi kosztami całkowitymi, ze względu na wyższy poziom opłat za usługę dystrybucji energii elektrycznej.



Rysunek 33. Koszty operacyjne dla wariantu W1-1, zł w cenach roku 2019



Rysunek 34. Koszty operacyjne dla wariantu W1-2, zł w cenach roku 2019

7.3.3. Różnicowe przepływy gotówki i efektywność finansowa

Na podstawie obliczeń nakładów inwestycyjnych, kosztów operacyjnych oraz wartości rezydualnej wyznaczono różnicowe przepływy gotówki w stosunku do wariantu W0 dla każdego z wariantów zakładających wprowadzenie autobusów elektrycznych. Wyniki zaprezentowano na wykresach poniżej w formie skumulowanej.

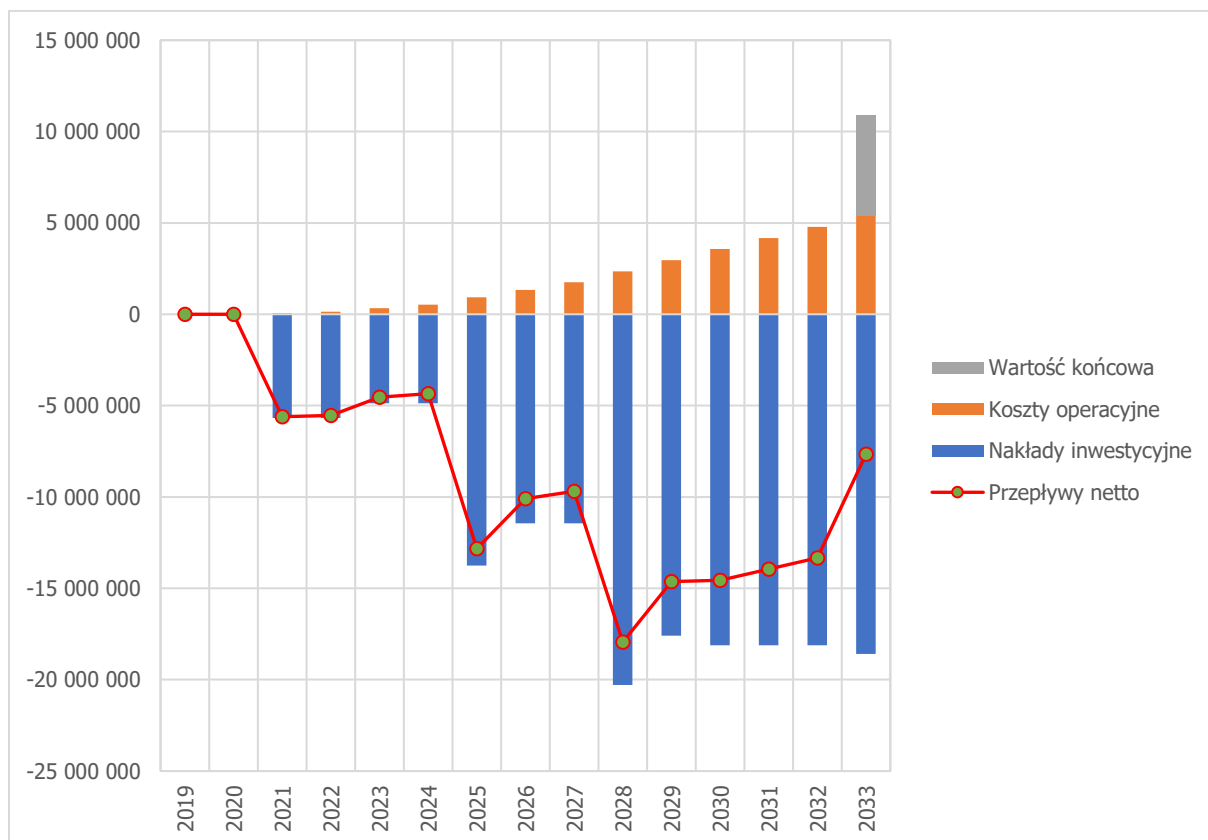
Na ich podstawie można stwierdzić, że nieco korzystniejszy pod względem skumulowanych przepływów netto za okres prognozy jest wariant W1-2, jednak oba warianty wykazują znaczące ujemne saldo gotówki na koniec okresu odniesienia.

Tak określone przepływy różnicowe stanowią podstawę do wyznaczenia wskaźników efektywności finansowej, przy czym należy zauważyć, że ze względu na ujemną wartość przepływów netto w całym okresie prognozy bezprzedmiotowe jest wyznaczanie wskaźnika wewnętrznej stopy zwrotu. W związku z tym wyznaczono jedynie wartość zdyskontowaną przepływów gotówki.

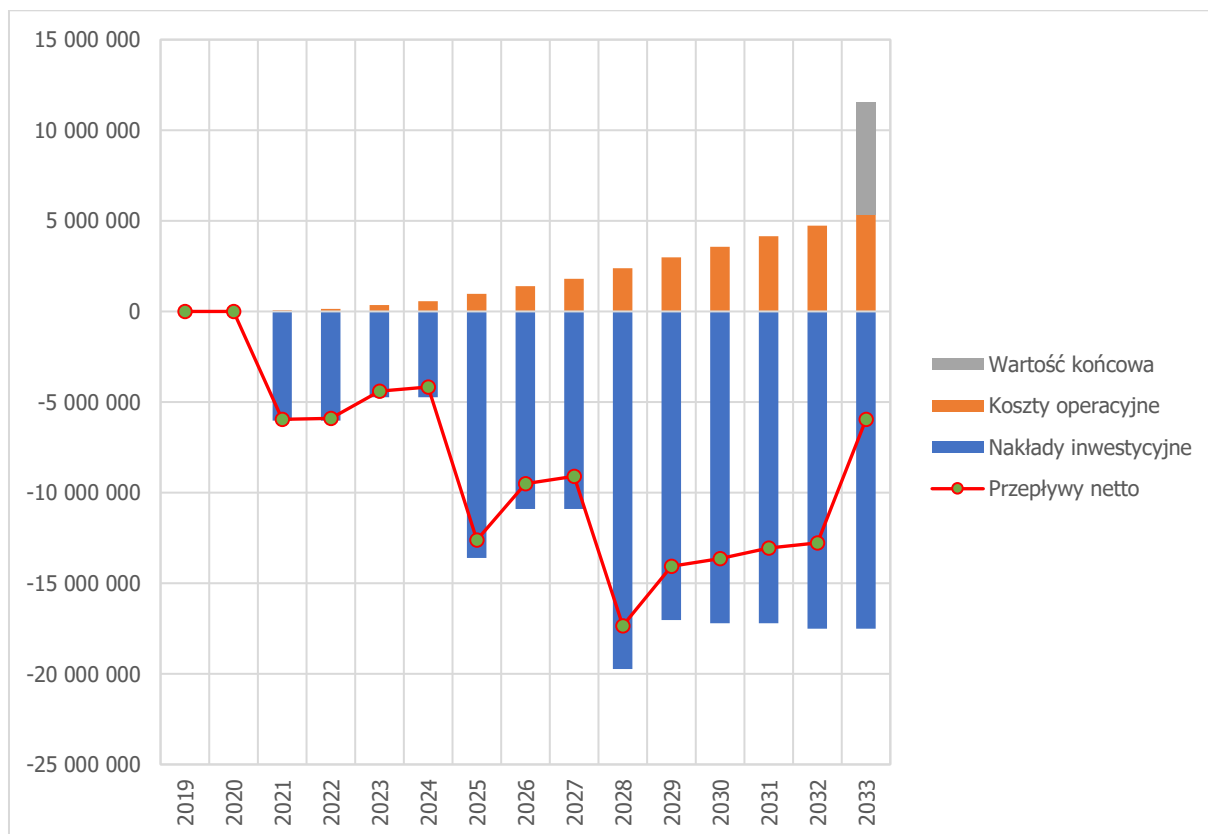
Uzyskane wyniki wskazują na finansową nieopłacalność obu wariantów elektrycznych w stosunku do wariantu spalinowego:

- dla wariantu W1-1 wartość NPV wynosi: **-7.930.935 zł;**
- dla wariantu W1-2 wartość NPV wynosi: **-6.831.601 zł;**
- różnica pomiędzy wariantami na korzyść wariantu W1-2 wynosi: **1.099.334 zł.**

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie



Rysunek 35. Skumulowane różnicowe przepływy gotówki: wariant W1-1 (minus) wariant W0, zł w cenach roku 2019



Rysunek 36. Skumulowane różnicowe przepływy gotówki: wariant W1-2 (minus) wariant W0, zł w cenach roku 2019

7.4. Analiza społeczno-ekonomiczna

W odróżnieniu od analizy finansowej, skupiającej się na przepływach finansowych widzianych przez inwestora, przedmiotem analizy społeczno-ekonomicznej jest kalkulacja kosztów i korzyści wynikających z realizacji a następnie z eksploatacji wybranego wariantu z punktu widzenia społeczeństwa.

Do analizy kosztów i korzyści społecznych włączono wyłącznie efekty bezpośrednio wynikające z danego wariantu. Analiza nie obejmuje zatem efektów rozproszonych w gospodarce, takich jak efekty mnożnikowe.

Analiza została przygotowana według niżej przedstawionego schematu postępowania:

- skorygowano przepływy finansowe o odchylenia cenowe i płacowe oraz efekty podatkowe;
- do tak skorygowanych przepływów dodano koszty lub korzyści zewnętrzne, wynikające ze zmiany emisji zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych oraz koszty hałasu.

Identyfikacji oraz przeliczeniu na wartości pieniężne poddano efekty zewnętrzne – zgodnie z katalogiem efektów zawartym w Załączniku III do Rozporządzenia wykonawczego Komisji UE nr 207/2015 z dnia 20 stycznia 2015 r.

Dokonując wyceny efektów zewnętrznych zastosowano ogólne zasady metodyczne ilościowej analizy kosztów i korzyści, w tym wyceny efektów społeczno-ekonomicznych, które opisano w Przewodniku, Niebieskiej Księdze, a także w Vademecum Beneficjenta. W analizie pominięto korzyści wynikające ze zwiększenia liczby pasażerów z uwagi na przyjęte założenie jednakowej liczby pasażerów dla każdego z wariantów.

Analizę przeprowadzono metodą różnicową, polegającą na porównaniu przepływów danego wariantu z przepływami wariantu bazowego, czyli zakładającego po zakończeniu realizacji obecnych inwestycji kontynuację funkcjonowania transportu publicznego w podobnym jak obecnie kształcie.

Aspekty podatkowe uwzględniono w analizie społeczno-ekonomicznej, bowiem wielkości będące przedmiotem analizy finansowej wymagają korekty – w celu lepszego oddania rzeczywistych cen. Jest to niezbędne, jeśli wykorzystywane dobra i usługi, bądź produkty wynikające z wariantu, zawierają podatek VAT lub inne podatki pośrednie albo zawierają ukryte subsydia (ewentualnie opłaty), mające na celu ograniczenie kosztów społecznych (np. w cenie energii zawarty jest pośredni podatek przeznaczony na pokrycie przyszłych kosztów ekologicznych – w takim przypadku należy uniknąć podwójnego naliczenia kosztów ekologicznych w analizie ekonomicznej).

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w Niebieskiej Księdze, w analizie społeczno-ekonomicznej dokonano korekty cen rynkowych na ceny ukryte, które lepiej odwzorowują korzyści społeczne.

W celu wyeliminowania zakłóceń (podatkowych i innych niedoskonałości rynku) na rynku energii i rynku pracy, zastosowano współczynniki konwersji CF, przedstawione w Vademecum Beneficjenta – odpowiednio w wysokości:

- dla nakładów inwestycyjnych w zakresie infrastruktury – 0,83;
- dla nakładów inwestycyjnych w zakresie taboru – 0,87;
- dla kosztów operacyjnych – 0,78.

Zastosowane w analizie finansowej kategorie kosztowe nie zawierają podatku VAT ani innych ukrytych opłat pośrednich, a zatem nie dokonywano korekty o podatek VAT. Nie ma także konieczności ujmowania korekty podatku CIT w analizie kosztów i korzyści społecznych, ponieważ przepływy pieniężne w analizie finansowej projektu nie zawierają podatku CIT.

Wartości emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych, a także poziomu emisji hałasu przyjęto zgodnie z wynikami zaprezentowanymi w rozdziale 8.

Przy wycenie kosztów emisji do atmosfery uwzględniono uwarunkowania lokalizacyjne, ponieważ emisja substancji szkodliwych, innych niż gazy cieplarniane, wpływa bezpośrednio na stan zdrowia mieszkańców obszarów przyległych do źródeł emisji liniowych. Emisja substancji szkodliwych przy wytwarzaniu energii elektrycznej rozprasa się z kolei na bardzo dużym obszarze, przez co jej oddziaływanie na stan zdrowotności mieszkańców miast jest mniejsze. Redukcja emisji lokalnej ze środków transportowych zawsze korzystnie wpływa na lokalne warunki środowiskowe i poprawia warunki życia mieszkańców. Ze względów społecznych koszt emisji lokalnej należy zatem wycenić wyżej, niż koszt emisji z elektrowni, tworzących ogólne tło zanieczyszczeń w kraju.

Wyceny wpływu lokalnej emisji substancji szkodliwych dokonano z zastosowaniem współczynnika zwiększającego – będącego iloczynem procentowego wzrostu przeciętnej gęstości zaludnienia w zurbanizowanym obszarze centralnym Gniezna dla którego przewidziano wprowadzenie pojazdów zeroemisyjnych, w stosunku do przeciętnej gęstości zaludnienia w miastach w Polsce oraz udziału emisji zanieczyszczeń z ciężkich pojazdów drogowych i autobusów w ogólnej emisji zanieczyszczeń transportu drogowego w Polsce

Wyniki analizy społeczno-ekonomicznej przedstawiono w tabelach poniżej.

Tabela 24. Finansowe i ekonomiczne przepływy gotówki – skumulowane i zdyskontowane, zł

		Wariant		
		W0	W1-1	W1-2
Finansowe przepływy gotówki dla kapitału całkowitego		-46 406 295	-54 337 230	-53 237 896
Korekty fiskalne	Nakłady - tabor	1 314 728	2 979 350	2 749 588
	Nakłady - infrastruktura	-	344 376	520 936
	Koszty operacyjne	8 853 445	8 037 414	8 045 008
	Razem	10 168 173	11 361 140	11 315 532
Korekty o efekty zewnętrzne	NMHC/NMVOC	-478 327	-429 897	-421 412
	NOx	-23 064 297	-21 879 220	-21 541 951
	SO2	-15 778	-602 841	-668 110
	PM	-7 697 652	-7 626 176	-7 563 564
	CO2	-4 797 833	-5 027 677	-5 065 210
	Hałas	-476 358	-446 854	-441 848
	Razem	-36 530 245	-36 012 666	-35 702 095
Korekty razem		-26 362 072	-24 651 525	-24 386 562
Ekonomiczne przepływy gotówki		-72 768 367	-78 988 756	-77 624 459

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Tabela 25. Finansowe i ekonomiczne przepływy gotówki – skumulowane i zdyskontowane – różnica w stosunku do wariantu W0 oraz różnica pomiędzy wariantami W1-1 i W1-2, zł

		Wariant		
		W1-1 minus W0	W1-2 minus W0	W1-2 minus W1-1
Finansowe przepływy gotówki dla kapitału całkowitego		-7 930 935	-6 831 601	1 099 334
Korekty fiskalne	Nakłady - tabor	1 664 622	1 434 860	-229 762
	Nakłady - infrastruktura	344 376	520 936	176 560
	Koszty operacyjne	-816 030	-808 437	7 594
	Razem	1 192 967	1 147 359	-45 608
Korekty o efekty zewnętrzne	NMHC/NMVOC	48 430	56 915	8 485
	NOx	1 185 076	1 522 346	337 269
	SO2	-587 063	-652 332	-65 269
	PM	71 476	134 089	62 613
	CO2	-229 844	-267 377	-37 533
	Hałas	29 504	34 510	5 006
	Razem	517 579	828 150	310 571
Korekty razem		1 710 547	1 975 510	264 963
Ekonomiczne przepływy gotówki		-6 220 388	-4 856 091	1 364 297

Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że dla przedsięwzięcia polegającego na zastosowaniu taboru zeroemisyjnego w postaci autobusów elektrycznych uzyskiwane pozytywne efekty ekonomiczne w stosunku do kontynuowania zakupów i eksploatacji autobusów z napędem spalinowym, nie są na tyle wysokie aby uczynić projekt uzasadnionym z punktu widzenia dobrobytu społecznego.

Jednocześnie należy zauważyć, że bardziej uzasadniona pod względem ekonomicznym byłaby realizacja wariantu W1-2 zakładającego zakup taboru z bateriami o niższej pojemności i zastosowanie jako podstawowej metody ładowania szybkiego przy czym uwzględnienie efektów społecznych zwiększa przewagę tego wariantu w stosunku do wariantu W1-1.

7.5 Analiza wrażliwości i ryzyka

Analiza wrażliwości polega na ocenie wpływu zmiany kluczowych założeń dotyczących projektu na wartość wskaźników oceny efektywności finansowej i ekonomicznej. Do analizy wrażliwości wybrano następujące parametry:

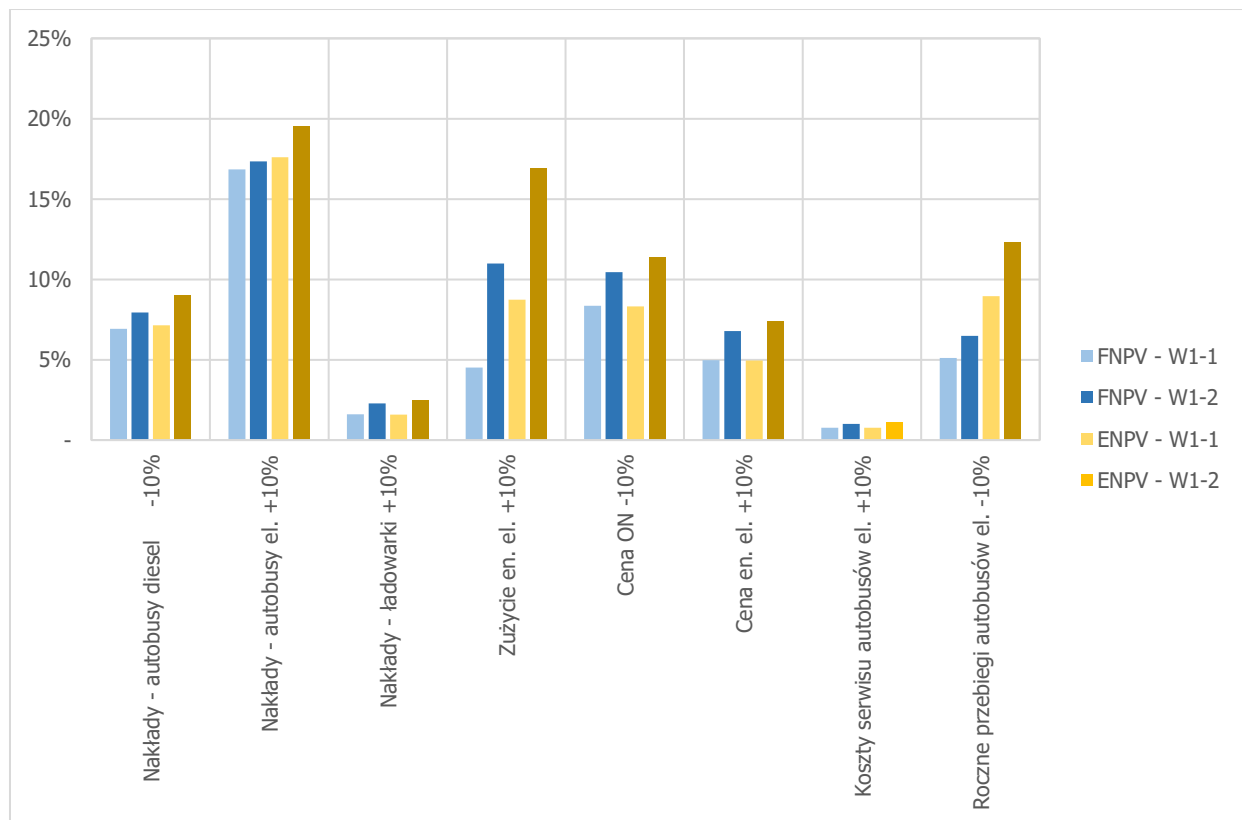
- nakłady inwestycyjne na autobusy z napędem spalinowym, autobusy elektryczne oraz ładowarki dla autobusów elektrycznych;
- jednostkowe zużycie energii na 100 km dla autobusów elektrycznych;
- koszty zakupu paliwa i energii elektrycznej;
- koszty serwisu pojazdów z napędem elektrycznym; oraz
- roczne przebiegi pojazdów z napędem elektrycznym.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawiono w tabeli oraz na wykresie poniżej.

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Tabela 26. Odchylenie wartości zdyskontowanych przepływów finansowych (FNPV) i ekonomicznych (ENPV) od wartości bazowych przy zmianie wybranych parametrów prognoz finansowych

Parametr	Zmiana parametru	Przepływy finansowe		Przepływy ekonomiczne	
		Wariant			
		W1-1	W1-2	W1-1	W1-2
Nakłady – autobusy diesel	-10%	7%	8%	7%	9%
Nakłady – autobusy elektryczne	10%	17%	17%	18%	20%
Nakłady – ładowarki	10%	2%	2%	2%	2%
Jednostkowe zużycie energii el.	10%	5%	11%	9%	17%
Cena oleju napędowego	-10%	8%	10%	8%	11%
Cena energii elektrycznej	10%	5%	7%	5%	7%
Koszty serwisu	10%	1%	1%	1%	1%
Roczne przebiegi autobusów el.	-10%	5%	6%	9%	12%



Rysunek 37. Odchylenie wartości zdyskontowanych przepływów finansowych (FNPV) i ekonomicznych (ENPV) od wartości bazowych przy zmianie wybranych parametrów prognoz finansowych, %

Zmiany parametrów o 10% dokonano w niekorzystną stronę, tak więc wyniki pokazują pogorszenie oceny efektywności finansowej i ekonomicznej wariantów wprowadzenia autobusów elektrycznych w stosunku do założeń bazowych każdego z nich.

Pod względem efektywności finansowej parametrem krytycznym są nakłady na autobusy elektryczne – zmiana ceny o 10% powoduje zmianę wyceny efektywności o ponad 10%. Można też zauważyć następujące zależności:

- wariant W1-2 wykazuje wyższą wrażliwość na zmiany parametrów w stosunku do wariantu W1-1;
- wartość ekonomiczna projektu jest bardziej wrażliwa od wartości finansowej.

Zgodnie z dokumentem „Zasady opracowania wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu w świadczeniu usług komunikacji miejskiej” analiza wrażliwości i ryzyka dla potrzeb niniejszej analizy powinna być wykonana zgodnie z metodyką przedstawioną w Niebieskiej Księdze oraz Vademecum, przy czym pełną analizę ryzyka należy przeprowadzić jedynie dla miast o liczbie ludności przekraczającej 150.000 osób.

W związku z tym w niniejszym dokumencie zaprezentowano wyniki jedynie uproszczonej analizy czynników ryzyka projektu wprowadzenia autobusów elektrycznych w formie jakościowej. Posłużono się przy tym macierzą oceny poziomu ryzyka (R), w której dany typ ryzyka ujmowany jest w dwóch wymiarach:

- prawdopodobieństwa realizacji ryzyka (P);
- wpływu ryzyka na wyniki projektu (W).

Tabela 27. Analiza czynników ryzyka projektu

Typ ryzyka	Czynnik ryzyka	P	W	R	Sposób zapobiegania
Administracyjne	Opóźnienia i utrudnienia w uzyskaniu stosownych pozwoleń i decyzji.	Niskie	III	Średni	Wszelkie konieczne działania administracyjne zidentyfikowane zostaną na etapie przygotowania koncepcji projektu. Wymagane wnioski i dokumenty składane będą z odpowiednim wyprzedzeniem. W trakcie realizacji inwestycji oraz w fazie eksploatacji dopełnione będą wszelkie formalności administracyjne.
Regulacyjne	Ze względu na długi czas życia projektu mogą nastąpić zmiany w przepisach prawnych, powodujące konieczność uzyskania dodatkowych decyzji i pozwoleń lub zmianę posiadanych dokumentacji.	Średnie	II	Średni	W przypadku wprowadzenia do floty autobusów elektrycznych oraz inwestycji w infrastrukturę ładowania inwestor będzie na bieżąco monitorował regulacje w zakresie wykorzystania pojazdów elektrycznych oraz infrastruktury i z odpowiednim wyprzedzeniem reagował na zmiany.
Projektowe	Niewystarczający zakres badań i analiz na etapie przygotowania. Przyjęcie błędnych założeń technicznych i operacyjnych. Niedoszacowanie zakresu rzeczowego i kosztów przedsięwzięcia. Rozwój technologii który sprawi, że rozwiązania zastosowane w projekcie okażą się przestarzałe. Błędy w projektach budowlanych lub wykonawczych.	Niskie	IV	Średni	Przygotowanie projektu zostanie powierzone odpowiednim ekspertom. Decyzja inwestycyjna zostanie poprzedzona przygotowaniem szczegółowego studium wykonalności, obejmującego analizy w zakresie wszystkich istotnych elementów przedsięwzięcia. Na etapie przygotowania nawiązane zostaną kontakty z dostawcami taboru oraz infrastruktury w celu optymalnego zdefiniowania parametrów pojazdów oraz urządzeń i instalacji z zastosowaniem najlepszych dostępnych technologii. Przygotowanie projektów budowlanych i wykonawczych powierzone zostanie wyspecjalizowanym wykonawcom.
Nabycia praw do gruntów	Koszt nabycia gruntów powyżej oczekiwań.	Niskie	IV	Średni	Ryzyko zminimalizowane zostanie na etapie przygotowania koncepcji poprzez wstępne rozpoznanie możliwości nabycia praw oraz projektu

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Typ ryzyka	Czynnik ryzyka	P	W	R	Sposób zapobiegania
	Opóźnienia w negocjacjach z właścicielami. Opóźnienia proceduralne.				budowlanego, w którym będą wyliczone wszystkie działki, objęte projektem. Również na etapie projektu budowlanego inwestor będzie znał koszt ich zakupu. Prawa własności lub dysponowania prawami do budowy na ww. działkach stanowi załącznik do pozwolenia na budowę.
Przetargowe	Zakłócenia prawidłowości oraz przedłużenie procedury przetargowej. Błędy na etapie przygotowania dokumentacji przetargowej, Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia, przeprowadzenia procedury przetargowej. Wniesienie licznych protestów przez oferentów.	Średnie	IV	Wysoki	Przygotowanie kadry inwestora od strony merytorycznej, konsultacje z ekspertami, wykorzystanie doświadczeń i przykładów z innych miast, przeprowadzenie dialogów technicznych z dostawcami technologii oraz bazowanie na własnych doświadczeniach nabytych na drodze przeprowadzonych wcześniej postępowań przetargowych.

Tabela 28. Analiza przyczyn ryzyka

Typ ryzyka	Przykładowe przyczyny	P	W	R	Sposób zapobiegania
Dostawy taboru i urządzeń	Przekroczenie kosztów projektu. Wysoki popyt na rynku krajowym przy ograniczonych możliwościach produkcyjnych dostawców. Opóźnienia dostawy w stosunku do terminów umownych. Niezgodności ze specyfikacją techniczną.	Średnie	II	Średni	Wartość zakupu taboru oraz urządzeń będzie przedmiotem procedury przetargowej przy określonym limicie budżetu. W harmonogramie realizacji projektu przyjęte zostaną odpowiednie okresy wyprzedzające. Na etapie przetargu wybrani zostaną dostawcy o udokumentowanym potencjale produkcyjnym, gwarantujący zachowanie wymaganej jakości. W umowach zawarte zostaną odpowiednie gwarancje i kary umowne.
Przyłączenia do sieci	Brak możliwości przyłączenia. Brak możliwości uzyskania wymaganych mocy przyłączy. Przedłużenia realizacji procedury przyłączenia do sieci.	Średnie	IV	Wysoki	Na etapie przygotowania projektu przeprowadzone zostanie szczegółowe rozpoznanie uwarunkowań lokalizacyjnych i technicznych. Przez cały czas utrzymywany będzie dialog z operatorem systemu dystrybucyjnego.
Wykonania robót	Przekroczenie kosztów projektu. Opóźnienia na skutek nieoczekiwanych trudności technicznych (np. w budowie instalacji podziemnych). Opóźnienia w realizacji robót z przyczyn niezależnych od inwestora.	Średnie	II	Średni	Prace budowlane i montażowe ograniczone będą do wykonania standardowych elementów, takich jak linie i stacje energetyczne, przebudowa dróg w ograniczonym zakresie, instalacja i uruchomienie urządzeń stanowiących standardowe jednostki dostarczane przez producentów. Koszty w całości budżetu projektu wyniosą jedynie ok. 10%. Wybór wykonawców nastąpi na drodze przetargu w oparciu o cenę ryczałtową w systemie „pod klucz”. Dobrze sporządzone specyfikacje techniczne, zakres zleczanych robót, wylistowane procedury jakościowe (w tym technologia wykonania, normy, przepisy w zakresie zamawiania urządzeń, armatury, materiałów i robót) zminimalizują potencjalne ryzyko.
Popytu	Zmniejszenie zapotrzebowania na usługi komunikacji miejskiej. Konkurencja ze strony innych środków transportu.	Bardzo Niskie	III	Niski	Na etapie przygotowania projektu przeprowadzone zostaną szczegółowe analizy zapotrzebowania na usługi przewozowe dla wybranych linii komunikacyjnych w perspektywie wieloletniej.

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Typ ryzyka	Przykładowe przyczyny	P	W	R	Sposób zapobiegania
Techniczne	Nieuzyskanie zakładanych rezultatów pod względem dyspozycyjności taboru i infrastruktury ładowania. Niższy od zakładanego poziom sprawności, skutkujący zwiększeniem zużycia energii i zmniejszeniem zasięgu pojazdów Konieczność częstszej od zakładanej wymiany baterii. Awaryje pojazdów i urządzeń. Przerwy w dostawie energii elektrycznej.	Niskie	IV	Średni	Niezawodność oraz sprawność taboru i urządzeń będzie jednym z elementów oceny ofert w procedurach przetargowych. Oferowane warunki będą potwierdzone odpowiednimi zapisami gwarancyjnymi w umowach z dostawcami. Przeprowadzone zostaną odpowiednie szkolenia kierowców oraz pracowników obsługi technicznej ukierunkowane na optymalną i bezpieczną eksploatację autobusów i infrastruktury ładowania. Wprowadzone zostaną również szczegółowe regulaminy i instrukcje w tym zakresie. Praca taboru będzie na bieżąco monitorowana. Prowadzona będzie bezpośrednia współpraca z operatorem systemu dystrybucyjnego w celu zminimalizowania przerw w dostawach energii.
Operacyjne	Brak możliwości osiągnięcia zakładanych przebiegów rocznych przez autobusy elektryczne. Wydłużenie w stosunku do założeń przerw wymaganych na doładowanie baterii. Niekorzystne zmiany rozkładów jazdy na liniach obsługiwanych przez autobusy elektryczne. Zwiększenie w stosunku do założeń zużycia energii z tytułu większej częstotliwości występowania ekstremów pogodowych, w szczególności upałów. Niedostosowanie stylu jazdy do warunków pojazdu elektrycznego.	Niskie	II	Niski	Na etapie przygotowania projektu przeprowadzone zostaną szczegółowe analizy ruchu na liniach objętych zastosowaniem taboru elektrycznego. Projekt będzie wprowadzany stopniowo na przestrzeni 7 lat co da możliwość elastycznego reagowania na zmiany. Dodatkowo ulokowanie stacji doładowania szybkiego na pętli grupującej wiele linii umożliwi przenoszenie obsługi przewozów taboru elektrycznym pomiędzy liniami. Parametry taboru (w tym wymagane pojemności baterii) zostaną określone przed zakupem z uwzględnieniem ryzyka niekorzystnych zmian klimatycznych w perspektywie wieloletniej. Kierowcy obsługujący autobusy elektryczne przejdą specjalistyczne szkolenia w celu wyrobienia właściwych zachowań i nawyków.
Finansowe	Przekroczenia budżetu projektu. Brak zakładanych spadków cen taboru elektrycznego. Spadek cen oleju napędowego w długiej perspektywie. Długookresowy trend wzrostu cen energii elektrycznej. Brak możliwości sfinansowania nakładów inwestycyjnych.	Średnie	IV	Wysoki	Nakłady szacowane będą na podstawie doświadczenia w realizacji podobnych inwestycji oraz w oparciu o analizę aktualnej sytuacji rynkowej. Budżet będzie konstruowany na zasadzie ostrożności, z zastosowaniem rezerw na nieprzewidziane wydatki. Dopuszczalne korekty cen zostaną szczegółowo opisane w umowach. Dążyć się będzie do rozliczeń na podstawie stałej ceny. Sytuacja na rynku paliw płynnych i energii elektrycznej będzie na bieżąco monitorowana. W uzasadnionych przypadkach dążyć się będzie do zawarcia umów wieloletnich z gwarantowaną ceną. Każda decyzja inwestycyjna poprzedzona będzie szczegółową analizą możliwości sfinansowania ze strony MPK, miasta oraz uwzględniała ewentualne wykorzystanie zewnętrznych środków w formie dotacji celowych. Opłacalność przedsięwzięcia będzie badana w kolejnych latach poprzez cykliczne aktualizacje analizy kosztów i korzyści.

8. Efekty środowiskowe wariantów inwestycyjnych

Jednym z kluczowych powodów, dla którego wprowadza się autobusy zeroemisyjne są przesłanki związane z pozytywnymi efektami tego typu inwestycji dla środowiska i zdrowia ludzi, w szczególności związane z ograniczeniem lokalnej emisji zanieczyszczeń, emisji gazów cieplarnianych oraz poziomu hałasu.

Efekty w zakresie oddziaływania na społeczeństwo i środowisko można skwantyfikować, a w dalszej kolejności dokonać ich wyceny w wartościach pieniężnych, co stanowi jeden z istotnych elementów określenia efektywności ekonomicznej planowanego przedsięwzięcia.

W przypadku rozważanego projektu, realizacja zakładanych wariantów inwestycyjnych wywoła efekty środowiskowe w postaci:

- zmiany emisji zanieczyszczeń powietrza, związanych ze spalaniem oleju napędowego w silnikach spalinowych oraz z wytwarzaniem i przesyłem energii elektrycznej na potrzeby zasilania autobusów elektrycznych;
- zmiany emisji gazów cieplarnianych, związanych z działaniami jw.;
- zmiany emisji hałasu przez pojazdy komunikacji miejskiej.

8.1. Emisja zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych

Poziomy emisji zanieczyszczeń powietrza dla autobusów z napędem spalinowym określono na podstawie zakładanych przebiegów rocznych pojazdów z poszczególnych grup normy emisji EURO oraz przyjętych granicznych emisji dla każdej z grup normy. Przyjęte wartości jednostkowych emisji, odniesione do energii w zużytym paliwie, są następujące:

Tabela 29. Normy emisji spalin dla autobusów z silnikiem diesla

Zanieczyszczenie	Dopuszczalna emisja [g/kWh] dla normy					
	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
NMHC/NMVOC	1,10	1,10	0,66	0,46	0,46	0,13
NOx	8,00	7,00	5,00	3,50	2,00	0,40
PM	0,36	0,15	0,10	0,02	0,02	0,01

Oprócz zanieczyszczeń objętych normą EURO uwzględniono również emisję SO₂ (w przypadku pojazdów napędzanych ON bardzo niską w uwagi na wymogi jakościowe stawiane paliwom), jako podstawę do porównania z emisją tego zanieczyszczenia podczas wytwarzania energii elektrycznej. Wg dostępnych informacji emisja jednostkowa SO₂ dla napędu diesla wynosi 0,00168 g/kWh.

W przypadku autobusów z napędem elektrycznym uwzględniono emisję zanieczyszczeń wynikającą z wytwarzania oraz transportu energii elektrycznej. Jako źródło danych dotyczących średniej emisji podsektora wytwarzania wykorzystano opracowanie KOBIZE⁴⁵.

⁴⁵ KOBIZE, „Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2017 rok”, grudzień 2018.

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie

Tabela 32. Emisje zanieczyszczeń i CO2 – wariant W1-1, kg

Pojazd	Emisja	Emisje w roku 2019	Suma zmian emisji 2019-2033	Emisje w roku 2033	Różnica emisji 2033 w stosunku do roku 2019
Autobusy spalinowe	NMHC/NMVOC	4 412	-21 341	1 457	-2 955
	NOx	28 230	-146 111	8 289	-19 941
	SO2	13	-46	8	-5
	PM	573	-3 006	157	-415
	CO2	2 066 070	-7 326 128	1 264 270	-801 801
Autobusy elektryczne	NMHC/NMVOC	-	-	-	-
	NOx	-	8 421	918	918
	SO2	-	8 301	905	905
	PM	-	501	55	55
	CO2	-	8 867 128	967 020	967 020
Razem	NMHC/NMVOC	4 412	-21 341	1 457	-2 955
	NOx	28 230	-137 690	9 208	-19 023
	SO2	13	8 255	913	900
	PM	573	-2 505	212	-361
	CO2	2 066 070	1 541 000	2 231 289	165 219

Tabela 33. Emisje zanieczyszczeń i CO2 – wariant W1-2, kg

Pojazd	Emisja	Emisje w roku 2019	Suma zmian emisji 2019-2033	Emisje w roku 2033	Różnica emisji 2033 w stosunku do roku 2019
Autobusy spalinowe	NMHC/NMVOC	4 412	-22 278	1 347	-3 065
	NOx	28 230	-151 621	7 629	-20 601
	SO2	13	-51	7	-6
	PM	573	-3 109	145	-428
	CO2	2 066 070	-8 059 328	1 185 736	-880 335
Autobusy elektryczne	NMHC/NMVOC	-	-	-	-
	NOx	-	9 356	1 020	1 020
	SO2	-	9 223	1 006	1 006
	PM	-	557	61	61
	CO2	-	9 852 364	1 074 467	1 074 467
Razem	NMHC/NMVOC	4 412	-22 278	1 347	-3 065
	NOx	28 230	-142 265	8 649	-19 581
	SO2	13	9 172	1 013	1 000
	PM	573	-2 553	206	-367
	CO2	2 066 070	1 793 036	2 260 202	194 132

Tabela 34. Zmiana rocznej emisji zanieczyszczeń i CO2 w okresie 2019-2033 %

Emisja	Wariant		
	W0	W1-1	W1-2
NMHC/NMVOC	-56%	-67%	-69%
NOx	-64%	-67%	-69%
SO2	-	6.918%	7.688%
PM	-65%	-63%	-64%
CO2	-	8%	9%

Tabela 35. Zmiana emisji zanieczyszczeń i CO2 w okresie 2019-2033 w stosunku do wariantu W0, %

Emisja	Wariant	
	W1-1	W1-2
NMHC/NMVOC	-11%	-14%
NOx	-4%	-6%
SO2	6.918%	7.688%
PM	2%	1%
CO2	8%	9%

Na podstawie uzyskanych wyników można przedstawić następujące wnioski:

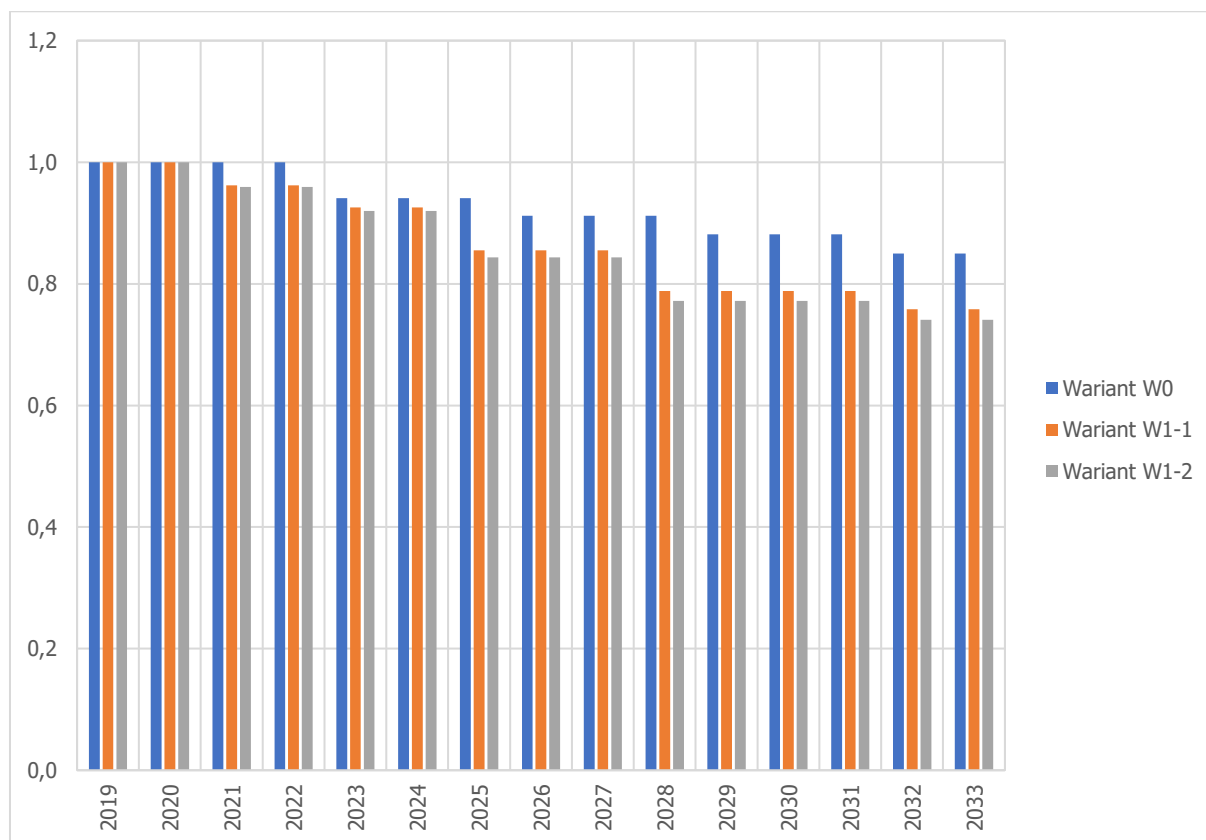
- w zakresie zanieczyszczeń o silnym oddziaływaniu lokalnym (NMHC/NMVOC, NOx, PM) warianty zakładające wprowadzenia autobusów elektrycznych dają możliwość dodatkowego ograniczenia emisji w stosunku do wariantu wymiany taboru na autobusy spalinowe o nomie EURO 6, przy czym większe redukcje wystąpią w wariantach W1-2:
 - NMHC/NMVOC w okresie 2019-2033 – 33-39% rocznie od 2033 – 20-24%
 - NOx w okresie 2019-2033 – 19-24% rocznie od 2033 – 11-15%
 - PM w okresie 2019-2033 – 21-25% rocznie od 2033 – 12-15%
- wprowadzenie taboru elektrycznego spowoduje obniżenie w skali kraju (czyli z uwzględnieniem emisji ze źródeł energii elektrycznej) emisji NMHC/NMVOC oraz NOx o kilka/kilkanaście procent, emisja PM pozostanie na poziomie niemalże niezmiennym;
- w wariantach elektrycznych w skali kraju wzrośnie emisja SO2 oraz CO2, związana z wytwarzaniem i dostawą energii elektrycznej na potrzeby zasilania autobusów elektrycznych.

8.2. Emisja hałasu

W przypadku wymiany taboru na autobusy spełniające normę EURO6 można liczyć na zmniejszenie dolegliwości hałasu o 35% w stosunku do taboru EURO2-5.

W przypadku autobusów o napędzie elektrycznym obecnie stosowane silniki, w porównaniu do silników spalinowych, niemal nie emitują słyszalnego hałasu. Natomiast pozostaje emisja hałasu wynikająca z toczenia kół, pracy urządzeń pokładowych (szczególnie wentylatorów w układach chłodzenia oraz ogrzewania i klimatyzacji) oraz pracy konstrukcji nadwozia. Napęd elektryczny oferuje możliwość dalszej redukcji niekorzystnego wpływu hałasu, o 55% w stosunku do taboru spalinowego EURO2-5.

Aby zobrazować porównanie zmniejszenia emisji hałasu dla poszczególnych wariantów inwestycyjnych, obliczono indeks hałasu ujmujący względną zmianę w stosunku do poziomu roku 2019, gdzie redukcja ważona jest rocznymi przebiegami dla poszczególnych typów pojazdów.



Rysunek 38. Indeks hałasu, 2019=1

9. Wnioski

Niniejszy dokument został przygotowany w celu oceny efektywności finansowej i społeczno-ekonomicznej Inwestycji polegającej na zakupie taboru zeroemisyjnego dla świadczenia usług komunikacji miejskiej w Gnieźnie i gminach sąsiednich na mocy zawartych porozumień międzygminnych.

Wyniki przeprowadzonej analizy pozwoliły na przedstawienie następujących wniosków:

1. Organizatorem publicznego transportu zbiorowego w gminie miejskiej Gniezno jest Prezydent Miasta Gniezna, natomiast Operatorem, czyli przewoźnikiem wykonującym na podstawie umowy zawartej z organizatorem usługi przewozowe w zakresie publicznego transportu zbiorowego (komunikacji miejskiej) na określonych liniach komunikacyjnych, jest Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Sp. z o.o. w Gnieźnie.
2. MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie działa na terenie miasta Gniezna oraz na podstawie porozumień międzygminnych – na terenie Gminy Niechanowo oraz Gminy Gniezno.
3. Sieć komunikacyjna gnieźnieńskiego MPK składa się z 18 linii dziennych i jednej linii nocnej.
4. Linie gnieźnieńskiej komunikacji miejskiej obsługiwane są wyłącznie autobusami, którymi włada MPK Sp. z o.o. w Gnieźnie. Według stanu na 28 lutego 2019 r. MPK dysponowało 41 autobusami, wszystkie zasilane olejem napędowym.
5. Koncepcja obsługi sieci miejskiej autobusami elektrycznymi stanowi wypadkową różnych czynników, wśród których można wskazać przede wszystkim: potrzebną przewoźnikowi pojemność, zasięg, planowany model ładowania, a także dostępne sposoby finansowania zarówno zakupu, jak i późniejszego użytkowania pojazdów.
6. Analiza wykazała, iż elektryfikacja powinna dotyczyć w pierwszej kolejności linii 9 i 17, ładowanie wolne (nocne) powinno być realizowane w zajezdni MPK Gniezno przy ul. Wesolej natomiast ładowanie szybkie w obrębie pętli Lednicka I.
7. Niniejsza analiza kosztów i korzyści odnosi się do możliwości modernizacji aktualnej floty pojazdami uznawanymi za spełniające wymogi *Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych* (Dz.U. 2018 poz. 317):
 - a. Wariant bazowy zakłada wymiana obecnie używanych autobusów na nowe lub używane pojazdy o napędzie konwencjonalnym (silnik zasilany olejem napędowym), spełniających normę spalin EURO 6.
 - b. Wariant W1 zakłada zakup oraz eksploatację autobusów zeroemisyjnych napędzanych energią elektryczną z akumulatorów oraz infrastruktury potrzebnej do obsługi taboru.
 - c. Wariant W2 zakłada wykorzystanie pojazdów napędzanych paliwem wodorowym.
8. Zastosowana metodyka analizy finansowej oraz społeczno-ekonomicznej zgodna jest ze stosowanymi wytycznymi i zaleceniami w tym zakresie.
9. Analizie finansowej i ekonomicznej poddano wariant inwestycyjny W1 polegający na wymianie autobusów z napędem spalinowym na autobusy elektryczne, uwzględniając

warianty realizacji różniące się pod względem wybranego podstawowego trybu ładowania baterii autobusów.

10. Przeprowadzona analiza finansowa ma na celu wykazanie, czy zastosowanie taboru elektrycznego byłoby z punktu widzenia MPK Gnieźno inwestycją opłacalną finansowo, tzn. taką, która gwarantowałaby uzyskanie wewnętrznej stopy zwrotu (IRR) na poziomie zakładanej stopy dyskonta. Jest to równoznaczne ze spełnieniem warunku zerowej lub dodatniej wartości zaktualizowanej netto (NPV) różnicowych przepływów gotówki dla okresu objętego analizą:

- a. warianty elektryczne charakteryzują się nakładami znacząco ponad dwukrotnie wyższymi od wariantu spalinowego;
- b. nie ma znaczącej różnicy w nakładach pomiędzy wariantami elektrycznymi o różnych sposobach ładowania baterii – niższe koszty zakupu autobusów o mniejszych bateriach są prawie w całości kompensowane wyższymi kosztami infrastruktury ładowania.
- c. oba warianty zakładające zastosowanie pojazdów elektrycznych, różniące się pod względem wybranego podstawowego trybu ładowania baterii autobusów. charakteryzują się zbliżonym poziomem kosztów operacyjnych;
- d. całkowite koszty operacyjne dla wariantu W1-2, zakładającego zastosowanie jako podstawowego ładowania szybkiego, są minimalnie wyższe, ze względu na wyższy poziom opłat stałych za usługę dystrybucji energii elektrycznej;
- e. nieco korzystniejszy pod względem skumulowanych przepływów netto za okres prognozy jest wariant W1-2, jednak oba warianty wykazują znaczące ujemne saldo gotówki na koniec okresu odniesienia.
- f. obliczenie wartości zdyskontowanych przepływów gotówki daje dla obu wariantów elektrycznych wartości ujemne rzędu 7-8 mln zł, co przy nakładach inwestycyjnych na poziomie 31-32 mln zł wskazuje na znaczącą nieefektywność finansową przedsięwzięcia w obecnych i przewidywanych warunkach.

11. Analiza społeczno-ekonomiczna pozwala stwierdzić, że dla przedsięwzięcia polegającego na zastosowaniu taboru zeroemisyjnego w postaci autobusów elektrycznych uzyskiwane pozytywne efekty ekonomiczne nie są na tyle wysokie aby uczynić projekt uzasadnionym z punktu widzenia dobrobytu społecznego. Jednocześnie należy zauważyć, że bardziej uzasadniona pod względem ekonomicznym byłaby realizacja wariantu W1-2 zakładającego zakup taboru z bateriami o niższej pojemności i zastosowanie jako podstawowej metody ładowania szybkiego.

12. Efekty środowiskowe wariantów inwestycyjnych:

- a. w zakresie zanieczyszczeń o silnym oddziaływaniu lokalnym (NMHC/NMVOC, NO_x, PM) warianty zakładające wprowadzenia autobusów elektrycznych dają możliwość dodatkowego ograniczenia emisji w stosunku do wariantu wymiany taboru na autobusy spalinowe o nomie EURO 6 od 11 do 24%;
- b. wprowadzenie taboru elektrycznego spowoduje obniżenie w skali kraju emisji NMHC/NMVOC oraz NO_x o kilka/kilkanaście procent, emisja PM pozostanie na poziomie niemalże niezmiennym;

- c. w wariantach elektrycznych w skali kraju wzrośnie emisja SO₂ oraz CO₂, związana z wytwarzaniem i dostawą energii elektrycznej na potrzeby zasilania autobusów.
 - d. W przypadku wymiany taboru na autobusy spełniające normę EURO 6 można liczyć na zmniejszenie dolegliwości hałasu o 35% w stosunku do taboru EURO2-5. W przypadku wprowadzenia autobusów elektrycznych redukcja może wynieść 65%. Wynikowy poziom hałasu w wariantach z zastosowaniem taboru elektrycznego byłby o 11-13% niższy niż przy zachowaniu taboru spalinowego.
13. Uzyskane wyniki wskazują na finansową nieopłacalność obu wariantów elektrycznych w stosunku do wariantu spalinowego.

10. Literatura

Bloomberg New Energy Finance, *„Electric Buses in Cities. Driving Towards Cleaner Air and Lower CO₂”*, 29.03.2018

Dobrzycki A. i inni, *Zasilanie układów ładowania akumulatorów autobusów elektrycznych*, Poznań University of the Technology Academic Journals, Electrical Engineering No 92, 2017

Elementy zrównoważonej mobilności miejskiej, Suplement do Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna przyjętego Uchwałą Nr XI/91/2015 Rady Miasta Gniezna z dnia 2 września 2015 roku

Gromadzki M., *Zasady opracowywania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Praktyczny przewodnik dla samorządów*, Warszawa, czerwiec 2018

Janecki R. i inni, *Aspekty ekonomiczne procesu wdrażania autobusów elektrycznych w publicznym transporcie zbiorowym*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z.108, 2015

KOBIZE, *„Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2016 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2019”*, grudzień 2018.

KOBIZE, *„Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2017 rok”*, grudzień 2018

Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Gniezna, Załącznik nr 1 do Uchwały Nr XI/91/2015 Rady Miasta Gniezna z dnia 2 września 2015 roku

Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gniezna, 2013

PSPA, PFR, *Elektromobilność w transporcie publicznym. Praktyczne aspekty wdrażania*, Przewodnik dla Jednostek Samorządu Terytorialnego, Przedsiębiorstw Użyteczności Publicznej i Prywatnych przewoźników, Raport specjalny 2018

PSPA, *Raport: Pojazdy elektryczne jako element sieci elektroenergetycznych*, Warszaw 2018

PTPiREE, *„VIII Konferencja naukowo-techniczna – Straty energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych”*, 21-22 marca 2018 r., Wrocław

ZDG TOR, *„Polska na drodze do elektromobilności”*, 2018

http://bip.me.gov.pl/files/upload/26071/Krajowe_ramy%20_29032017.pdf

<http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilno%C5%9Bci.pdf>

<http://geoserwis.gdos.gov.pl/mapy/>

<http://gniezno.home.pl>

<http://mapy.geoportal.gov.pl/imap>

<http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/T/D20180317L.pdf>

<http://www.mpk.gniezno.pl>

<https://bdl.stat.gov.pl/>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32012R0459>

<https://motoryzacja.interia.pl/wiadomosci/producenti/news-ursus-zbudowal-pierwszy-autobus-na-wodor,nId,2595374>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Europejski_standard_emisji_spalin

https://poznan.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_wielkopolskie/portrety_gmin/powiat_gnieznienski/gm_miejska_gniezno.pdf

https://poznan.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_wielkopolskie/portrety_gmin/powiat_gnieznienski/gm_miejska_gniezno.pdf

<https://www.gov.pl/web/inwestycje-rozwoj/informacje-o-strategii-na-rzecz-odpowiedzialnego-rozwoju>

<https://www.green-projects.pl/wodorowe-autobusy-zero-emisji/>

<https://www.mpit.gov.pl/strony/strategia-na-rzecz-odpowiedzialnego-rozwoju/kluczowe-projekty/program-e-bus-polski-autobus-elektryczny/>

<https://www.ncbr.gov.pl/index.php?id=33091&L=0%2525253Fchash%2525253D26>

<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/solaris-zaprezentuje-autobus-wodorowy-nowej-generacji--58865.html>