

**ANALIZA KOSZTÓW
I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH
Z WYKORZYSTANIEM
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH
DLA GMINY MIASTO PRUSZKÓW
UWZGLĘDNIAJĄCY UWAGI**

21 sierpnia 2024 r.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Spis treści

Wykaz skrótów i definicji.....	5
Streszczenie dokumentu	7
Streszczenie dla kierownictwa.....	8
1. Wstęp	12
1.1. Cele prowadzonych prac.....	12
1.2. Podstawa realizacji analizy.....	12
1.3. Wykaz dokumentów wykorzystanych do analizy	12
1.4. Metodyka prowadzonych prac	12
1.5. Podsumowanie.....	13
2. Gmina Miasto Pruszków – analiza otoczenia transportu miejskiego	14
2.1. Analiza uwarunkowań regulacyjnych i środowiskowych.....	14
3. Przegląd technologii i eksploatacji pojazdów alternatywnych w transporcie publicznym.....	22
3.1. Pojazdy elektryczne.....	22
3.2. Pojazdy zasilane gazem ziemnym	31
4. Wyniki przeprowadzonych analiz	40
4.1. Analiza stanu obecnego.....	40
4.2. Kierunki rozwoju floty na lata 2019 -2028	47
4.3. Analiza finansowo-ekonomiczna oraz analiza nakładów inwestycyjnych	59
4.4. Analiza społeczno-ekonomiczna	73
5. Podsumowanie i rekomendacje	82
6. Spis rysunków	83
7. Spis wykresów	84

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

8. Spis tabel	85
---------------------	----

Wykaz skrótów i definicji

Autobus zeroemisyjny	Autobus, wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, oraz trolejbus ¹
B/C	Stosunek zdyskontowanych przychodów z projektu do zdyskontowanych wydatków
ENPV	Ekonomiczna wartość bieżąca netto
FNPV	Finansowa wartość bieżąca netto, metoda oceny efektywności ekonomicznej inwestycji rzeczowej
kVA	Kilowoltamper, jednostka miary mocy pozornej, używana do określania mocy znamionowej
Niska emisja	Emisja produktów spalania paliw stałych, ciekłych i gazowych do atmosfery ze źródeł emisji (emiterów) znajdujących się na wysokości nie większej niż 40 m
Nn	Sieć elektroenergetyczna niskiego napięcia, w której napięcie znamionowe nie przekracza 1 kV
SN	Sieć elektroenergetyczna średniego napięcia, w której napięcie znamionowe zawiera się w przedziale od 1 kV do 60 kV
Wkm	Wozokilometry, jednostka obliczeniowa stosowana w transporcie kołowym, równa jednemu kilometrowi drogi wykonanej przez środki transportu w określonym czasie ²

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

² Źródło: <https://sjp.pl>

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Streszczenie dokumentu

Poniższa analiza kosztów i korzyści powstała w związku z realizacją przez Gminę Miasto Pruszków założeń ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U.2018 poz.318 z dnia 7 lutego 2018 r., zwana dalej ustawą o elektromobilności lub ustawą), które wskazują:

„[Jednostka samorządu terytorialnego] sporządza, co 36 miesięcy, analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych [nieemitujących gazów cieplarnianych] środków transportu”³.

Dokument ten zawiera informacje o otoczeniu regulacyjnym transportu publicznego w mieście, prezentuje planowane i możliwe kierunki rozwoju transportu. By właściwie ocenić możliwości wdrożenia zeroemisyjnych środków transportu do komunikacji miejskiej w Pruszkowie wykonano przegląd technologii i wskazano najistotniejsze cechy eksploatacyjne.

W celu przedstawienia pełnego spektrum działań na rzecz zmniejszenia emisji powstałej z transportu publicznego w mieście, analizie poddano następujące scenariusze:

- Wariant 0 (bazowy) - aktualny harmonogram wymiany autobusów, zakładający inwestycję w pojazdy napędzane niskoemisyjnymi silnikami Diesla,
- Wariant 1 - uwzględnienie w harmonogramie wymiany taboru, zakupu autobusów elektrycznych zgodnie z obowiązkiem związanym z ustawą o elektromobilności,
- Wariant 2 - uwzględnienie w harmonogramie wymiany taboru, zakupu autobusów zasilanych CNG.

Dla powyższych przypadków wskazano konieczne inwestycje, zmiany w strukturze zużycia paliwa oraz dla Wariantu 1 i 2 rozważono możliwości zastosowania autobusów elektrycznych na poszczególnych trasach. Zgodnie z ustawą przygotowana została również:

- analiza finansowo-ekonomiczna – sporządzona na okres 13 lat (od 2020 do 2032r.). Celem jej było przedstawienie kosztów oraz wskaźników finansowych dla poszczególnych wariantów,
- analiza społeczno-ekonomiczna - sporządzona na okres 12 lat (od 2021 do 2032r.). Celem jej było przedstawienie emisji szkodliwych substancji (CO₂, SO₂, PM, NO_x, NMHC/NMVOC), hałasu oraz wskaźników ekonomicznych dla poszczególnych wariantów. Ponadto oszacowany został efekt środowiskowy związany z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego oraz zdrowia ludzi.

W ramach podsumowania zestawiono ze sobą wskaźniki finansowe oraz ekonomiczno-społeczne dla wszystkich wariantów. Sformułowane zostały wnioski wskazujące najbardziej korzystny kierunek dalszego rozwoju komunikacji miejskiej w Pruszkowie.

³ Art. 37 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2018 poz. 317).

Streszczenie dla kierownictwa

Analiza kosztów i korzyści dla Gminy Miasto Pruszków została przygotowana na podstawie umowy zawartej pomiędzy Gminą Miasto Pruszków a firmą Audytel S.A. Podstawą prawną dla przygotowania niniejszej analizy jest obowiązek ustawowy, zawarty w art. 37 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, zobowiązujący jednostki samorządu terytorialnego do przygotowania analizy kosztów i korzyści co 36 miesięcy. Niniejszy dokument stanowi podsumowanie stanu obecnego transportu publicznego w mieście, przegląd stosowanych technologii pojazdów i ocenę możliwości wykorzystania taboru elektrycznego na obecnie funkcjonujących liniach, a także zawiera analizę finansowo-ekonomiczną oraz analizę społeczno-ekonomiczną, związane z podjęciem inwestycji. Wyniki tych analiz określają zasadność wprowadzenia autobusów zeroemisyjnych i stanowią podstawę do zwolnienia z obowiązku zapewnienia konkretnego udziału tych pojazdów w taborze komunikacji miejskiej.

Zgodnie z przepisami ustawy o elektromobilności, Gmina Miasto Pruszków zapewnia procentowy udział autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie, która obecnie liczy 12 wozów. Miasto Pruszków **pozyskało fundusze** na zakup 2 szt. elektrobusów, zgodnie z informacjami udostępnionymi przez upoważnionych przedstawicieli⁴⁵. Mając na uwadze powyższe, realizacja obowiązków wynikających z ustawy o elektromobilności oznacza wymianę pojazdów konwencjonalnych na zeroemisyjne zgodnie z poniższym harmonogramem:

- 1 autobus elektryczny od dnia 01.01.2025 r.,
 - 1 autobus elektryczny od dnia 01.01.2028 r.,
- co łącznie daje 4 szt. zeroemisyjnych autobusów do 2028 r.⁶

Opracowanie przygotowano z należytą starannością i zgodnie z wymaganiami ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. W celu przygotowania niniejszego dokumentu zebrano dane dotyczące floty autobusowej w Pruszkowie, zaktualizowano dane dotyczące elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej na terenie Pruszkowa, które zostały zamieszczone w Planie Gospodarki Niskoemisyjnej. Z kolei opracowanie analizy finansowo-ekonomicznej wymagało pozyskania danych dotyczących porozumień międzygminnych, a także danych finansowych za lata 2018 oraz 2019.

Głównymi dokumentami planistycznymi, w których uwzględniono transport dla Gminy Miasto Pruszków są:

1. Plan Gospodarki Niskoemisyjnej, którego priorytetem jest ograniczenie szkodliwych emisji w mieście;
2. Plan zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe, zawierający propozycje rozwoju i modernizacji poszczególnych systemów zaopatrzenia w media;
3. Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego miasta Pruszków.

⁴ <https://www.funduszedlamazowska.eu/aktualnosci/kolejne-miliony-na-rozwoj-mobilnosci-miejskiej-na-mazowszu/>

⁵ Informacje bezpośrednie pozyskane przez interesariuszy projektu po stronie UM Pruszków

⁶ Uwzględniając wprowadzone do eksploatacji 2 szt. elektrobusów w 2022 (plan)

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Dokumenty te wyczerpująco definiują osie działania na rzecz poprawy środowiska i transportu, jednak nie określają jednoznacznie kierunków działań na rzecz wprowadzenia transportu zeroemisyjnego w mieście. Zasadnym byłoby przygotowanie strategii na rzecz rozwoju elektromobilności w mieście, uwzględniającego nie tylko ekonomiczne, lecz również techniczne uwarunkowania panujące w mieście.

W opracowaniu przedstawiono szczegółowy opis stosowanych obecnie technologii uwzględniając budowę i zasadę działania autobusów elektrycznych, a także przedstawiając podstawowe parametry eksploatacyjne autobusów. Przedstawiono również przegląd dostępnych technologii ładowania autobusów elektrycznych.

W dokumencie analizowano aspekty logistyki miejskiej Pruszkowa, mające wpływ na optymalne wykorzystanie autobusów na realizowanych trasach, co ma przełożenie na wykonanie pracy przewozowej przez dany typ taboru oraz zużycie paliwa. Dokument podzielono na dwie części: analizę stanu obecnego oraz kierunki rozwoju floty w latach 2019 – 2028.

W celu analizy stanu obecnego linii autobusowych wzięto pod uwagę przekazane dokumenty, dane liczbowe oraz dane z oficjalnych źródeł internetowych dotyczących komunikacji miejskiej w Pruszkowie.

Analizie poddano tabor autobusowy, którym dysponuje spółka komunikacyjna obsługująca transport publiczny w Pruszkowie. W tym kontekście przeanalizowano wiek taboru, normę emisji spalin, jak również wykonaną pracę przewozową i dotychczasowe zużycie paliwa.

Głównym parametrem analitycznym dla linii był wskaźnik czasu przejazdu pomiędzy przystankami WCP. Wskaźnik pozwolił na segmentację linii pod kątem zastosowania autobusów elektrycznych i wykorzystania ich możliwości odzyskiwania energii podczas hamowania (rekuperacja). Im krótszy czas przejazdu, tym częstsze hamowanie i większa możliwość odzyskania energii. Z tego względu w dalszych analizach na liniach o niskiej wartości wskaźnika WCP zaproponowano zastosowanie autobusów elektrycznych. Analizie poddano warianty tras o najdłuższej drodze przejazdu.

Kolejno, opisano dwa możliwe kierunki rozwoju floty autobusowej w Pruszkowie:

- **Wariant 0** - zakładający utrzymanie wyłącznie autobusów konwencjonalnych (zakupione autobusy w liczbie zgodnej z harmonogramem wymiany floty będą wyłącznie konwencjonalne z normą emisji Euro 6 i zastępować będą najstarsze autobusy). Założono, że w 2022 roku nastąpi wprowadzenie 2 szt. autobusów elektrycznych, na które środki Urząd Miasta Pruszkowa już pozyskał, zaś w latach 2025 i 2028 należy wymienić po 1 szt. pojazdu,
- **Wariant 1** - zakładał zakup autobusów elektrycznych w liczbie zgodnej z harmonogramem wymiany floty,
- **Wariant 2** - zakładał zakup autobusów zasilanych CNG w liczbie zgodnej z harmonogramem wymiany floty.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W części „Analiza stanu obecnego”, na podstawie obliczonego średniego spalania, założonego wzrostu pracy przewozowej, składu taboru w wyniku realizacji harmonogramu wymiany floty, obliczono dla obu wariantów prognozowane zużycie paliwa.

W wariancie 1 oraz 2, uwzględniającym zastosowanie autobusów zasilanych paliwami alternatywnymi, zużycie paliwa (ON) jest mniejsze z uwagi na to, że część pracy przewozowej wykonywanej do tej pory przez autobusy konwencjonalne, będzie realizowana przez flotę autobusów elektrycznych.

Analiza finansowa sporządzona została dla całości systemu komunikacyjnego. Warianty rozpatrzono w zależności od inwestycji Urzędu Miasta Pruszkowa w zakresie autobusów zeroemisyjnych. W analizie finansowo-ekonomicznej uwzględniono zmiany w strukturze kosztów ponoszonych przez operatora w pruszkowskim systemie komunikacji miejskiej w zależności od kierunków rozwoju floty. W celu przeprowadzenia analizy finansowej zostały przyjęte następujące założenia:

1. Przyjęty czas amortyzacji autobusu:

- Konwencjonalnego - 10 lat,
- Elektrycznego – 12 lat,
- Zasilanego CNG – 12 lat.

W związku z powyższym przeanalizowano 3 scenariusze finansowe, zgodne ze wskazanymi wariantami: wariant 0 uwzględniający jedynie eksploatację autobusów konwencjonalnych oraz wariant 1 i 2, w którym do 2021 roku eksploatowane będą jedynie autobusy konwencjonalne, natomiast od roku 2022 część pracy przewozowej zaczną przejmować autobusy zasilane paliwami alternatywnymi.

2. Analiza finansowa została sporządzona na okres 13 lat, od 2020 do 2032 r., z uwzględnieniem okresu eksploatacji autobusów elektrycznych od wdrożenia pierwszych pojazdów w 2022 r. i powiększeniem tej floty w kolejnych latach do roku 2028. Celem analizy finansowej jest porównanie wyników finansowych wariantów, których rozważane okresy powinny być takie same.

3. Przyjęto koszt netto autobusu na poziomie (dane z 2019 r.):

- Konwencjonalnego – 0,9 mln PLN netto,
- Elektrycznego – 1,95 mln PLN netto,
- Zasilanego CNG – 1,06 mln PLN netto.

Czynnikami powodującym wzrost kosztów związanych z zakupem autobusów jest inflacja. Z drugiej strony, w przypadku autobusów elektrycznych ich cena zakupu powinna osiągać niższe wartości w wyniku rozwoju nowych, tańszych technologii. Ostatecznie ceny autobusów konwencjonalnych i elektrycznych osiągną zbliżone wartości w 2031 r.

4. Założono, że Pruszków odstępuje od realizacji celu ustawowego na rok 2021, gdyż w wyniku podjętych już działań (pozyskanie dofinansowania na zakup pojazdów zeroemisyjnych) w 2022 zostanie zrealizowany bardziej wymagający cel na rok 2023 - 10% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie.

Wskaźniki NPV dla wariantów na przestrzeni lat 2020-2032 wynoszą odpowiednio:

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- Wariant 0 (wymiana autobusów na nowe autobusy konwencjonalne):
- **25 217 351 zł**,
- Wariant 1 (wymiana floty na tabor elektryczny): - **31 987 442zł**,
- Wariant 2 (wymiana floty na tabor zasilany CNG): - **27 276 195 zł**.

W obliczeniach wskaźnika NPV pominięto dofinansowanie ze środków zewnętrznych.

1. Wstęp

1.1. Cele prowadzonych prac

Na podstawie ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, jednostki samorządu terytorialnego o liczbie mieszkańców powyżej 50 000 mają obowiązek sporządzenia 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 cieplarnianych⁷.

1.2. Podstawa realizacji analizy

Poniższy dokument został sporządzony na podstawie umowy nr WSR 1.2020 z 2 stycznia 2020 r. zawartej pomiędzy Gminą Miasto Pruszków a firmą Audytel S.A.

1.3. Wykaz dokumentów wykorzystanych do analizy

W ramach prac wykonawczych, przeanalizowano następujące dokumenty:

1. Aktualizacja Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Gminy Miasto Pruszków, 2019 r.
2. Aktualizacja założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe ze szczególnym uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii w tym zastosowanie techniki solarnej dla Gminy Miasto Pruszków, 2014 r.
3. Plan Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego Miasta Pruszków, 2014 r.
4. Program Ochrony Środowiska dla Gminy Miasto Pruszków na lata 2016-2019 z perspektywą do roku 2023.
5. Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego, 2000 r.
6. Plan Zrównoważonej Mobilności dla Warszawskiego Obszaru Funkcjonalnego, 2016 r.
7. Umowa nr WI.272.3.4.2016 między Gminą Miasto Pruszków a Przedsiębiorstwem Komunikacji Samochodowej w Grodzisku Mazowieckim Sp. z o.o.

1.4. Metodyka prowadzonych prac

Analiza została sporządzona na podstawie udostępnionych przez Zamawiającego danych oraz ogólnodostępnych dokumentów, zgodnie z wytycznymi znajdującymi się w:

- „Zasady opracowywania kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności – Praktyczny przewodnik dla samorządów” (Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, 2018);
- „Niebieska Księga, Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach” (nowa edycja, Jaspers, 2015);

⁷ Dz. U. 2018 poz. 317 Ustawa z dnia 11 stycznia 2018r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych – Art. 37, ust. 1

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- „Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020” (Komisja Europejska, 2014);
- oraz doświadczeń z rynku energii a także analiz rynku transportu publicznego.

Do analiz wykorzystano dane pozyskane w fazie wstępnej projektu, tj. do 14.02.2020 roku.

1.5. Podsumowanie

Dokument został sporządzony zgodnie z wymaganiami Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. przez zespół realizatorski Audytel S.A. na zlecenie Gminy Miasto Pruszków. W celu przygotowania materiału wyjściowego do analiz zostały zebrane oraz udostępnione firmie Audytel S.A. niezbędne dane od przedstawicieli Urzędu Miasta Pruszkowa. Analiza kosztów i korzyści została sporządzona zgodnie z wymaganiami zawartymi w dokumentach wskazanych jako wytyczne przez organ ustawodawczy.

2. Gmina Miasto Pruszków – analiza otoczenia transportu miejskiego

2.1. Analiza uwarunkowań regulacyjnych i środowiskowych

Transport samochodowy w Polsce odpowiada za ok. 5% wszystkich krajowych zanieczyszczeń. Ruch w miastach odpowiada za 40% emisji CO₂ i 70% emisji pozostałych zanieczyszczeń powodowanych przez transport drogowy, oparty na paliwach naftowych⁸. Jednym z najważniejszych czynników determinujących rozwój miast jest transport. Jednocześnie jego negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne stanowi widoczną uciążliwość życia mieszkańców miast. Utrzymanie wysokiego udziału transportu zbiorowego w liczbie podróży zmotoryzowanych w mieście jest najważniejszym zadaniem władz samorządowych. W dużym stopniu wpływa on na ograniczenie zanieczyszczeń emitowanych do środowiska przez ruch pojazdów. Jeden autobus, który zastępuje 50 samochodów w miejskim ruchu ulicznym jest najbardziej efektywnym działaniem ochrony środowiska miejskiego. Zatem najważniejszym działaniem władz miejskich powinno być wprowadzanie różnego rodzaju zachęt, priorytetów i ograniczeń, aby jak największa liczba podróżnych decydowała się na korzystanie z miejskiego transportu zbiorowego.

Rozwój systemów transportowych stanowi jeden z kluczowych elementów zawartych w dokumentach planistycznych i strategicznych na szczeblu krajowym, regionalnym i lokalnym, mających na celu kontrolę emisji i umożliwienie zrównoważonego rozwoju obszarów miejskich. W przeprowadzonej analizie kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych dla Gminy Miasto Pruszków przeanalizowano dokumenty, których wpływ na rozwój transportu publicznego opisano w kolejnych paragrafach. Są to zarówno dokumenty o zasięgu krajowym jak i regionalnym. Wśród nich można wyróżnić:

- Ustawę o elektromobilności i paliwach alternatywnych;
- Plan Rozwoju Elektromobilności „Energia do przyszłości”;
- Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych.

2.1.1. Dokumenty o zasięgu krajowym

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych jest pierwszym aktem prawnym zawierającym zasady rozwoju i funkcjonowania infrastruktury paliw alternatywnych, a także rozwoju sieci punktów ładowania pojazdów elektrycznych i funkcjonowania usług ładowania. Celem przygotowanej przez Ministerstwo Energii ustawy jest stymulowanie rozwoju elektromobilności i stosowania paliw alternatywnych w transporcie.

⁸ <http://www.tworzymyatmosfera.pl/zanieczyszczenia-powietrza-a-transport-samochodowy> oraz „Zielona Księga W sprawie nowej kultury mobilności w mieście”, Komisja Wspólnot Europejskich, KOM(2007)551, Bruksela, 25.9.2017 s. 3.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Analiza kosztów i korzyści wynika z części ustawy odnoszącej się do transportu publicznego. Podmioty odpowiedzialne za transport publiczny na terenie jednostek samorządu terytorialnego (JST) zawierających ponad 50 tys. mieszkańców mają obowiązek wprowadzenia do swojej floty zeroemisyjnego taboru autobusowego – obowiązek ten dotyczy miasta Pruszkowa. Udział takich pojazdów w całkowitej liczbie pojazdów powinien wynosić:

- **5%** od 01.01.2021 r.,
- **10%** od 01.01.2023 r.,
- **20%** od 01.01.2025 r.,
- **30%** od 01.01.2028 r.

Dodatkowo, podmioty odpowiedzialne za transport publiczny na terenie JST objętych ustawą, mają obowiązek sporządzenia **co trzy lata analizy kosztów i korzyści** prowadzenia działań związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych lub innych środków transportu, których praca nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych. Instytucje te są również zobowiązane do przekazania **co roku** ministrowi do spraw energii, **informacji o liczbie i udziale procentowym** pojazdów elektrycznych lub napędzanych gazem ziemnym w użytkowanej flocie pojazdów.

Zgodnie z przepisami ustawy udział pojazdów elektrycznych we flocie pojazdów użytkowanych przez naczelne i centralne organy administracji państwowej (w tym podmioty zewnętrzne zapewniające obsługę organu w zakresie transportu) powinien zawierać:

- 10% liczby użytkowanych pojazdów w zakresie transportu osób od 01.01.2020 r.;
- 20% liczby użytkowanych pojazdów w zakresie transportu osób od 01.01.2023 r.;
- 50% liczby użytkowanych pojazdów w zakresie transportu osób od 01.01.2025 r.

Wyjątek stanowią instytucje takie jak: MSZ, SW, KGP, ITD, ABW, KGPS, AW, KAS, CBA, SWW, SKW, GDDKiA, Służba Ochrony Państwa.

Udział pojazdów elektrycznych we flocie pojazdów użytkowanych przez JST w łącznej liczbie pojazdów, a także udział pojazdów elektrycznych i napędzanych CNG lub LNG we flocie pojazdów użytkowanych przez wykonawców określonych zadań publicznych (MPO, Policja, Pogotowie Ratunkowe itp.) powinien wynosić:

- 10% od 01.01.2020 r.,
- 30% od 01.01.2025 r.

Ustawa określa m.in. zasady budowy sieci infrastruktury dla dystrybucji paliw alternatywnych, tak aby ułatwić jej powstawanie. Rozbudowa tej sieci przyczyni się do swobodnego przemieszczania się na terenie kraju samochodów o napędzie opartym na paliwach alternatywnych. W ustawie wskazano zasady funkcjonowania tej infrastruktury oraz podmioty odpowiedzialne za budowę i zarządzanie stacjami ładowania i stacjami gazu ziemnego.

Zgodnie z przepisami ustawy minimalna liczba punktów ładowania zainstalowanych do 31 grudnia 2020 r. w ogólnodostępnych stacjach ładowania, zlokalizowanych w gminach powinna wynosić:

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- 1000 – w gminach o liczbie mieszkańców wyższej niż 1 000 000, w których zostało zarejestrowanych co najmniej 600 000 pojazdów samochodowych i na 1000 mieszkańców przypada co najmniej 700 pojazdów samochodowych;
- 210 – w gminach o liczbie mieszkańców wyższej niż 300 000, w których zostało zarejestrowanych co najmniej 200 000 pojazdów samochodowych i na 1000 mieszkańców przypada co najmniej 500 pojazdów samochodowych;
- 100 – w gminach o liczbie mieszkańców wyższej niż 150 000, w których zostało zarejestrowanych co najmniej 95 000 pojazdów samochodowych i na 1000 mieszkańców przypada co najmniej 400 pojazdów samochodowych;
- 60 – w gminach o liczbie mieszkańców wyższej niż 100 000, w których zostało zarejestrowanych co najmniej 60 000 pojazdów samochodowych i na 1000 mieszkańców przypada co najmniej 400 pojazdów samochodowych.

Ponadto minimalna liczba punktów tankowania sprężonego gazu ziemnego (CNG) zlokalizowanych w gminach do dnia 31 grudnia 2020 r. powinna wynosić co najmniej:

- 6 – w gminach o liczbie mieszkańców wyższej niż 1 000 000, w których zostało zarejestrowanych co najmniej 60 000 pojazdów samochodowych i na 1000 mieszkańców przypada co najmniej 700 pojazdów samochodowych;
- 2 – w gminach o liczbie mieszkańców wyższej niż 100 000, w których zostało zarejestrowanych co najmniej 60 000 pojazdów samochodowych i na 1000 mieszkańców przypada co najmniej 400 pojazdów samochodowych.

Regulacja zakłada również możliwość powstawania w miastach stref czystego transportu, po których będą mogły poruszać się pojazdy napędzane paliwami alternatywnymi – energią elektryczną, gazem ziemnym lub wodorem. Jednocześnie ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych przewiduje szereg korzyści dla użytkowników pojazdów elektrycznych. Są to m.in. zwolnienie z akcyzy przy zakupie samochodu elektrycznego (co ma spowodować obniżenie ceny pojazdu), korzystniejsza stawka amortyzacji, możliwość poruszania się po buspasach, darmowy postój w strefach płatnego parkowania.

Ustawa reguluje drugi etap wdrażania przepisów dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych do polskiego porządku prawnego. Przyjęcie ustawy stanowiło kluczowy element rozwoju rynku paliw alternatywnych w Polsce.

Plan Rozwoju Elektromobilności „Energia do przyszłości”

Plan Rozwoju Elektromobilności jest jednym z trzech elementów opracowanego w Ministerstwie Energii Pakietu na Rzecz Czystego Transportu, na który składają się również Krajowe ramy polityki infrastruktury paliw alternatywnych oraz Fundusz Niskoemisyjnego Transportu.

Celem Planu jest stworzenie warunków dla rozwoju elektromobilności, rozwój przemysłu związanego z tym nowym sektorem oraz stabilizacja sieci elektroenergetycznej. Określono w nim korzyści związane z upowszechnieniem stosowania pojazdów elektrycznych w Polsce oraz zidentyfikowano potencjał gospodarczy i przemysłowy tego obszaru. Zgodnie z Planem, rozwój elektromobilności powinien następować w trzech fazach.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- Pierwsza faza miała charakter przygotowawczy i trwała do 2018 roku. W ramach niej zaplanowano stworzenie warunków rozwoju elektromobilności po stronie regulacyjnej oraz ukierunkowano finansowanie publiczne.
- W drugiej fazie, planowanej na lata 2019-2020, przewidziano zbudowanie w wybranych aglomeracjach infrastruktury przeznaczonej do ładowania zarówno energią elektryczną, jak i CNG. Założono zintensyfikowanie zachęt do zakupu pojazdów elektrycznych. W planie uwzględniono także rozwój car-sharingu oraz uruchomienie krótkiej serii polskich samochodów elektrycznych. W ramach tej fazy oczekiwana jest komercjalizacja wyników badań z obszaru elektromobilności rozpoczętych w fazie pierwszej oraz wdrożenie nowych modeli biznesowych upowszechnienia pojazdów elektrycznych.
- W okresie 2020-2025 zakłada się, że rynek elektromobilności osiągnie dojrzałość. Powszechność ekologicznego transportu, wsparta przez wykorzystanie samochodów elektrycznych w administracji publicznej, umożliwi stopniowe wycofywanie instrumentów wsparcia.

Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych

Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych to dokument kluczowy dla wsparcia rozwoju rynku i infrastruktury w odniesieniu do energii elektrycznej i gazu ziemnego w postaci CNG i LNG stosowanych w transporcie drogowym oraz transporcie wodnym. Należy podkreślić, że przewidziano wsparcie dla gazu ziemnego (LNG, CNG), natomiast nie uwzględniono wsparcia dla gazu LPG. Ramy te zawierają m. in.:

- 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.

Zgodnie z zapisami Krajowych ram polityki w roku 2020 w 32 wybranych aglomeracjach ma być rozmieszczonych ok. 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 tankowania sprężonego gazu ziemnego (CNG) dla szacowanej liczby 3 tys. pojazdów napędzanych tym paliwem.

Natomiast 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

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

polityki pozwoli na rozwój innowacyjnego i ekologicznego transportu na terenie Polski a sam program jest spójny z „Planem rozwoju elektromobilności”.⁹

Fundusz Niskoemisyjnego Transportu

Zadaniem Funduszu jest finansowanie projektów związanych z rozwojem elektromobilności oraz transportem opartym na paliwach alternatywnych. Dokument został podpisany przez Prezydenta RP Andrzeja Dudę 10 lipca 2018 r.

Wsparcie w ramach Funduszu mogą otrzymać zarówno inicjatywy związane z rozwojem elektromobilności, jak i transportem opartym na paliwach alternatywnych m.in. CNG, LNG. Dzięki FNT finansowane będą projekty wymienione m.in. w Planie Rozwoju Elektromobilności w Polsce, Krajowych Ramach Polityki Rozwoju Infrastruktury Paliw Alternatywnych oraz ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Objęci wsparciem mogą zostać m.in. producenci środków transportu, samorządy inwestujące w czysty transport publiczny, wytwórcy biokomponentów, jak i podmioty chcące zakupić nowe pojazdy. Fundusz wspiera także promocję i edukację w zakresie wykorzystania paliw alternatywnych w transporcie.

Planowane korzyści związane z uruchomieniem finansowania z Funduszu to:

- Rozwój infrastruktury do tankowania gazu ziemnego, biopaliw ciekłych i innych paliw alternatywnych oraz do ładowania pojazdów elektrycznych,
- Możliwość wprowadzenia nowych modeli biznesowych opartych na paliwach alternatywnych i ich infrastrukturze,
- Rozwój flot pojazdów niskoemisyjnych oraz niskoemisyjnego transportu publicznego,
- Możliwy spadek kosztów użytkowania pojazdów opartych na paliwach alternatywnych dla obywateli,
- Poprawa jakości powietrza wynikająca ze zmniejszenia emisji szkodliwych substancji przez pojazdy drogowe - szczególnie w dużych aglomeracjach.¹⁰

2.1.2. Dokumenty o zasięgu regionalnym

Plan gospodarki niskoemisyjnej dla Miasta Pruszkowa

Plan gospodarki niskoemisyjnej jest dokumentem strategicznym, obejmującym swoim zakresem obszar terytorialny gminy Pruszków. Działania w nim ujęte przyczyniają się do realizacji celów określonych na różnych szczeblach administracyjnych.

Na płaszczyźnie regionalnej, działania przewidziane w PGN zmierzać powinny do poprawy jakości powietrza na obszarach, na których odnotowano przekroczenia jakości poziomów dopuszczalnych stężeń w powietrzu i realizowane są programy ochrony powietrza oraz plany działań krótkoterminowych.

W ujęciu lokalnym zadaniem Planu jest natomiast uporządkowanie i organizacja działań podejmowanych przez gminę sprzyjających realizacji ww. celom, dokonanie oceny stanu sytuacji w gminie w zakresie emisji gazów cieplarnianych wraz ze wskazaniem tendencji rozwojowych oraz

⁹ <https://www.gov.pl/energia/rzad-przyjal-krajowe-ramy-polityki-rozwoju-infrastruktury-paliw-alternatywnych-3>

¹⁰ <https://www.gov.pl/energia/fundusz-niskoemisyjnego-transportu>

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

dobór działań, które mogą zostać podjęte w przyszłości – wraz ze wskazaniem ich źródeł finansowania.

Zgodnie z powyższym niniejsze opracowanie będzie miało następujący zakres i strukturę:

- I. Raport z inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych na terenie Miasta zawierający:
 1. Informacje ogólne – charakterystyka gminy, ocena stanu istniejącego, ocena dotychczasowych działań zmierzających do obniżenia emisji CO₂ na terenie miasta.
 2. Inwentaryzacja emisji gazów cieplarnianych na terenie miasta powstałej wskutek spalania paliw stałych, ciekłych i gazowych, użytkowania energii elektrycznej, ciepła sieciowego oraz z uwzględnieniem energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii z podziałem na poszczególne grupy odbiorców energii.
 3. Prognoza emisji dla roku 2020 przy założeniu braku działań ukierunkowanych na obniżenie emisji gazów cieplarnianych oraz w wariantcie niskoemisyjnym.
 4. Podsumowanie części inwentaryzacyjnej.
- II. Plan działań na rzecz zrównoważonej energii zawierający:
 1. Analizę potencjału redukcji emisji gazów cieplarnianych dla działań z zakresu poprawy efektywności energetycznej oraz stosowania odnawialnych źródeł energii,
 2. Strategię działania,
 3. Propozycje działań na rzecz obniżenia emisji gazów cieplarnianych na terenie miasta,
 4. Analiza SWOT,
 5. Harmonogram wdrażania planu działań wraz ze wskazaniem możliwości pozyskiwania środków zewnętrznych na jego realizację,
 6. Plan monitorowania i weryfikacji wdrożonych działań.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 1. Zbiorcze zestawienie działań określonych w PGN dla Miasta Pruszkowa

Lp.	NAZWA DZIAŁANIA	REDUKCJA SZACOWANY		KOSZT
		ENERGII	EMISJI CO2	
3.1.1.1.	Program termomodernizacji budynków	909 MWh/rok	370 MgCO2/rok	4 500 400 PLN
3.1.1.2.	Monitoring zużycia energii oraz wody w budynkach użyteczności publicznej	800 MWh/rok	712,1 MgCO2/rok	500 000 PLN
3.1.1.3	System "zielonych zamówień publicznych"	25 MWh/rok	22,25 MgCO2/rok	0 PLN
3.1.1.4.	Montaż Odnawialnych Źródeł Energii dla budynków użyteczności publicznej	47,5 MWh/rok	42,27 MgCO2/rok	400 000 PLN
3.1.2.1.	Zastosowanie inteligentnego systemu sterowania oświetleniem ulicznym	336,3 MWh/rok	299 MgCO2/rok	2 610 000 PLN
3.1.2.2	Wymiana oświetlenia ulicznego na energooszczędne	917 MWh/rok	816 MgCO2/rok	5 000 000 PLN
3.1.3.1.	Modernizacja i budowa ścieżek rowerowych na terenie miasta	- MWh/rok	872 MgCO2/rok	11 000 000 PLN
3.1.3.2.	Promocja i wsparcie transportu publicznego	- MWh/rok	2181 MgCO2/rok	15 000 PLN
3.1.3.3.	Promowanie zachowań energooszczędnych w transporcie - ECODRIVING	- MWh/rok	2129 MgCO2/rok	20 000 PLN
3.1.3.4.	Kampanie edukacyjno-informacyjne z zakresu zrównoważonego zużycia energii i ekologii w sektorze transportu.	- MWh/rok	3490 MgCO2/rok	10 000 PLN
Lp.	NAZWA DZIAŁANIA	REDUKCJA ENERGII	REDUKCJA EMISJI CO2	SZACOWANY KOSZT
3.1.3.5.	Wybór przewoźnika dla transportu, którego tabor wyposażony jest w ekologiczne jednostki napędowe.	- MWh/rok	155 MgCO2/rok	0 PLN
3.1.3.6	Poprawa efektywności miejskiej – budowa systemu Park&Ride	- MWh/rok	823,67	28 000 000,00 PLN
3.1.4.1.	Edukacja lokalnej społeczności w zakresie efektywności energetycznej i odnawialnych źródeł energii	54 746,5 MWh/rok	48 724 MgCO2/rok	25 000 PLN
3.1.4.2.	Montaż mikroinstalacji fotowoltaicznych o mocy 4 kW przez mieszkańców	190 MWh/rok	169,1 MgCO2/rok	1 600 000 PLN

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

3.1.4.3.	Edukacja przedsiębiorców prowadzących działalność na terenie miasta	10 752 MWh/rok	9 569,5 MgCO ₂ /rok	20 000 PLN
3.1.4.4.	Montaż mikroinstalacji fotowoltaicznych o mocy 40 kW przez przedsiębiorców	380 MWh/rok	338,2 MgCO ₂ /rok	3 200 000 PLN
3.1.5.1.	Wykorzystanie systemów „Plug&Charge” - publicznych systemów ładowania urządzeń i pojazdów	1 000 MWh/rok	890 MgCO ₂ /rok	2 000 000 PLN
	SUMA	70 103,30 MWh/rok	71 603,09 MgCO ₂ /rok	42 900 400 PLN

Źródło: Aktualizacja Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Pruszkowa

3. Przegląd technologii i eksploatacji pojazdów alternatywnych w transporcie publicznym

3.1. Pojazdy elektryczne

3.1.1. Opis technologii

Unia Europejska prowadząc politykę klimatyczną, mającą na celu ograniczenie zmian klimatu, silnie oddziałuje na branżę transportową. Głównym celem jej działań jest redukcja emisji gazów cieplarnianych. Według szacunków Europejskiej Agencji Środowiska, branża transportowa, w tym transport miejski i usługi komunalne, odpowiadała w 2015 r. za ponad 25% emisji gazów cieplarnianych w całej Unii Europejskiej¹¹. Transport miejski przyczynia się natomiast do powstania 25% emisji CO₂ w transporcie ogółem¹². Biała Księga Transportu z 2011 r. będąca jedną z unijnych wytycznych dotycząca redukcji zanieczyszczeń i poprawy efektywności w transporcie, koncentruje się na zwiększeniu znaczenia komunikacji zbiorowej i na ograniczeniu roli paliw ropopochodnych na rzecz paliw alternatywnych. Według przyjętych ustaleń w zakresie polityki transportowej, do 2030 r. powinno dojść do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o 20% względem 2008 r. oraz zmniejszenia emisji dwutlenku węgla o 60% wobec względem 1990 r. Osiągnięciu tego celu powinno sprzyjać zmniejszenie liczby konwencjonalnych pojazdów w transporcie miejskim i ich eliminacja w perspektywie do 2050 r.

Napęd elektryczny jest obecnie najszybciej zyskującą popularność alternatywą dla konwencjonalnych paliw w transporcie. Technologia zasilania pojazdów energią elektryczną, choć od wielu lat znajduje zastosowanie w transporcie, to jednak wciąż znajduje się na etapie rozwoju, udoskonalania i postrzegana jest jako perspektywiczna. Popularność zyskują obecnie głównie pojazdy elektryczne osobowe. W rozwój i popularyzację autobusów elektrycznych zaangażowani są praktycznie wszyscy wiodący producenci pojazdów komunikacji zbiorowej, stale poszerzając swoją ofertę. Wzrost popularności autobusów elektrycznych pomimo ich wyższej ceny w stosunku do autobusów z silnikami spalinowymi, związany jest przede wszystkim ze znacząco niższymi kosztami paliwa. Autobusy elektryczne wykorzystują do napędu energię elektryczną zgromadzoną w zainstalowanych w nich akumulatorach, które są ładowane z sieci elektrycznej. Pojazdy z napędem elektrycznym uważane są za najbardziej ekologiczny silnikowy środek transportu, gdyż charakteryzują się zerową lokalną emisją z układu napędowego (dwutlenek węgla, tlenki azotu, pyły zawieszane PM), a równocześnie ich użytkownikowi towarzyszy zdecydowanie niższy poziom hałasu.

¹¹ „Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej”, Polski Kongres Paliw Alternatywnych, 2018, str. 5

¹² <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex:52011DC0144>

Budowa i zasada działania autobusów elektrycznych

Autobusy elektryczne to autobusy zasilane energią elektryczną. Wykorzystując baterie akumulatorów, magazynują one energię a następnie przekazują ją do silników elektrycznych. W większości przypadków napędzane są za pomocą asynchronicznego centralnego silnika trakcyjnego o mocy ok. 200 kW¹³. Coraz częściej pojawiają się pojazdy z silnikami elektrycznymi zintegrowanymi w piastach kół. Autobusy elektryczne wyposażone są dodatkowo w funkcję hamowania elektrodynamicznego z odzyskiem energii elektrycznej - tzw. rekuperację energii. Oznacza to, że podczas hamowania silniki elektryczne działają jak prądnice. Wytworzony przez nie prąd elektryczny wykorzystywany jest do ładowania baterii akumulatorów, zwiększając zasięg i poprawiając efektywność energetyczną pojazdu. W odróżnieniu od pojazdów napędzanych przez silniki spalinowe, częste hamowanie zwiększa ekonomikę eksploatacji pojazdów elektrycznych. Prędkość pojazdu nie gra tutaj tak znaczącej roli jak tryb jazdy i samego hamowania. Rekuperacja przy spokojnej jeździe, daje najlepsze efekty i pozwala odzyskać najwięcej energii. Hamowanie w takim wypadku powinno odbywać się płynnie i kilkustopniowo. Przy takich właściwościach autobusów elektrycznych pożądane jest wykorzystanie ich na liniach o gęstym rozmieszczeniu infrastruktury przystankowej na trasie przejazdu. Wpłynie to na zwiększenie częstotliwości zatrzymań, a w efekcie dodatkowego odzysku energii i podładowania baterii.

Rynek autobusów elektrycznych ulega ciągłemu rozwojowi. Z dnia na dzień producenci autobusów elektrycznych oferują coraz to nowsze modele wyposażone w innowacyjną technologię. Przykładem może być wiodący producent z branży samochodowej. Dzięki energooszczędnej pompie ciepła, która przejmuje funkcję ogrzewania przedziału pasażerskiego, zmniejsza zapotrzebowanie na energię związaną z ogrzewaniem. Pojazd posiada także akumulatory niklowo-manganowo-kobaltowe (NMC) najnowszej generacji o pojemności 243 kWh, co pozwala na przejechanie 250 km. Konstrukcja niektórych modeli autobusów elektrycznych umożliwia także szybką wymianę baterii, dzięki czemu może być ona ładowana niezależnie od eksploatacji konkretnych autobusów. Ten rodzaj eksploatacji nie jest jednak jeszcze rozpowszechniony w Europie.

Zasięg autobusów elektrycznych

Na zasięg autobusu elektrycznego wpływa szereg czynników, począwszy od pojemności baterii, przez warunki eksploatacji, a także czynniki atmosferyczne czy natężenie ruchu. Wpływa to na zużycie energii w zakresie od 1 do 2,5 kWh/km¹⁴. Większość producentów autobusów podaje średnie zużycie w zakresie od 1 kWh/km do 1,4 kWh/km¹⁵ dla autobusów 12 metrowych (o masie około 18 ton) oraz do 1,8 kWh/km dla autobusów 18 metrowych (o masie około 28 ton). Bardzo energochłonnymi procesami w autobusach elektrycznych są ogrzewanie oraz klimatyzacja, co przekłada się na obniżony zasięg jazdy przy jednym ładowaniu. Przeciętny zasięg autobusu elektrycznego wynosi obecnie 120–250 km. Ograniczony zasięg autobusów zasilanych z baterii akumulatorów sprawia, że do przewiezienia tej samej liczby pasażerów należy zakupić około 35%

¹³ „Napędy alternatywne”, Solaris, Katalog produktowy 2018

¹⁴ „Autobus elektryczny z punktu widzenia sprzedaży”, Solaris

¹⁵ „E-mobilność w komunikacji publicznej. Doświadczenia i kierunki rozwoju. Solaris”

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

więcej autobusów elektrycznych niż autobusów z innym napędem. W autobusach o większym zasięgu stosuje się baterie akumulatorów o większej pojemności, zaś w autobusach ładowanych w trakcie wykonywanych dziennych zadań przewozowych, autobus ładowany jest za pomocą łącza plug-in lub za pomocą pantografu. Stosuje się wówczas tańsze i lżejsze baterie o mniejszej pojemności. Wiąże się to jednak z koniecznością zakupu energii w godzinach szczytu oraz z koniecznością budowy dedykowanej infrastruktury ładowania.

Podział autobusów elektrycznych

Autobusy elektryczne w głównej mierze można podzielić ze względu na rodzaj stosowanych baterii akumulatorowych. Wśród nich można wyróżnić akumulatory litowo-jonowe zawierające:

- Glin (oznaczenie NCA),
- Tytan (LTO),
- Kobalt (LCO),
- Mangan (LMO),
- Mangan i kobalt (LMC),
- Nikiel, mangan i kobalt (NMC),
- Żelazo i fosfor (LFP).

Wykorzystanie różnych rodzajów materiałów pozwala optymalizować parametry akumulatorów do rozmaitych zastosowań. Ponadto wpływają one na kryteria uwzględniane w trakcie doboru technologii bateryjnych. Należą do nich zagadnienia takie jak bezpieczeństwo, trwałość, wydajność, zdolność do magazynowania i oddawania energii oraz czas ładowania. Najczęściej wykorzystywane baterie to LFP, ale coraz większą popularność zyskują także NMC.

Dodatkowo wśród autobusów elektrycznych można wyróżnić te przyporządkowane odpowiednim producentom. Do największych z nich należą:

- Solaris Bus & Coach S.A.,
- Mercedes,
- BYD/ADL,
- VDL Bus & Coach,
- Volvo,
- Ursus,
- MAN,
- Autosan,
- Scania.

Obecnie autobusy elektryczne w Polsce produkują Solaris Bus & Coach S.A., Scania, Autosan, Ursus i Volvo.¹⁶

3.1.2. Zasilanie

Autobusy zasilane energią elektryczną dzielą się na te wykorzystujące energię elektryczną zmagazynowaną w bateriach akumulatorowych oraz na te, które pobierają ją z zewnątrz z sieci

¹⁶ „Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej”, Polski Kongres Paliw Alternatywnych, 2018, str. 13

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

trakcyjnej za pomocą pantografu (trolejbusy). Trolejbusy charakteryzują się małą elastycznością stosowania ze względu na ograniczoną dostępność do sieci trakcyjnej na miejskich trasach przejazdu. To wpływa na znacznie wolniejszy rozwój technologii i wykorzystania tychże pojazdów. W przeciwieństwie do trolejbusów, akumulatorowe autobusy elektryczne znajdują coraz większe zastosowanie w wykonywaniu zadań komunikacji miejskiej. Nie są one uzależnione od ciągłego połączenia z siecią, wymagają natomiast ładowania. Zasięg pojazdu jest w głównej mierze uzależniony od pojemności baterii. Obecnie dostępne technologie akumulatorów umożliwiają osiągnięcie zasięgu elektrobusem na poziomie nawet do 250 km. Odległość ta w niektórych przypadkach może nie być wystarczająca do przejazdu na całodziennych liniach komunikacji miejskiej. Konieczne jest więc doładowywanie baterii w ciągu zmiany roboczej, np. na przystankach, bądź na pętli autobusowej. Dodatkową wadą takiego rozwiązania jest wielkość baterii, która zmniejsza pojemność pasażerską pojazdu. Zagadnienie to opisano w podrozdziale 1.1. Do obsługi zadań całodziennych konieczne jest wykorzystanie możliwości doładowywania baterii na przystankach końcowych, ewentualnie na wybranych przystankach na trasie przejazdu. Dzięki doładowywaniu baterii możliwe jest ograniczenie jej pojemności nawet o 20%, co przekłada się na obniżenie masy całkowitej pojazdu, i zwiększenie pojemności pasażerskiej. Ładowanie autobusu elektrycznego w trybie szybkiego ładowania wymaga jednak wyłączenia pojazdu z ruchu na okres co najmniej około 10 min. Skutkuje to koniecznością uwzględnienia czasu ładowania w rozkładzie jazdy i odpowiedniego wydłużenia postoju na pętłach końcowych lub przystankach pośrednich. By zatem móc obsłużyć linie w dotychczasowym zakresie, wymagana jest większa liczba autobusów elektrycznych w stosunku do autobusów klasycznych.

Technologie ładowania elektrobusem

Najważniejszym elementem związanym z wprowadzeniem do komunikacji miejskiej autobusów elektrycznych jest zapewnienie odpowiedniej struktury systemu umożliwiającego ładowanie różnych typów autobusów za pomocą tej samej infrastruktury. Istotna jest zatem kompatybilność systemu: autobusów elektrycznych i pasujących do niego zewnętrznych, zamontowanych na stałe ładowarek. Obecnie stosowane są trzy główne sposoby ładowania akumulatorów oraz ich kombinacje:

- Plug-in,
- Pętla indukcyjna,
- Pantograf.

Ładowarki typu plug – in

Pierwszą z omawianych metod jest ładowanie typu plug-in. Do zasilania wykorzystywane są zewnętrzne ładowarki. Jest to najtańsze z rozwiązań stosowanych w pojazdach elektrycznych. Autobus ładowany jest za pomocą gniazda elektrycznego podobnego do tych wykorzystywanych powszechnie w gospodarstwach domowych. Rozmieszczenie stacji ładowania zależy od dostępnej infrastruktury oraz potrzeb autobusu. Najczęściej wykorzystywane są poza trasą w zajezdniach autobusowych, skąd ich częste określenie „zajezdniowe”. Moce tych ładowarek zawierają się w przedziale od kilkunastu do nawet 450 kW. Tego typu ładowanie realizowane jest

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

jednak w praktyce z mocą nie większą niż 150 kW. W zależności od mocy ładowarki oraz pojemności baterii autobusowej czas ładowania może wynosić od niecałej godziny do 10 godzin.

Ładowarki indukcyjne

Ładowanie indukcyjne polega na bezkontaktowym pobieraniu energii z ładowarek, znajdujących się w obrębie infrastruktury przystankowej pod jezdnią. Konstrukcyjnie realizuje się to przez montaż pod podwoziem autobusu małych akumulatorów. W celu kontynuowania jazdy należy ładować pojazd przez kilka minut. Główną zaletą tego systemu jest fakt, że cała infrastruktura jest niewidoczna i nie ingeruje w plan zagospodarowania przestrzeni miejskiej. System ten ma sporą ilość ograniczeń. Należą do nich między innymi: konieczność bardzo wysokiej precyzji przy parkowaniu autobusu przed rozpoczęciem ładowania oraz niska sprawność przesyłu energii. Istotną przeszkodą w powszechnym stosowaniu ładowarek indukcyjnych jest wysoka cena, stanowiąca nawet kilkakrotność ceny innych systemów ładowania autobusów elektrycznych. W warunkach polskich, wobec ograniczeń zarówno klimatycznych, jak i budżetowych, technologia ładowania indukcyjnego byłaby trudna do wdrożenia. Przedstawiony system ładowania sprawia, że autobus może pozostawać na trasie przez 18 godzin na dobę i pokonać prawie 290 km, zanim wymagane będzie skorzystanie z tradycyjnej ładowarki plug-in. Moce ładowarek indukcyjnych osiągają około 200 kW.

Ładowarki pantografowe

Ładowanie pantografowe zakłada wykorzystanie bezobsługowego systemu kontaktowego ładowania. Umieszczona na dachu wielostykowa głowica łączy dachowego automatycznie podłącza się do nośnika energii poprzez elektrycznie sterowane ramię oraz platformę zasilającą zawieszoną na dowolnym elemencie konstrukcyjnym. Krótkie doładowanie baterii za pomocą tej technologii, np. na pętli lub na przystanku, pozwala ruszyć w dalszą trasę. Dzięki takiemu rozwiązaniu kierowca, tak jak w przypadku ładowania indukcyjnego, nie musi opuszczać stanowiska pracy. Wymiary platformy zasilającej, pod którą kierowca musi zaparkować autobus dobierane są w taki sposób, aby zapewnić pełen zakres tolerancji zatrzymania pojazdu. Po dociśnięciu odpowiednio wyprofilowanych szyn stykowych platformy zasilającej, głowica łączy dachowego zostaje unieruchomiona, co zapewnia pewny styk podczas przepływu prądu o dużym natężeniu. Czas całkowitego ładowania ładowarką pantografową nie powinien przekraczać 10 minut w zależności od napięcia. Ich moce osiągają od 150 do nawet 750 kW, jednak najczęściej stosowane w komunikacji miejskiej urządzenia mają moc około 200 kW.

W celu wybrania najlepszej metody ładowania możliwej do wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych konieczne jest przeanalizowanie rozwiązań pod kilkoma względami:

- Kosztów inwestycji infrastrukturalnych;
- Kosztu zakupu autobusu;
- Możliwości technicznych doładowania autobusu na trasie i w czasie postoju na pętli;
- Czasu ładowania autobusu.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Koszty

W tabeli poniżej przedstawiono przykładowe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne autobusów zasilanych różnymi rodzajami paliw. Przedstawiony w tabeli piętnastoletni okres eksploatacji autobusów nie jest wiążący w stosunku do przyjętych założeń w dalszej analizie, gdyż do jej przeprowadzenia posłużono się założeniami zgodnymi z „Zasadami opracowywania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych, praktycznym przewodnikiem dla samorządów”.

Tabela 2. Porównanie kosztów inwestycyjnych autobusów na paliwa alternatywne, względem ON

Podział kosztów		SCANIA CITYWIDE 12 LF	SCANIA CITYWIDE 12LF CNG	SOLARIS URBINO12 ELECTRIC (NMC 160 kWh)
Inwestycja	Cena	990 000 ¹⁷	1 000 000 ¹⁸	2 500 000
	Koszty wymiany baterii	0	0	500 000 ¹⁹
Eksploatacja	Łączny koszt paliwa	1 296 000	1 170 000	675 000
	Koszty serwisowe (w tym wymiana falowników)	221 000	238 000	190 500
Razem (zakup +15 lat obsługi)		2 417 000	2 408 000	3 965 500

Źródło: „Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej”, Polski Kongres Paliw Alternatywnych, 2018, str. 11

Tabela 2 jest literaturowym porównaniem kosztów związanych z inwestycją oraz eksploatacją taboru zasilanego paliwami różnego typu. Szczegółowe porównanie wariantów z wykorzystaniem floty opartej o tabor autobusowy konwencjonalny oraz opartej o tabor autobusowy elektryczny przedstawiono w rozdziale 4.3.

Koszt zakupu autobusu

Najtańszym z rozwiązań jest autobus elektryczny zasilany poprzez łącze plug-in. Jego cena może wynosić około 2,1 mln PLN brutto. Droższy jest autobus wykorzystujący zasilanie za pomocą

¹⁷ Cena ostateczna pojazdu uzależniona jest od wymogów dotyczących parametrów technicznych, wyposażenia, technologii ładowania, przyznanych rabatów, czy liczby pojazdów zamówionych przez odbiorcę.

¹⁸ Cena ostateczna pojazdu uzależniona jest od wymogów dotyczących parametrów technicznych, wyposażenia, technologii ładowania, przyznanych rabatów, czy liczby pojazdów zamówionych przez odbiorcę.

¹⁹ Koszt przybliżony, zależny od rodzaju zastosowanej baterii i intensywności eksploatacji.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

pantografu. Z uwagi na wymagania techniczne dotyczące bezpieczeństwa konieczne jest zastosowanie technologii wykorzystującej odpowiednie zabezpieczenia. Najdroższe są natomiast autobusy ładowane indukcyjnie. Akumulatory umieszczone są pod podwoziem, co obniża środek ciężkości autobusu i nie obciąża konstrukcji tak, jak robią to np. butle CNG czy elementy ogniw paliwowych, montowane zazwyczaj na dachu pojazdu. Jednak takie umieszczenie i skompresowanie akumulatorów wiąże się z wysokim kosztem produkcji pojazdu.

Z danych Miejskich Zakładów Autobusowych w Warszawie (MZA), można wnioskować, że koszt zakupu 12-metrowego autobusu elektrycznego to ok. 2,4 mln PLN brutto. Wartości te potwierdzają wyniki przetargów rozstrzygniętych w innych miastach, m.in. w Gorzowie Wielkopolskim czy Bełchatowie. Koszt autobusu 18-metrowego to już ok. 3 mln PLN brutto, co potwierdzają dane Miejskich Zakładów Autobusowych w Warszawie (MZA). Z porównania danych dotyczących kosztu zakupu autobusów niskoemisyjnych, opracowanych przez MZA w Warszawie, MPK w Białymstoku²⁰ i MPK w Suwałkach²¹ wynika, że średni koszt zakupu autobusu elektrycznego wynosi ok. 2,3 mln PLN netto (218% ceny autobusu ON, 135% ceny autobusu hybrydowego oraz 172% ceny autobusu CNG).

Koszt inwestycji infrastrukturalnych

Zasilanie indukcyjne jest obecnie najkosztowniejszym rozwiązaniem. Wymaga ono dostosowania infrastruktury przystankowej do nowych rozwiązań, co wiąże się z wysokimi nakładami inwestycyjnymi. Autobusy ładowane indukcyjnie wyposażone są w stosunkowo małe akumulatory. Pozwala to na zmniejszenie wagi autobusu, jednak niesie za sobą konieczność częstego doładowywania go i stworzenia wielu punktów ładowania. Obecnie w Polsce nie istnieją realizacje tego typu inwestycji. Koszt ładowarki w Stanach Zjednoczonych to 926 tys. USD (3,62 mln PLN) a wraz z dostosowaniem infrastruktury ok. 1,6 mln USD (6,25 mln PLN).²²

Zasilanie pantografowe jest drugim rozwiązaniem pod względem nakładów inwestycyjnych. Do wykorzystania sieci pantografowej konieczne jest zastosowanie zewnętrznych ładowarek. Przeniesienie napięcia z linii do ładowarek może być połączone z utworzeniem stacji ładowania samochodów osobowych co może znacznie podnieść innowacyjność miasta. Koszt ładowarek pantografowych wraz z infrastrukturą towarzyszącą oszacowany na podstawie przetargów przeprowadzanych w Polsce w 2018 i 2019 roku to od ok. 0,4 do 1,1 mln PLN brutto w zależności od mocy urządzenia. Najczęściej wykorzystywane są ładowarki pantografowe, których stanowisko ładowania osiąga moc 200 kW. Ich koszt wynosi ok. 420 tys. PLN brutto za każde stanowisko. Najtańszym rozwiązaniem jest ładowanie autobusu za pomocą stacji ładowania wyposażonych w złącza plug-in. Nie wymagają one znaczących zmian w infrastrukturze istniejących linii. Ładowarki można rozlokować w zajezdniach i na pętlach. Możliwe jest ich wykorzystywanie do wielu pojazdów elektrycznych, także osobowych. Dodatkowo, możliwe jest rozmieszczenie stacji ładowania z uwzględnieniem istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej. Istnieje wiele typów ładowarek stosowanych w takim rozwiązaniu. Możliwy jest wybór tańszych, ale wolniej ładujących jednostek,

²⁰ <https://www.bip.bialystok.pl/postepowania/zamowienia/dostawa-2-autobusow-w-ramach-projektu-rozwoj-niskoemisyjnego-transportu-zbiorowego-i-rowerowego-w-bof.html>

²¹ <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/suwalki-rozstrzygnely-przetarg-na-autobusy-cng-63826.html>

²² <https://lbpost.com/business/trade-transportation/wireless-charging-a-reality-for-long-beachs-battery-electric-bus-fleet/>

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

lub tzw. ładowarek szybkich, co jednak wiąże się z relatywnie wyższym kosztem. Koszt ładowarek plug-in wolnego ładowania szacuje się na 130 tys. PLN brutto, natomiast koszt zakupu ładowarek szybkiego ładowania zaczyna się od 250 tys. PLN brutto.

Eksploatacja

Istotnym parametrem jest możliwość ładowania autobusu w czasie pracy w ciągu dnia. Poza ładowaniem w nocy w zajezdni istnieją dwie metody uzupełniania akumulatorów baterii w ciągu eksploatacji. Do strategii tych zalicza się ładowanie na przystankach oraz na pętłach. Pierwsza z opcji zakłada szybkie ładowanie w czasie wymiany pasażerów. Trwa to, w zależności od natężenia ruchu, do 10 minut. Druga opcja zakłada doładowanie akumulatorów podczas postoju na pętli. W tym przypadku autobus może być ładowany przez ok. 10 - 30 min. Ładowanie indukcyjne wykorzystywane jest w strategii pierwszej, a więc przy nieznacznym doładowywaniu na przystankach dostosowanych do tego trybu. Ładowanie za pomocą stacji ładowania plug-in wymaga obsługi, co oznacza konieczność opuszczenia pojazdu przez kierowcę. Ładowanie to, ze względów bezpieczeństwa, możliwe jest tylko w przypadku ładowania na pętli bądź zajezdni. Zasilanie akumulatorów z sieci pantografowej możliwe jest zarówno na poszczególnych przystankach (ładowanie krótkie) jak i na pętli (ładowanie dłuższe).

Czas ładowania akumulatorów

Zależny jest on przede wszystkim od rodzaju akumulatorów i ładowarki. Istotnym elementem w eksploatacji autobusów elektrycznych jest czas potrzebny do pełnego naładowania akumulatorów. Na podstawie wcześniej zamieszczonych informacji można stwierdzić, że najwięcej czasu potrzebują stacjonarne zajezdniowe ładowarki, których czas ładowania może osiągać kilka godzin. Inaczej ma się sprawa w przypadku ładowarek miejskich (wykorzystywanych na pętłach lub niektórych przystankach). Tu przede wszystkim istotny jest czas, który nie powinien przekraczać 10 minut. Z punktu widzenia eksploatacji autobusu miejskiego najkorzystniejszym jest rozwiązanie zakładające ładowarkę wolnego ładowania na zajezdni – ładującą akumulatory w nocy, gdy autobusy nie są wykorzystywane, oraz ładowarki pantografowej znajdującej się na trasie przejazdu autobusu elektrycznego pozwalających na uzupełnienie energii w trakcie dziennej eksploatacji.

Tabela 3 przedstawia porównanie kilku wybranych systemów szybkiego ładowania autobusów elektrycznych w zależności od mocy ładowarki, czasu ładowania oraz zasięgu, jaki dodatkowo mógłby pokonać pojazd po doładowaniu.

Tabela 3. Porównanie przykładowych parametrów stacji szybkiego ładowania elektrobusesów.

Typ ładowarki	Koszt [mln PLN brutto]	Moc [kW]	Czas ładowania [min]	Zasięg [km] ²³
Pantografowo	0,38 ²⁴	180	10	21
	0,94 ²⁵	250	10	30

²³Zasięg oszacowano z uwzględnieniem wskaźnika zużycia energii elektrycznej na poziomie 1,4 kWh/km

²⁴ Cena z przetargu z 04.01.2017 r. w Jaworznie na zakup stacji szybkiego ładowania autobusów elektrycznych

²⁵ Cena z przetargu z 04.08.2017 r. w Krakowie na zakup stacji szybkiego ładowania autobusów elektrycznych

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

	1,1 ²⁶	300	10	36
Indukcyjnie	6 ²⁷	200	10	24

Źródło: Opracowanie własne

Ceny ładowarek pantografowych w głównej mierze zależą od mocy z jaką zasilają pojazdy. Na podstawie informacji od producentów można przyjąć teoretycznie, że wzrost mocy ładowarki pantografowej o 10 kW to dodatkowy koszt rzędu 25 tys. PLN netto. Praktyka pokazuje jednak, że ceny w przetargach, przy porównywalnych mocach ładowarek mogą się diametralnie różnić ceną. Należy przy tym pamiętać, że zwiększenie liczby zakupionych stacji ładowania pantografowego w trakcie jednego zamówienia wpływa na jednostkowe zmniejszenie ich ceny.

W tabeli Tabela 4 przedstawiono przykłady systemu ładowania zajezdniowego typu plug-in w zależności od czasu ładowania pojazdu. Przyjęto pojemność baterii akumulatorów na poziomie 220 kWh oraz wskaźnika zużycia energii elektrycznej na poziomie 1,4 kWh/km.

Tabela 4. Przykłady systemu ładowania zajezdniowego typu plug-in.

Moc [kW]	Czas ładowania [h]	Zasięg [km]
22	10	113
36	6,1	113
44	5,0	113
88	2,5	113
120	1,8	113
200	1,1	113

Źródło: Opracowanie własne

Wykorzystanie elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej

Przyłączenie punktów ładowania - wykorzystujących ładowarki plug-in, pantografowe i indukcyjne, do sieci dystrybucyjnej odbywa się w taki sam sposób jak przyłączenie punktów poboru energii o dużej mocy. W takim wypadku instalacja przyłącza energetycznego powinna być dostosowana do wymaganej mocy ładowarek. Przyłączenie stacji ładowania autobusów elektrycznych do sieci musi spełniać wymagania norm i przepisów m.in. w zakresie bezpieczeństwa użytkownika, parametrów jakościowych, w tym niewprowadzania zaburzeń do sieci elektroenergetycznych. Każdy punkt ładowania musi być wyposażony w odpowiedni układ pomiarowo-rozliczeniowy. Istotne jest także zapewnienie odpowiedniego miejsca na zainstalowanie tego układu wraz z niezbędnymi zabezpieczeniami. Miejsce to może być zlokalizowane np. w samym punkcie ładowania, nowym osobnym przyłączy wybudowanym przez OSD lub istniejącym przyłączy po jego modernizacji przez OSD. Uzależnione jest to m.in. od usytuowania punktu ładowania, uwarunkowań technicznych sieci, uwarunkowań przestrzennych itp.²⁸ W przypadku, gdy zostanie podjęta decyzja o powstaniu nowego

²⁶ Cena z przetargu z 07.02.2018 r. w Inowrocławiu na zakup stacji szybkiego ładowania autobusów elektrycznych

²⁷ <https://lbpost.com/business/trade-transportation/wireless-charging-a-reality-for-long-beachs-battery-electric-bus-fleet/>

²⁸ Źródło: „Dobre praktyki Operatorów Systemów Dystrybucyjnych. Informacje dla inwestorów zainteresowanych przyłączeniem do sieci elektroenergetycznej punktów ładowania samochodów elektrycznych” PTPIREE

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

przyłącza, miejsce jego usytuowania jest uzgadniane przez OSD z inwestorem. Dzięki temu zapewnia się optymalne umiejscowienie przyłącza.

W przypadku przyłączania do sieci elektroenergetycznych punktów szybkiego ładowania lub zespołu stacji ładowania, wymagających większej mocy przyłączeniowej, możliwe jest również przyłączenie do sieci średniego napięcia poprzez stację transformatorową należącą do inwestora.

3.2. Pojazdy zasilane gazem ziemnym

3.2.1. Opis technologii

Gaz ziemny stanowi perspektywiczne paliwo alternatywne dla benzyny oraz oleju napędowego w transporcie prywatnym, zbiorowym oraz przemysłowym. Gaz wykorzystywany w transporcie charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością metanu, blisko 98%.

Stosowane technologie to:

- CNG – sprężony gaz ziemny,
- LNG – skroplony gaz ziemny.

W kontekście rozwoju transportu niskoemisyjnego zwracana jest szczególna uwaga na promowanie pojazdów CNG i LNG (określanych łącznie jako NGV – *Natural Gas Vehicles*) ze względu na ich stosunkowo niewielki wpływ na środowisko. Z tego powodu ich wykorzystanie jest rekomendowane w kontekście ustawy o elektromobilności.

Rodzaje stosowanych paliw

- CNG - sprężony gaz ziemny (ang. *Compressed Natural Gas*) jest jedną z najszerzej stosowanych odmian paliw alternatywnych. Sprężanie metanu do celów transportowych odbywa się na stacjach tankowania za pomocą wielostopniowych sprężarek do ciśnienia 20-25 MPa. Gaz może być do nich dostarczany bezpośrednio z sieci gazowej lub dowożony cysternami w postaci skroplonej. Wartość energetyczna 1 m³ CNG jest równa w przybliżeniu 1 litrowi benzyny. Aby pojazd mógł wykorzystywać do napędu CNG konieczne jest wyposażenie go w dedykowany silnik (tzw. OEM). Zbiornik gazu powinien cechować się wytrzymałością na duże ciśnienia – 20 MPa, w związku z tym standardowe stalowe zbiorniki cechują się znaczną masą, stosowane są również lżejsze zbiorniki kompozytowe.
- LNG (ang. *Liquefied Natural Gas*) - skroplony gaz ziemny. Pozyskuje się go na drodze skroplenia gazu ziemnego w temperaturze poniżej -162 °C w instalacjach skraplających. W procesie skroplenia paliwo zmniejsza swoją objętość blisko 600 razy. Gaz jest transportowany do miejsca docelowego również w temperaturze -162 °C. W celu utrzymania tak niskiej temperatury jest przechowywany i transportowany w zbiornikach kriogenicznych. LNG może być wykorzystywany bezpośrednio w formie płynnej lub w formie lotnej w wyniku procesu regazyfikacji. Zaletą LNG jest możliwość transportu do obszarów, gdzie poprowadzenie gazociągu jest niemożliwe. Dostępność LNG na polskim rynku znacznie wzrosła po uruchomieniu w 2016 roku w Świnoujściu terminalu skroplonego gazu.

Szeroko wykorzystywanym paliwem gazowym w pojazdach osobowych w Polsce jest również LPG – mieszanina propanu i butanu w fazie gazowej. Pojazdy napędzane LPG i pojazdy NGV są

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

kategoryzowane rozłącznie. Ze względu na bardziej negatywne oddziaływanie na środowisko, pojazdy LPG nie zostały wskazane w ustawie o elektromobilności.

- LPG (ang. *Liquid Petroleum Gas*) to mieszanina propanu i butanu, jest to paliwo uzyskiwane w procesie rafinacji ropy naftowej. Gaz magazynowany jest w formie płynnej. Znajduje szerokie zastosowanie w transporcie osobowym. Wykorzystanie go w silnikach samochodowych powoduje niższą emisję niż paliwa konwencjonalne. Mimo tego LPG nie jest postrzegane jako równie „czyste” paliwo jak LNG i CNG.

W poniższej tabeli zestawiono cechy charakterystyczne CNG i LPG z tradycyjnymi paliwami – benzyną i olejem napędowym.

Tabela 5. Porównanie paliw płynnych

Cecha	CNG	LPG	Benzyna	ON
Wartość opałowa w warunkach normalnych [MJ/kg]	50	46,1	42,5 – 44	40,6 – 44,4
Zapotrzebowanie powietrza [kg/kg]	17,2	15,7	14,7 – 15,0	14,5
Liczba oktanowa	130	115	95 – 98	-
Gęstość [kg/m³]	0,717 (0°C 0,1MPa)	536 (15°C 1,5MPa)	720 – 760 (15°C 0,1MPa)	800 – 850 (15°C 0,1MPa)
Granica wybuchowości (% zawartość paliwa w powietrzu)	5 – 15	1,8 – 9,0	1,3 – 7,6	0,6 – 6,5
Temperatura samozapłonu [°C]	645	500	230 – 550	230
Temperatura wrzenia [°C]	-162	-47	35 – 210	160 – 380
Ciepło parowania [kJ/kg]	510	426	315 – 350	250 – 270

Źródło: <https://cng.auto.pl/ekologia-cng/>

Najwyższą wartością opałową wśród wskazanych paliw charakteryzuje się gaz ziemny – 50 MJ/kg. Również liczba oktanowa osiąga najwyższą wartość dla tego związku – 130, podczas gdy dla benzyny nie przekracza ona poziomu 100. Gaz ziemny cechuje się też większą granicą wybuchowości niż paliwa konwencjonalne (5-15% zawartości paliwa w powietrzu) oraz wysoką temperaturą zapłonu (645°C). Oznacza to, że stosowanie tego paliwa w transporcie stanowi mniejsze ryzyko wybuchu czy też pożaru w wypadku awarii instalacji i wycieku paliwa.

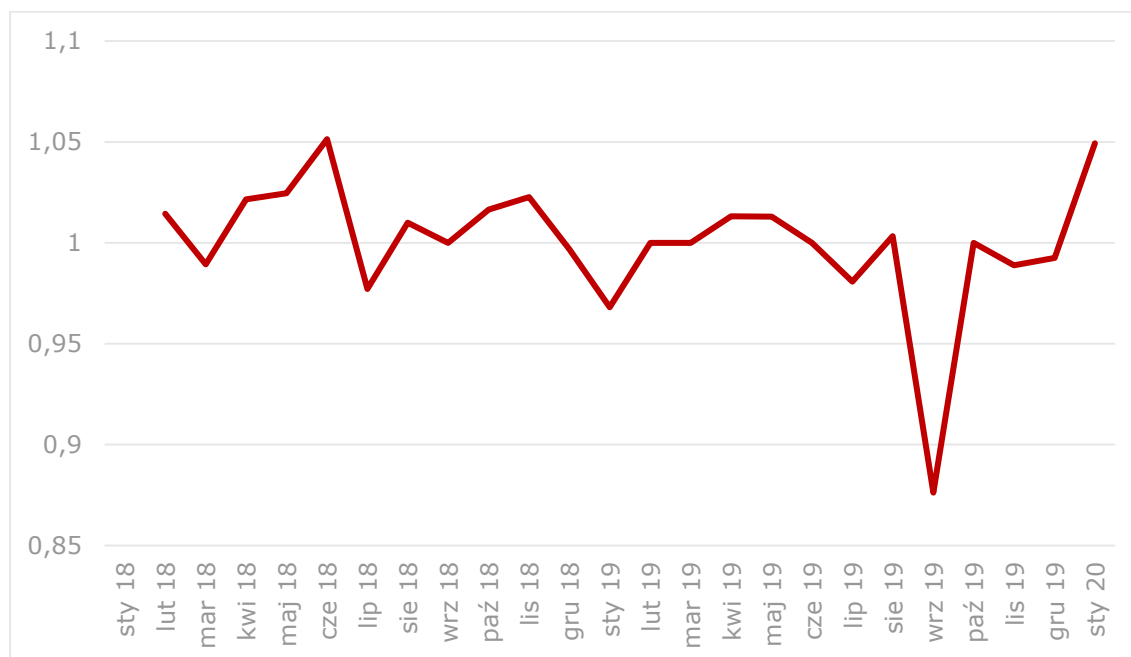
Ceny CNG i LNG

Na poniższych wykresach przedstawiono zmienność cen CNG oraz oleju napędowego w odniesieniu do miesiąca poprzedniego.

Znaczny spadek ceny paliwa alternatywnego jakim jest CNG we wrześniu w porównaniu do sierpnia wynikał ze zniesienia akcyzy na CNG oraz LNG.

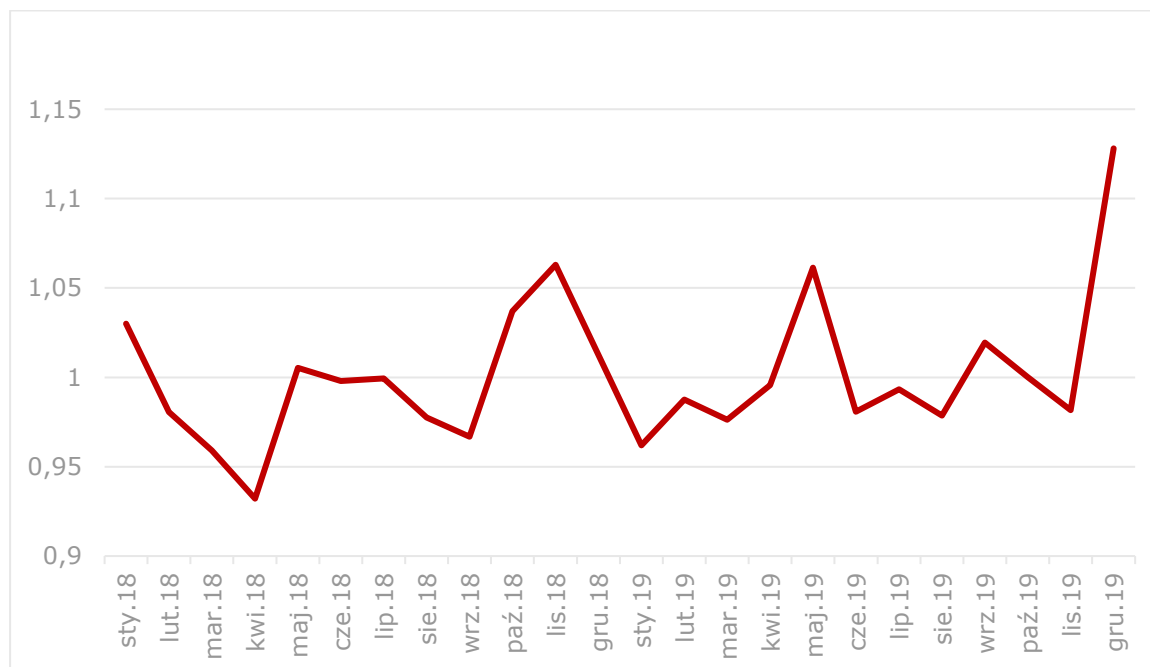
ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wykres 1. Zmienność cen CNG w latach 2018-2019 w odniesieniu do miesiąca poprzedniego



Źródło: <http://pgnig.pl/cng/cennik-cng>

Wykres 2. Zmienność średniej miesięcznej ceny ON w Polsce w latach 2017-2018 w odniesieniu do miesiąca poprzedniego



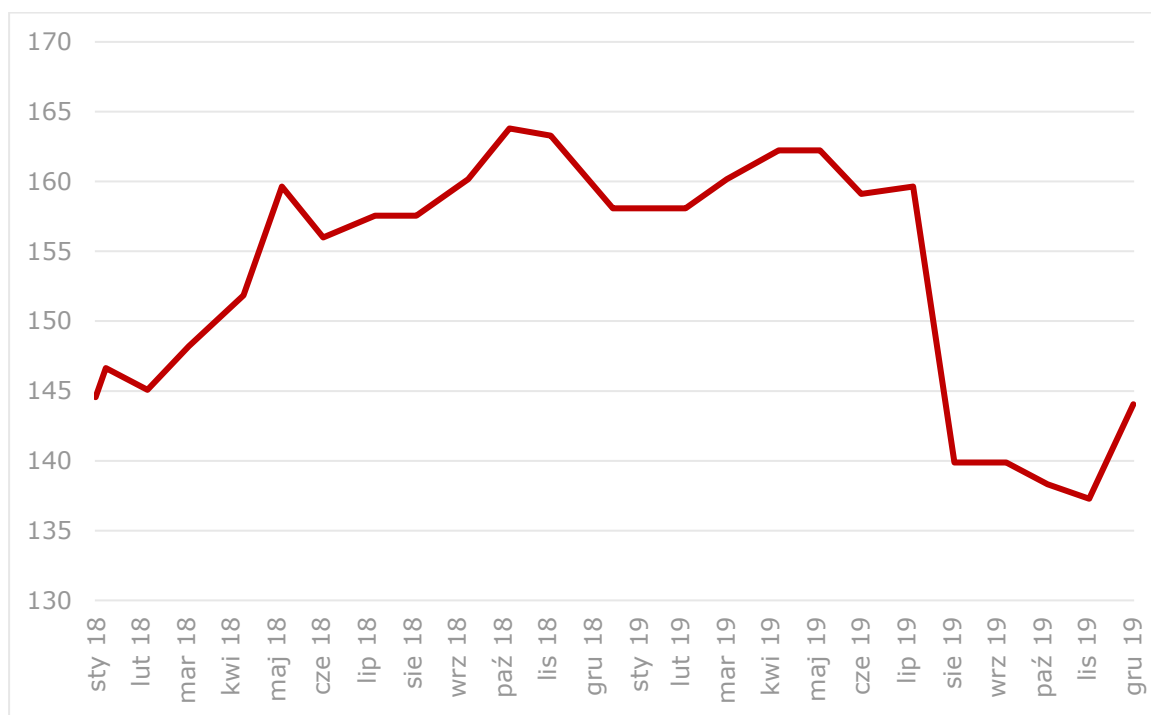
Źródło: <https://www.bankier.pl>

Ceny paliw są od siebie zauważalnie zależne, jednak porównując ceny jednostkowe ON i CNG, to olej napędowy jest najbardziej wrażliwy na uwarunkowania rynkowe i polityczne.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

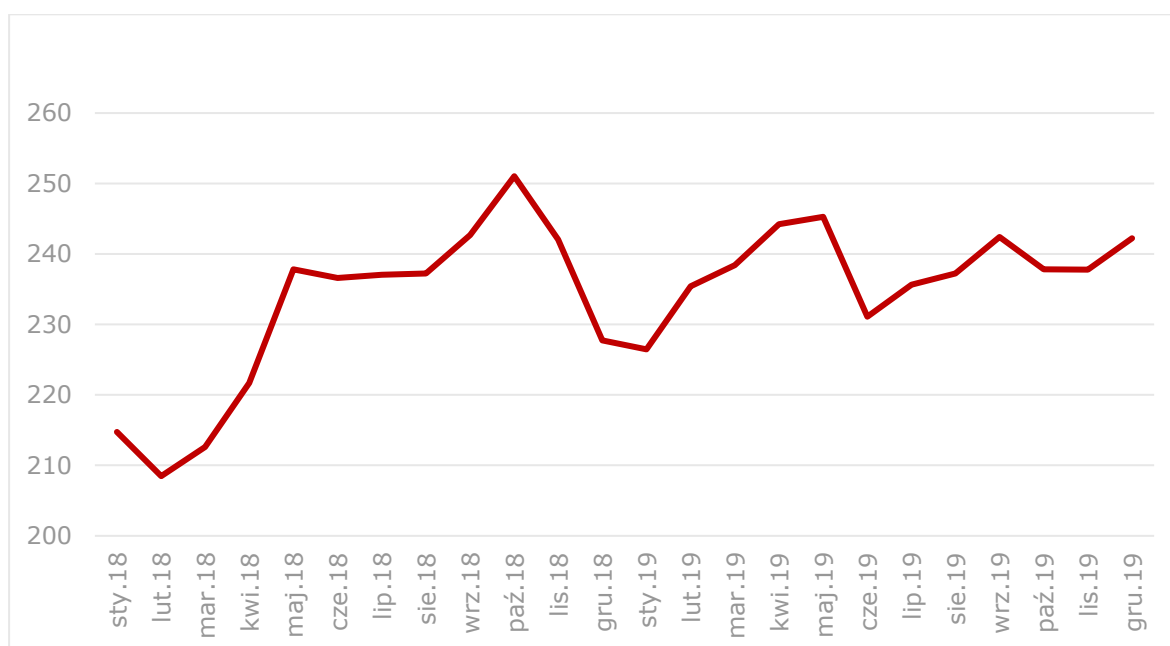
Na poniższych wykresach przedstawiono orientacyjny koszt paliwa dla autobusów miejskich zasilanych odpowiednio sprężonym gazem ziemnym oraz dieslem. W przeciągu ostatnich dwóch lat koszt przejechania 100 km autobusem zasilanym CNG wynosił od 137 do 163 zł netto, natomiast autobusem zasilanym olejem napędowym koszt przejechania takiej samej odległości wynosił od 208 do 251 zł netto.

Wykres 3. Koszt przejechania 100 km przy wykorzystaniu autobusu z silnikiem zasilanym CNG [zł]



Źródło: Opracowanie własne

Wykres 4. Koszt netto przejechania 100 km przy wykorzystaniu autobusu z silnikiem zasilanym ON [zł]



ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Źródło: Opracowanie własne

Typy i zastosowanie pojazdów NGV

W skali globalnej paliwa bazujące na gazie ziemnym wykorzystywane są przede wszystkim w transporcie ciężarowym, rzadko w transporcie dalekobieżnym, w komunikacji miejskiej oraz w pracy służb publicznych (oczyszczanie miasta, służby drogowe). Polski rynek stopniowo otwiera się na komercyjne stosowanie technologii CNG i LNG, zwłaszcza w komunikacji masowej.

Napędy CNG i LNG

Spośród silników spalających paliwa gazowe można wyszczególnić trzy kategorie:

- Silniki dedykowane CNG lub LNG, tzw. OEM, pracujące wyłącznie na danym paliwie,
- Silniki bi-fuel, wyposażone w dwa układy paliwowe, benzynowy i gazowy; w silnikach tych rozruch odbywa się zawsze na benzynie,
- Silniki dual-fuel, w których gaz spalany jest z domieszką oleju napędowego.

Zaletą technologii pojazdów NGV jest podobna budowa silników do napędów na paliwa konwencjonalne. Stąd też możliwe jest dostosowanie pojazdów na paliwa konwencjonalne do wykorzystywania gazu ziemnego, np. Diesla do spalania CNG. Modyfikacje takie, tzw. retrofit, nie gwarantują jednak najwyższej sprawności i mogą powodować zawyżone zużycie paliwa. Pojazdy wyposażone fabrycznie w silniki zasilane CNG/LNG są odpowiednio zoptymalizowane do korzystania z paliwa wysokooktanowego.

Różnice między pojazdami CNG i LNG

Najważniejszą cechą w konstrukcji instalacji między napędami CNG i LNG jest rodzaj zbiornika. W przypadku CNG gaz zatłaczany jest pod ciśnieniem 20 MPa. Zbiorniki wytrzymałe na ciśnienia tego rzędu są masywne i zajmują sporo miejsca w pojeździe. Wykonuje się je ze stali bądź odpowiednich kompozytów. Aby zapobiec ograniczaniu przestrzeni w samym pojeździe często montuje się je na dachu, np. w przypadku autobusów zasilanych CNG. LNG z kolei jako paliwo przechowywane w bardzo niskich temperaturach wymaga magazynowania w zbiornikach kriogenicznych. Ich wymiary oraz masa są zdecydowanie mniejsze niż w przypadku zbiorników CNG.

Warto zwrócić również uwagę na problem zasięgu pojazdów na gaz ziemny. Zasięg obecnie dostępnych na rynku autobusów na CNG to maksymalnie 500-600 km, podczas gdy autobusów LNG do 400 km.

Istotną kwestią różnicującą te dwie technologie jest cena. Koszt zakupu pojazdu gazowego jest niższy w przypadku instalacji sprężonego gazu niż skroplonego.

Różnice między pojazdami CNG, hybrydowymi oraz elektrycznymi

Przy wyborze sposobu zasilania taboru autobusowego, w świetle obowiązujących przepisów, należy rozpatrzyć kilka istotnych czynników: zasięg, poziom emisji zanieczyszczeń do atmosfery, możliwość rekuperacji, potencjalną zasadność do zastosowania w przypadku korków, masę i wysokość pojazdu, nakłady inwestycyjne. Tabela 6 przedstawia wady i zalety autobusów zasilanych paliwem CNG, autobusów hybrydowych oraz autobusów elektrycznych. Zestawienie zostało opracowane na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych w spółkach współpracujących z Audytel S.A. Należy jednak podkreślić, że dane dotyczące eksploatacji autobusów elektrycznych

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

zostały zebrane w okresie ostatnich dwóch lat. Wynika to z faktu, że autobusy elektryczne funkcjonują w publicznym transporcie zbiorowym w Polsce dopiero od 2016 r.

Tabela 6. Porównanie cech autobusów CNG, hybrydowych oraz elektrycznych

Cecha	Rodzaj paliwa		
	CNG	Hybrydowe	Elektryczne
Zasięg	Wysoki	Wysoki	Niski
Poziom emisji zanieczyszczeń do atmosfery	Brak emisji lokalnej	Niski	Brak emisji lokalnej
Możliwość rekuperacji	Brak	Jest	Jest
Potencjalna zasadność do zastosowania na zakorkowanych trasach	Nie	Tak	Tak
Masa pojazdu	Porównywalna z autobusem konwencjonalnym	Wysoka	Zależna od sposobu ładowania, wielkości dodatkowego zestawu bateryjnego
Wysokość pojazdu	Większa niż w autobusie konwencjonalnym	Większa niż w autobusie konwencjonalnym	Większa niż w autobusie konwencjonalnym
Nakłady inwestycyjne	Wyższe niż w autobusie konwencjonalnym	Wyższe niż w autobusie konwencjonalnym	Wyższe niż w autobusie konwencjonalnym

Źródło: Opracowanie własne na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych

Zastosowanie gazu ziemnego w pojazdach komunikacji miejskiej

Gaz ziemny jest paliwem charakteryzującym się niskim poziomem emisji idealnym dla pojazdów krótkodystansowych, stąd znajduje on zastosowanie w pojazdach komunikacji miejskiej.

Większość czołowych producentów autobusów wprowadza do swojej oferty autobusy zasilane gazem ziemnym. W przeważającej większości są to autobusy CNG, jednak w ostatnich latach na rynku pojawiają się również autobusy LNG.

Wykres 1. Wybrane modele autobusów gazowych

Producent	Model	Paliwo	Moc silnika	Zasięg
Iveco Bus	Crossway LE Natural Power CNG	CNG	360 KM	500-600 km
Scania	CityWide 12 LF CNG	CNG	340 KM	500 km
Solaris	Urbino 12 CNG IV	CNG	320 KM	350 – 550 km
Solbus	SOLBUS SM 12 LNG	LNG	320 KM	400 km
Solbus	SOLBUS SM 12 CNG	CNG	284-325 KM	400 km

Źródło: <http://gashd.eu/>, <https://cng.auto.pl/>, strony internetowe producentów

Cena autobusu CNG to około 130% ceny autobusu ON.

3.2.2. Zasilanie – stacje tankowania

Tankowanie pojazdów NGV odbywa się na specjalnych stacjach wyposażonych w dystrybutory gazu ziemnego w postaci lotnej i/lub płynnej. Z powodu szerszego wykorzystania w transporcie CNG,

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

punktów, gdzie można tankować samochody na sprężony gaz jest w Polsce zdecydowanie więcej niż stacji LNG.

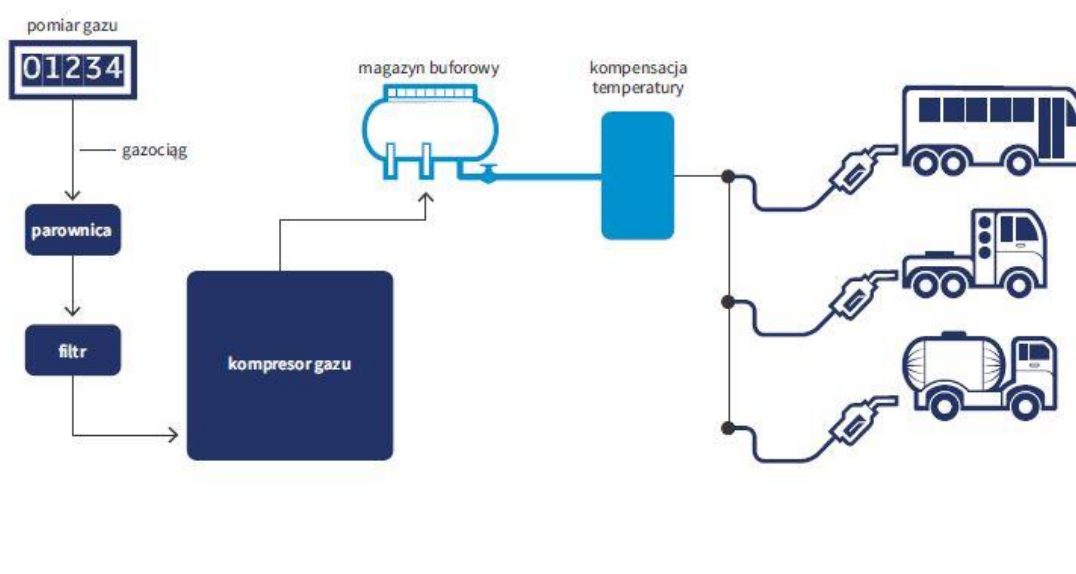
Stacje CNG

Można wyróżnić stacje publiczne (ogólnodostępne), flotowe (wykorzystywane przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej i firmy transportowe) oraz prywatne (niewielkie przydomowe instalacje sprężarkowe)²⁹. Tankowanie przydomowe wiąże się z małą efektywnością i ograniczeniem ilości tankowanych aut do kilku na dobę. Większe możliwości stwarzają stacje użytkowane przez przewoźników oraz otwarte dla wszystkich kierowców. Stacje firm transportowych mogą być też udostępnione innym kierowcom na określonych warunkach, natomiast stacje publiczne są często zintegrowane ze stacjami paliw konwencjonalnych i tankowanie odbywa się wówczas w analogiczny sposób do tankowania benzyny i oleju napędowego.

Można wyróżnić stacje wolnego oraz szybkiego tankowania. Stacje wolnego tankowania lokalizowane są najczęściej na terenie zajezdni autobusowych. Zapewniają napełnienie zbiornika pojazdu w kilka godzin, np. w trakcie postoju nocnego autobusu. Stacje szybkiego tankowania umiejscowione w pobliżu pętli autobusowych pozwalają na tankowanie w czasie zbliżonym do tankowania standardowego ON – kilkunastu minut.

Gaz ziemny może być dostarczany do stacji gazociągiem lub dostarczany w postaci skroplonej. Stacja zasilana gazem sieciowym powinna być zlokalizowana przy stacji redukcyjno-pomiarowej wysokiego ciśnienia. Ciśnienie tłoczenia gazu do zbiorników pojazdów to 20-25 MPa, stąd konieczne jest stosowanie układu sprężarek wielostopniowych (kompresorów). Innymi elementami stacji są: aparatura pomiarowa gazu, filtry, instalacja nawaniania gazu, zbiorniki magazynujące paliwo oraz dystrybutory. W przypadku dostaw gazu w postaci skroplonej konieczne jest zastosowanie urządzenia zwanego regazyfikatorem, gdzie w wyniku dostarczenia ciepła dochodzi do zmiany stanu skupienia formy ciekłej w postać lotną.

Rysunek 1. Przykładowy schemat stacji



²⁹ Źródło: Rynek CNG LNG 2017, PSPA

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Źródło: Rynek CNG LNG 2017, PSPA

Aby w danej lokalizacji mogła powstać stacja sprężania gazu musi być spełniony szereg warunków, między innymi:

- Określenie wpływu stacji na środowisko naturalne (szacowane ilości emitowanych zanieczyszczeń, hałasu, ścieków i odpadów niebezpiecznych),
- Wykonanie przyłącza do sieci gazowej pozwalającego na zasilenie sprężarek,
- Odpowiednie zagospodarowanie terenu wokół stacji pozwalające na wygodną eksploatację stacji przez wiele pojazdów,
- Wskazane jest, aby inwestycja tego rodzaju posiadała monitoring w fazie jej budowy i eksploatacji.

Analogiczne wymagania dotyczą budowy stacji tankowania LNG.

Stacje LNG

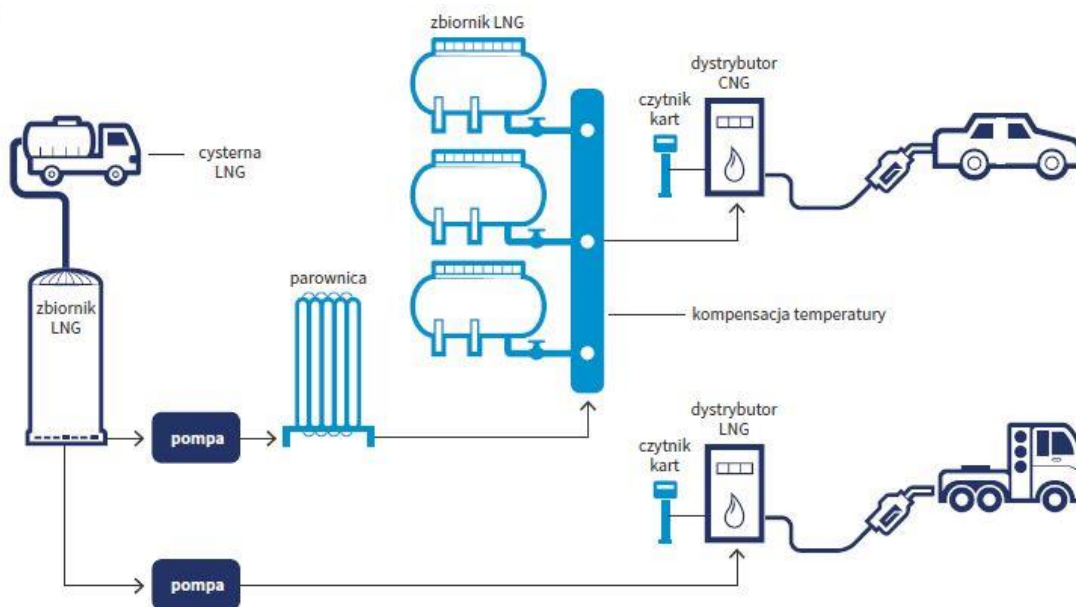
Ze względu na mniejszą popularność tej technologii wśród klientów indywidualnych stacje tankowania LNG stanowią najczęściej część infrastruktury firm transportowych lub przedsiębiorstw komunikacji miejskiej. Tankowanie LNG odbywa się przy ciśnieniu 6-8 bar, przy zastosowaniu pomp, nie sprężarek. Stacje również można podzielić na służące do wolnego i szybkiego tankowania, jednak w obu przypadkach proces ten przebiega krócej niż dla pojazdów CNG. Szybkie tankowanie autobusu LNG na pętli może zajmować do 5 minut. Gaz ziemny jest dostarczany do stacji cysternami kriogenicznymi. Skraplanie gazu sieciowego na miejscu wiązałoby się z poniesieniem bardzo dużych kosztów dodatkowych, stąd jest to nieoptymalne rozwiązanie. Stacje LNG mogą być zrealizowane w formie stacji pełnowymiarowej lub stacji modułowej czy też kontenerowej, które nie wymagają pełnej zabudowy terenu i budowy trwałej infrastruktury. Stacja pełnowymiarowa, analogiczna do tradycyjnych stacji paliwowych wymaga droższej i bardziej skomplikowanej aparatury w porównaniu z podobną stacją CNG, z kolei stacje modułowe i kontenerowe wyposażone są w zbiornik gazu umieszczony horyzontalnie i mogą obsłużyć do 50 pojazdów dziennie.

Elementami instalacji tankowania są między innymi: zbiorniki kriogeniczne utrzymujące zadane warunki paliwa (ustawione wertykalnie), aparatura do odpowietrzania, pompy kriogeniczne i dystrybutory. Stacja może obsługiwać powyżej 50 pojazdów dziennie. Do uruchomienia stacji LNG wymagane jest przystosowanie terenu wokół oraz przyłącze energii elektrycznej o mocy 20 kW.

Istnieje możliwość połączenia obu technologii napędów gazu ziemnego na jednej stacji tankowania nazywanej LCNG. Gaz dostarczany do stacji w postaci płynnej kierowany jest do dystrybutorów LNG oraz przez instalację LCNG pozyskującą gaz sprężony ze skroplonego do dystrybutorów CNG. Schemat stacji LCNG przedstawiono poniżej.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Rysunek 2. Schemat stacji tankowania LCNG



Źródło: Rynek CNG LNG 2017, PSPA

Koszty wybudowania stacji tankowania CNG mieszczą się w przedziale 400 tys. zł do 1 mln zł³⁰. W kwocie tej uwzględnia się koszty związane z wyposażeniem stacji w urządzenia techniczne niezbędne do prowadzenia sprzedaży gazu ziemnego. Nie obejmują one dzierżawy gruntu czy wybudowania infrastruktury dodatkowej. W przypadku stacji LNG kwoty te będą nieznacznie wyższe ze względu na bardziej złożoną aparaturę.

³⁰ Źródło: Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych, 29.03.2017r

4. Wyniki przeprowadzonych analiz

4.1. Analiza stanu obecnego

4.1.1. Gmina Miasto Pruszków

Miasto Pruszków to miasto usytuowane w województwie mazowieckim należące do aglomeracji warszawskiej. Zamieszkiwane jest przez 61,2 tys. mieszkańców (stan w dniu 18 lipca 2018 r. wg Głównego Urzędu Statystycznego), co nakłada na miasto obowiązek sporządzania co 36 miesięcy analizy kosztów i korzyści wynikających z art. 37 ustawy o elektromobilności (Dz. U. 2018 poz. 317).

Gmina Miasto Pruszków graniczy z czterema gminami:

- Brwinów,
- Michałowice,
- Ożarów Mazowiecki,
- Piastów.

Rysunek 3 Lokalizacja Gminy Miasto Pruszków oraz sąsiadujących z nią gmin



Źródło: <http://www.pruszkow.sr.gov.pl/wlasciwosc-sadu>

4.1.2. Transport publiczny w Pruszkowie

Organizator oraz przewoźnicy realizujący transport publiczny

Dane przedstawione w rozdziale dotyczą stanu w maju 2020 r. – podmiotami realizującymi transport zbiorowy jest Zarząd Transportu Miejskiego miasta stołecznego Warszawy i PKS Grodzisk Mazowiecki, który świadczy usługi do czerwca 2020 r. Począwszy od lipca 2020 r. możliwa jest zmiana przewoźnika, jednak obecnie nie ma wiążących informacji w tym temacie.

Pomiędzy Gminą Miasto Pruszków a firmą Przedsiębiorstwo Komunikacji Samochodowej w Grodzisku Mazowieckim dnia 16 czerwca 2016 r. została zawarta umowa na świadczenie usług w zakresie wykonywania lokalnego transportu zbiorowego na terenie Pruszkowa na wszystkich liniach autobusowych. Umowa została zawarta na okres do dnia 30 czerwca 2020 r.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W umowie wykonawczej została określona liczba wozokilometrów realizowanych przez przewoźnika na danej linii przez cały okres trwania umowy.

Porozumienia międzygminne

Gmina Miasto Pruszków zawarło cztery porozumienia międzygminne w zakresie lokalnego transportu zbiorowego. Porozumienia te pozwalają na powierzenie miastu Pruszków wykonywanie zadań związanych z transportem zbiorowym na terenie gmin:

- Brwinów;
- Michałowice;
- Ożarów Mazowiecki;
- Piastów.³¹

Na podstawie umów gminy refundują koszty w wysokości 3,57 zł brutto za wozokilometr przejechany na ich terenie. W roku 2019 dokonano waloryzacji poziomów refundacji, które ustalono na poziomie 3,7 zł brutto za wozokilometr.

Charakterystyka funkcjonowania sieci i systemu komunikacji

Sieć komunikacyjną miasta Pruszkowa tworzy 8 linii autobusowych. Relacje na jakich funkcjonują poszczególne linie autobusowe zostały przedstawione w tabeli poniżej.

Tabela 7 Linie realizujące zbiorowy transport publiczny

Linia	Relacja	Liczba przystanków
1	Pruszków Wojska Polskiego Os. Staszica/Pętla 01 - Pruszków Sienkiewicza PKP Pruszków 01	11
2	Pruszków Wojska Polskiego Os. Staszica / pętla 01 - Komorów Turystyczna Komorów Pętla	39
2BIS	Pruszków Wojska Polskiego Os. Staszica / pętla 01 - Pruszków Kraszewskiego WKD Pruszków 01	14
3	Pruszków Inżynierska Pętla 01 - Piastów Warszawska Warszawska 02	25
3BIS	Jarzynowa Jarzynowa Szkoła 01 - Jarzynowa Jarzynowa Szkoła 01	15
4	Pruszków Wojska Polskiego Os. Staszica / pętla 01 - Pruszków Waryńskiego Elektrownia	38
5	Kraszewskiego WKD Pruszków 01 - Spacerowa Sadowa Pętla 01	30
6	Pruszków Wojska Polskiego Os. Staszica Pętla 01 - Ożarów Mazowiecki Kolejowa PKP Ożarów Maz. 01	34

³¹ porozumienie w zakresie wykonywania relacji i kursów autobusów na obszarze Piastowa

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

Linie i realizacja rozkładów jazdy

W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione dane dotyczące linii autobusowych obsługiwanych przez PKS Grodzisk Mazowiecki:

- Długość linii (jeśli linia jest realizowana w kilku wariantach, brano pod uwagę wariant najdłuższy);
- Liczba przystanków (jeśli linia jest realizowana w kilku wariantach, brano pod uwagę wariant z największą liczbą przystanków);
- Czas przejazdu (jeśli linia jest realizowana w kilku wariantach, brano pod uwagę wariant najdłuższy).

Komunikacja miejska na terenie Gminy Miasta Pruszków realizowana jest przez 8 linii autobusowych, zestawionych w poniższej tabeli.

Tabela 8 Dane dotyczące linii autobusowych obsługiwanych przez PKS Grodzisk Mazowiecki

Nr linii	Liczba przystanków w obie strony	Czas przejazdu [min]	Dystans [km]
1	11	14	4,3
2	39	50	18
2BIS	14	19	6
3	25	28	11,5
3BIS	15	22	7,6
4	38	41	22
5	30	52	16,9
6	34	50	22,5

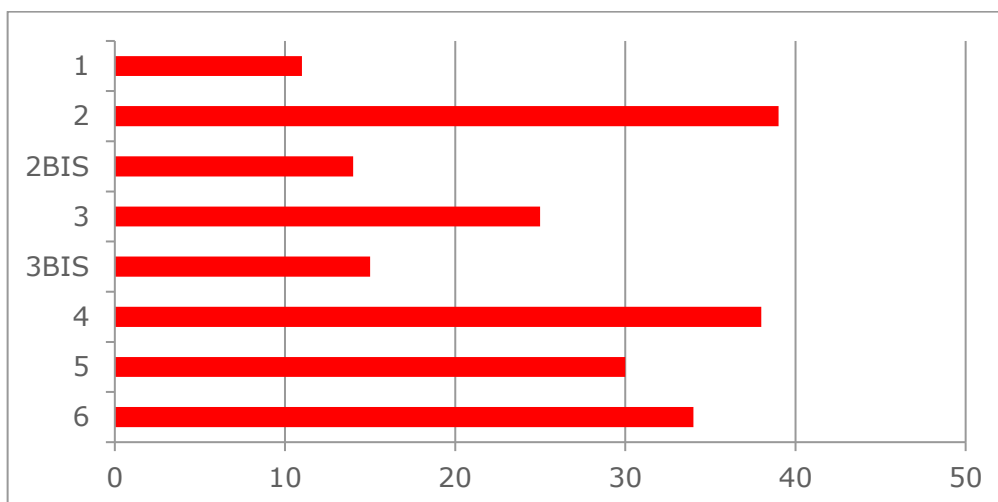
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

Liczba przystanków

Poniżej przedstawiono liczbę przystanków na liniach autobusowych. Zestawienie przedstawia liczbę przystanków dla najdłuższych wariantów realizacji kursów na linii. Parametr liczby przystanków wprowadzono jako daną składową do obliczenia wskaźnika czasu przejazdu pomiędzy przystankami WCP.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wykres 2. Liczba przystanków na liniach autobusowych między jedną pętlą



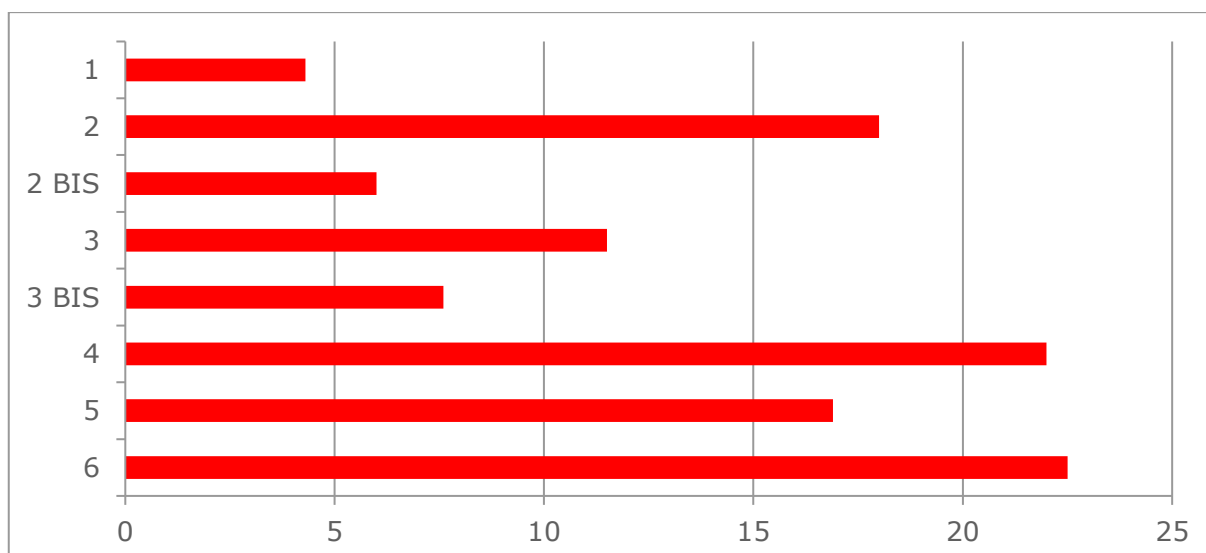
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

Liczba przystanków na liniach autobusowych jest zróżnicowana, najkrótsza trasa składa się z 11 przystanków, a najdłuższa z 39 przystanków.

Długość linii

Poniżej przedstawiono długość linii autobusowych w Pruszkowie. Parametr długości linii wprowadzamy z uwagi na możliwy zasięg autobusów elektrycznych, których zastosowanie rozważamy w wariantcie nr 1.

Wykres 3 Długość linii autobusowych między jedną pętlą [km]



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa, oraz źródła internetowe.

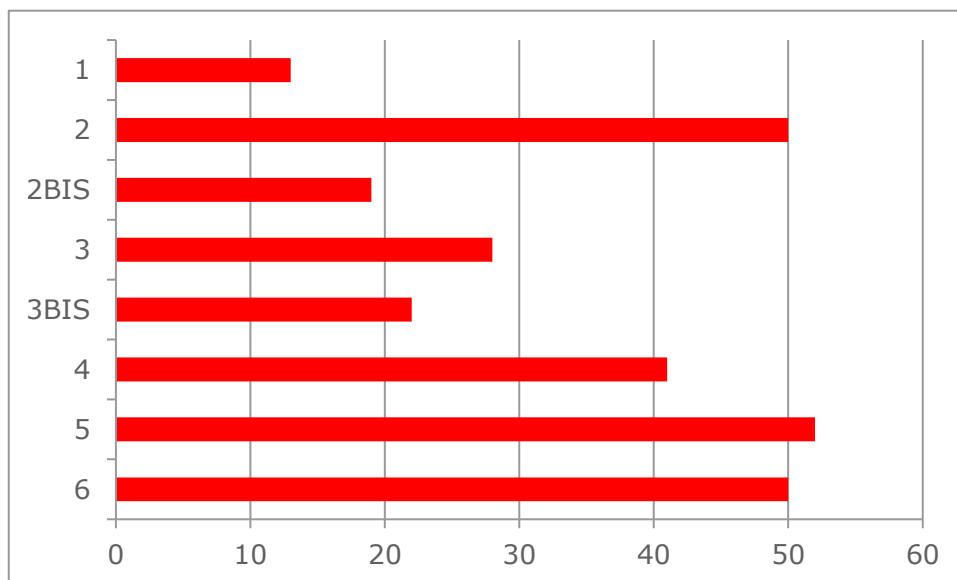
Średnia długość realizowanych linii wynosi 13,6 km, przy czym najkrótsza linia nr 1 ma długość 4,3 km, a najdłuższa linia nr 6 – 22,5 km.

Czas przejazdu

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Poniżej przedstawiono czas przejazdu na liniach autobusowych. Zestawienie przedstawia liczbę przystanków dla najdłuższych wariantów realizacji kursów na linii. Parametr czasu przejazdu wprowadzono jako daną składową do obliczenia wskaźnika czasu przejazdu pomiędzy przystankami WCP.

Wykres 4. Czas przejazdu na liniach autobusowych między jedną pętlą [min]



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

Realizacja przejazdu linią nr 5 zajmuje najwięcej czasu - według rozkładu jazdy 52 minuty, a najmniej linią nr 1 - 13 minut.

Analiza linii autobusowych

Dalszej analizie poddano miejskie dzienne linie autobusowe. Do celów analizy wprowadzono pojęcie „wskaźnik czasu przejazdu dla linii”:

$$WCP = \frac{CP}{LP}$$

gdzie: WCP – wskaźnik czasu przejazdu dla linii [min],

CP – czas przejazdu w obu kierunkach na linii [min],

LP – liczba przystanków na linii.

Wskaźnik obrazuje czas przejazdu pomiędzy przystankami dla wybranych do analizy linii.

Wskaźnik WCP pozwala na segmentację linii pod kątem zastosowania autobusów elektrycznych i wykorzystania ich możliwości odzyskiwania energii podczas hamowania (rekuperacja). Im krótszy czas przejazdu, tym częstsze hamowanie i większa możliwość odzyskania energii. Z tego względu w dalszych analizach linie o niskiej wartości wskaźnika WCP są proponowane do zastosowania na nich autobusów elektrycznych. Wartości wskaźnika są ujęte w dalszej analizie razem z długością linii, tak aby wykorzystać możliwy zasięg autobusu przejazdu pomiędzy ładowaniami. Ze względu na

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

charakter realizacji linii 3BIS (linia okrężna) **nie została ona** uwzględniona w analizie, ponieważ wprowadzenie na niej pojazdów elektrycznych zaburzyłoby jej funkcjonowanie³².

Tabela 9. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii

Nr linii	Liczba przystanków - LP	Czas przejazdu - CP [min]	WCP	WCP dla linii przyjętych do dalszych analiz
1	11	13	1,18	1,18
2	39	50	1,28	1,28
2BIS	14	19	1,36	1,36
3	25	28	1,12	1,12
4	38	41	1,08	1,08
5	30	52	1,73	1,73
6	34	50	1,47	1,47

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

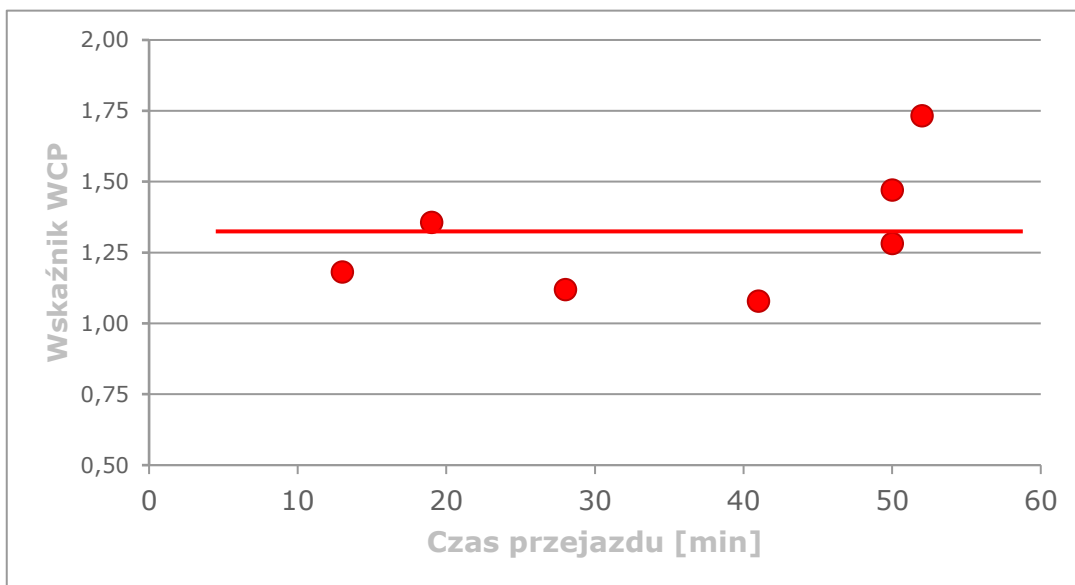
Dla większości linii wskaźnik czasu przejazdu jest niższy niż 1,5 min.

Poniżej przedstawiono relację czasu przejazdu trasy do wskaźnika WCP. Linią poziomą zaznaczono medianę wskaźnika WCP. Wskaźnik WCP pozwala na segmentację linii pod kątem zastosowania autobusów elektrycznych i wykorzystania ich możliwości odzyskiwania energii podczas hamowania (rekuperacja). Z naszego doświadczenia najbardziej optymalną metodą podziału na linie dedykowane dla autobusów elektrycznych i pozostałe linie jest zastosowanie mediany. Linie autobusowe poniżej mediany wartości wskaźnika WCP są w pierwszej kolejności brane pod uwagę przy dedykowaniu tam autobusów elektrycznych. Zgodnie z tą metodą, przygotowano poniższy wykres.

³²Obecny przebieg trasy tej linii nie spełnia kryteriów możliwości wprowadzenia taboru elektrycznego

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wykres 5. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii, a czas przejechania linii



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

Praca przewozowa

Tabela 10. Liczba pasażerów i wozokilometrów w latach 2018 – 2019

Rok	Liczba przewiezionych pasażerów	Liczba wozokilometrów	Liczba pasażerów na wozokilometr
2018	1 372 845	670 443	2,05
2019	1 654 511	769 090	2,15

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa.

Na przestrzeni lat 2018 – 2019 nastąpił znaczny wzrost liczby pasażerów, przy jednocześnie niewielkim wzroście liczby pasażerów przypadających na wozokilometr, wzrost ten nastąpił ze względu na wprowadzenie nowych linii autobusowych na terenie Gminy Pruszków.

Tabor autobusowy

Do realizacji zadań przewozowych wykorzystywany jest tabor składający się z 12 autobusów, z czego zdecydowana większość to pięcioletnie autobusy ZAZ A10C o normie emisji Euro V. Wszystkie pojazdy napędzane są silnikami spalinowymi diesla. Wskaźnik wieku taboru wynosi 7,17 lat z czego 66,7% stanowią 5-letnie autobusy.

Harmonogram wymiany floty

Transport publiczny na terenie miast Pruszków realizowany jest przez zewnętrznego operatora, którym jest PKS Grodzisk Mazowiecki. Umowa na świadczenie usług obowiązuje do dnia 30 czerwca 2020 r.

W przypadku wykazania opłacalności inwestycji w transport zeroemisyjny, Miasto Pruszków podpisując kolejną umowę przy zachowaniu tej samej liczby autobusów, powinno zawrzeć w SIWZ, aby operator korzystał z taboru składającego się przynajmniej z:

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- 1 autobusu elektrycznego od dnia 01.01.2025 r.,
- 2 autobusów elektrycznych od dnia 01.01.2028 r.

Zapis ten umożliwiłby spełnienie wymagań ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych w zakresie wykorzystania pojazdów zeroemisyjnych w realizacji usług publicznego transportu zbiorowego.

Finansowanie

Z punktu widzenia realizacji usług przewozowych zakładanych w Planie transportowym Pruszkowa podstawowymi źródłami finansowania transportu publicznego (oprócz refundacji kosztów z budżetu Pruszkowa) mogą być:

- Wpływy z biletów i opłat za usługi przewozowe,
- Środki z budżetu Pruszkowa i państwa (dotacje przedmiotowe) w ramach refundacji utraconych przychodów z tytułu stosowania ulg i zwolnień w opłatach.

Ponadto, finansowanie przewozów może następować:

- Ze środków budżetowych innych gmin przeznaczanych na dofinansowanie linii, dla których organizatorem jest miasto Pruszków,
- Z opłat parkingowych,
- Środków przekazywanych przez podmioty prywatne zainteresowane prowadzeniem linii komunikacyjnej i jej dofinansowaniem,

Finansowanie przewozów w transporcie szynowym (gdzie organizatorami będą Marszałek Województwa Mazowieckiego i Prezydent m.st. Warszawy) będzie pochodzić ze:

- Środków z budżetu województwa mazowieckiego, z którego finansowane są dotacje podmiotowe do przewozów kolejowych realizowanych przez spółki: Koleje Mazowieckie oraz WKD,
- Środków z budżetu m.st. Warszawy (współfinansowanie realizacji kursów SKM).

4.2. Kierunki rozwoju floty na lata 2019 -2028

W celu zapewnienia zgodności z wymogami Ustawy, konieczne jest spełnienie następujących procentowych wartości udziału pojazdów elektrycznych we flocie przewoźników na terenie Miasta Pruszkowa:

- 5% do dnia 01.01.2021 r.,
- 10% do dnia 01.01.2023 r.,
- 20% do dnia 01.01.2025 r.,
- 30% do dnia 01.01.2028 r.

W odniesieniu do całkowitej liczby autobusów obsługujących komunikację miejską w Pruszkowie (12 sztuk) wymagania przedstawiają się następująco:

- 1 autobus elektryczny od dnia 01.01.2021 r.,
- 2 autobusy elektryczne od dnia 01.01.2023 r.,
- 3 autobusy elektryczne od dnia 01.01.2025 r.,

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- 4 autobusy elektryczne od dnia 01.01.2028 r.

4.2.1. Wariant 0 – utrzymanie stanu obecnego floty konwencjonalnej **Założenia**

Wszystkie zakupione w tym okresie pojazdy będą zastępować wyeksploatowany najstarszy tabor na autobusy zeroemisyjne lub o napędzie spalinowym spełniające normę EURO VI.

Prognoza liczby wozokilometrów

Na podstawie danych nie jest przewidywany wzrost liczby wozokilometrów.

Prognozowane zużycie paliwa

Zastosowanie nowoczesnej floty autobusów składającej się z pojazdów spalinowych spełniających normę EURO VI nie przełoży się na znaczne zmniejszenie zużycia paliwa.

4.2.2. Wariant 1 – wykorzystanie pojazdów elektrycznych w liczbie pozwalającej na spełnienie wymogów ustawy o elektromobilności

Infrastruktura elektroenergetyczna w Pruszkowie

W Polsce, na przestrzeni ostatnich 10 lat, można zaobserwować stałą tendencję wzrostową w zakresie zużycia energii elektrycznej. Związane jest to głównie ze wzrostem wykorzystania urządzeń elektronicznych w gospodarstwach domowych. Dodatkowo, wykorzystanie pojazdów elektrycznych wpłynie w istotny sposób na funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego. W krajowym systemie elektroenergetycznym wyróżnia się 3 podsystemy:

- Wytwarzanie,
- Sieć przesyłową,
- Sieć dystrybucyjną.

W zależności od dystansu, energia elektryczna jest przesyłana na różnych poziomach napięć. Wyróżnia się:

- Sieć przesyłową najwyższego napięcia – pracującą w zakresie od 220 kV do 400 kV, stosowaną w przypadku przesyłu na duże odległości;
- Sieć przesyłową i dystrybucyjną wysokiego napięcia – pracującą na napięciu 110 kV, stosowaną do przesyłu do kilkudziesięciu kilometrów;
- Sieć dystrybucyjną średniego napięcia, pracującą na napięciu od 6 kV do 30 kV, wykorzystywaną przy dystrybucji energii elektrycznej;
- Sieć dystrybucyjną niskiego napięcia, dostarczającą napięcie o wartości 230/400 V, stosowaną do dystrybucji energii elektrycznej do końcowego odbiorcy.

Powszechność wykorzystania energii elektrycznej związana jest przede wszystkim z łatwością jej transportu, rozdziałem i możliwościami regulacji. Dodatkowo, dzięki wyśrubowanym normom

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

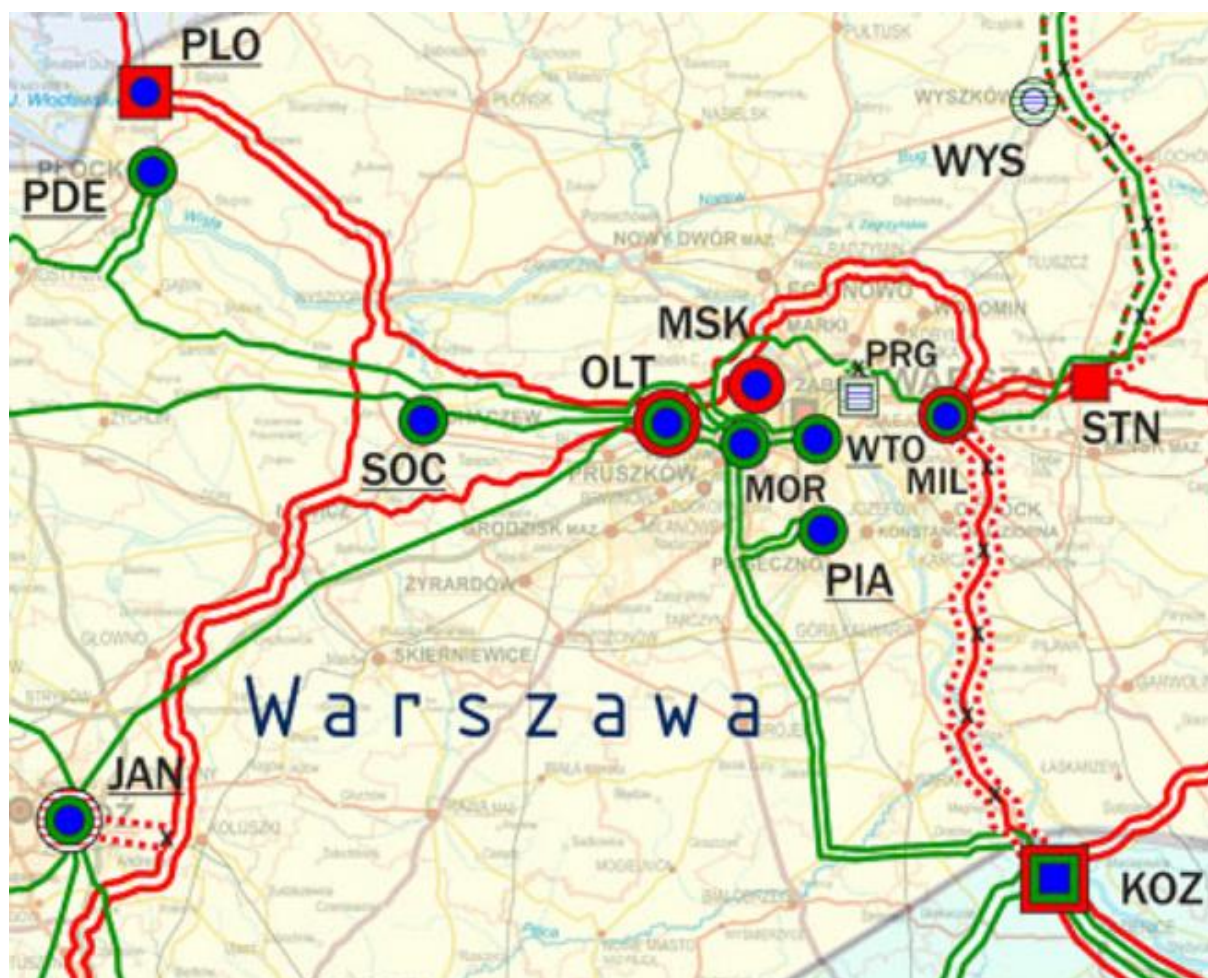
emisji spalin oraz zwiększeniu świadomości wśród odbiorców, wzrosły wymagania dotyczące wpływu środowiskowego, spowodowane produkcją energii elektrycznej.

Problematyczne okazuje się być akumulowanie energii elektrycznej. Powszechnie stosowane akumulatory są stosunkowo małej pojemności, są ciężkie oraz mało wydajne. Dzięki rozwojowi elektromobilności, prowadzone są prace nad stworzeniem nowoczesnych akumulatorów, które pozwoliłyby na poszerzenie spektrum zastosowania energii elektrycznej.

Sieć przesyłowa

Operatorem sieci przesyłowej w Polsce jest spółka PSE S.A. Działalność spółki obejmuje przede wszystkim przesył energii elektrycznej, eksploatację sieci przesyłowej oraz krajowy i zagraniczny obrót energią elektryczną. Ponadto PSE jest właścicielem sieci najwyższych napięć. Plan sieci przesyłowej najwyższych napięć przedstawiający obszar Miasta Pruszków oraz okolic przedstawiono na rysunku *Rysunek 4*.

Rysunek 4. Plan sieci przesyłowej najwyższych napięć miasta Pruszków i okolic



Źródło: Plan sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć, <https://www.pse.pl/obszary-dzialalnosci/krajowy-system-elektroenergetyczny/plan-sieci-elektroenergetycznej-najwyzszych-napiec>, data dostępu: 19.02.2020 r.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Sieć dystrybucyjna

Przez teren Miasta Pruszków przechodzą napowietrzne linie elektroenergetyczne 110 kV, będące własnością PGE Dystrybucja S. A. oddział w Warszawie.

Tabela 11 Stacje 110/15 kV zasilające teren Gminy

Lp.	Relacja linii	Rodzaj linii	Długość linii na terenie Gminy [km]	Ocena stanu technicznego (skala 1-5)
1	Piastów- Pruszków	Napowietrzna	3,981	4
2	Pruszków- Gąsin	Napowietrzna	3,080	4
3	Gąsin- Pruszków 2	Napowietrzna	3,217	4
4	Brwinów- Pruszków	Napowietrzna	7,648	4

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa, stan na 06.2014 r. oraz źródła internetowe.

Tabela 12 Stacje GPZ, zlokalizowane na terenie Miasta Pruszków

Lp.	Nazwa stacji	Napięcie w stacji	Zainstalowane transformatory 110/SN	Stopień obciążenia stacji		Stan techniczny rozdzielni 110kV (skala 1-5)	Rezerwa mocy	
		[kV]	[MVA]	[MW]	[%]		[MW]	[%]
1	PRU	110/15	16+25	25	61	2	0	0
2	GSN	110/15	10+16	8	31	5	2	20
3	PR-2	110/15	25+25	13	24	4	12	48

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa, stan na 06.2014 r. oraz źródła internetowe.

Założenia

Na podstawie udostępnionych danych, obliczeń przedstawionych w powyższych rozdziałach oraz wiedzy i doświadczenia z realizacji projektów o podobnym profilu, przyjęto następujące założenia do wariantowania.

Założenie 1.

W tym wariantcie zakładamy, że do 2028 r. w Pruszkowie będzie eksploatowana flota autobusów konwencjonalnych z normą emisji spalin co najmniej EURO 5 oraz flota autobusów elektrycznych.

Założenie 2.

Zakładamy, że zakupione pojazdy elektryczne zastąpią wyeksploatowany tabor konwencjonalny.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Założenie 3.

Analizie nie zostały poddane linie okrężne.

Założenie 4.

Maksymalna liczba autobusów na linii to maksymalna liczba autobusów w dobie roboczej na linii według udostępnionych danych.

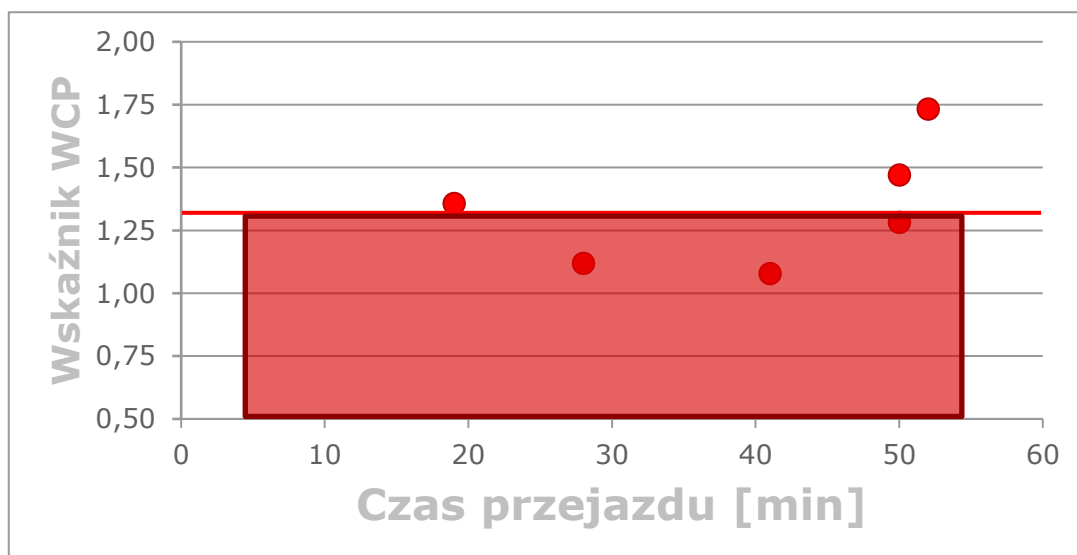
Linie wykorzystujące pojazdy elektryczne

W kroku nr 1 wyznaczamy linie o następujących parametrach:

- Minimalna długość linii wynosi 6 km,
- Wskaźnik czasu przejazdu WCP mniejszy niż 1,28 (mediana wskaźnika WCP dla analizowanych linii).

Zbiór warunków przedstawiono na poniższym wykresie.

Rysunek 12. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii, a długość linii



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

W kroku nr 2 dla wybranych linii sprawdzamy maksymalną liczbę autobusów na linii. Wynik przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 13. Zestawienie linii autobusowych do obsługi przez autobusy elektryczne w wariancie 1

Nr linii	Długość linii [km]	WCP	Maksymalna liczba autobusów na linii
2	18	1,28	2
3	11,5	1,12	2
4	22	1,08	2
Suma			6

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Linie 2, 3, 4 zostały wytypowane wg kryterium dotyczącego: długości tras, zagęszczenia przystanków, czasu przejazdu oraz liczby pojazdów na linii poza szczytem. Oznacza to, że wymagana przez ustawodawcę liczba 6 autobusów przewyższa rzeczywiste zapotrzebowanie na tabor elektryczny w Pruszkowie.

Działania i inwestycje wymagane do realizacji zadania

Na tym etapie analiz należy wspomnieć o kwestiach o znaczeniu zasadniczym dla Pruszkowa. Obecnie prowadzone działania mające na celu obniżenie zużycia energii w transporcie, mają sprzyjać jednoczesnemu obniżeniu kosztów operacyjnych – paliw i obsługi taboru. Jak opisano we wcześniejszych częściach raportu, tabor nisko- i zeroemisyjny cechuje się wyższą efektywnością energetyczną od tradycyjnego, zasilanego olejem napędowym. Dodatkowo koszty zużycia energii elektrycznej w ujęciu rocznym (przy uwzględnieniu stałego wzrostu cen, mając na uwadze tegoroczne negatywne trendy rynkowe) będą i tak niższe od tradycyjnych autobusów. Należy jednak mieć na uwadze, iż realizacja przedsięwzięć zakładających włączenie tego typu pojazdów do floty realizującej obowiązki przewozowe w ramach komunikacji miejskiej Pruszkowa wymaga przeprowadzenia szeregu strategicznych przedsięwzięć przygotowawczych. Niniejsza analiza kosztów i korzyści (AKK) swoim zakresem nie obejmuje wszystkich obszarów, które są istotne dla dalszego wprowadzania transportu opartego o tabor elektryczny. Analizując przekazane dane, na tę chwilę **wskazuje się i rekomenduje** potrzebę wykonania działań w zakresie:

1. Optymalizacji wykorzystania taboru autobusowego na liniach.

Uzasadnienie:

Przekazane dane wskazują na możliwość optymalizacji wykorzystania taboru w pewnych obszarach i specyficznych okresach czasowych . Wskazuje się, iż wykonanie działań optymalizacyjnych może przyczynić się do efektywnego wykorzystania taboru zeroemisyjnego na tych liniach, który nie posiada tak dużego zasięgu jak tradycyjny i/lub niskoemisyjny (CNG/LNG/hybryda).

2. Przygotowanie strategii rozwoju elektromobilności w Pruszkowie.

Uzasadnienie:

Analiza kosztów i korzyści (AKK) wskazuje jedynie proste wskaźniki opłacalności, jak również najważniejsze kwestie techniczne uwzględniając metodykę wskaźnikową JASPERS. Wyniki przeprowadzonych analiz stanowią pogląd i podstawę do planowania dalszych, szerszych działań w zakresie elektromobilności i mobilności niskoemisyjnej. W ramach tego typu opracowania należałoby wykonać analizę potencjalnego ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego wynikającą z przewidywanych działań. W zakresie analiz należy również zawrzeć techniczną analizą możliwości przyłączenia stacji ładowania do sieci, w miejscach przewidywanych lokalizacji stacji ładowania w perspektywie wieloletniej. Wyniki analiz zamieszczonych w „Strategii (...)” będą stanowić swoiste przygotowanie i bazę niezbędnej wiedzy, której wykorzystanie umożliwi odpowiednim decydom sporządzanie właściwej dokumentacji SIWZ na zakup pojazdów i stacji ładowania autobusów zeroemisyjnych – o parametrach odpowiednich dla realizacji komunikacji miejskiej w Pruszkowie.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

3. Opracowanie aktualizacji planu transportowego

Uzasadnienie:

Plan transportowy jako dokument strategiczny dla funkcjonowania komunikacji miejskiej dla całego obszaru Miasta stanowi jeden z dokumentów kluczowych, który po opracowaniu koncepcji strategii długoterminowych działań w zakresie zastosowania nowoczesnych technologii nisko i zero-emisyjnych musi zostać zaktualizowany o te kwestie.

Do zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na odpowiednich liniach obsługiwanych przez elektrobusey niezbędne będą stacje ładowania, dedykowane dla 4 autobusów elektrycznych (do 2028 roku). W takim wypadku do zadań i inwestycji niezbędnych do realizacji wymogu będą należeć m. in.:

- Zakup taboru zeroemisyjnego liczbie 4 sztuk do 2028 roku. Przyjęto, że nowo zakupione elektrobusey zastąpią dotychczas eksploatowane autobusy spalinowe charakteryzujące się największą emisyjnością (3 z normą EURO 4 i 1 z normą EURO 5),
- Zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji wolnego ładowania typu plug-in w zajezdni. W celu efektywnego ładowania pojazdów wymagane jest posiadanie znacznej liczby ładowarek, zwykle jednej na pojazd (dla urządzeń jedno stanowiskowych) lub jednej na dwa pojazdy (dla urządzeń dwustanowiskowych),
- Zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji szybkiego ładowania pantografowego na jednej z pętli. Zastosowanie ładowarek pantografowych na trasie linii obsługiwanych taborem elektrycznym przyczynia się do znaczącego zwiększenia pokonywanych kilometrów, przez co ogranicza się ryzyko zjazdu autobusu do zajezdni z powodu rozładowanych akumulatorów przed całodzienną realizacją zadania. Dodatkowym atutem jest możliwość zastosowania mniejszej liczby akumulatorów, co przekłada się na niższą masę pojazdów, większą pojemność autobusu, a także prowadzi do wolniejszej degradacji nawierzchni dróg i przystanków,
- Przystosowanie warsztatu do obsługi autobusów elektrycznych w zajezdni,
- Przeszkolenie personelu w zakresie obsługi ładowarek i systemu ładowania autobusów elektrycznych.

W kolejnej części przedstawiono harmonogram wymiany floty uwzględniający autobusy elektryczne, zgodnie z założeniami ustawy o elektromobilności.

Harmonogram wymiany floty

Autobusy elektryczne

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 14. Harmonogram wymiany floty na autobusy elektryczne zgodnie z założeniami Ustawy o Elektromobilności

do 2021	do 2023	do 2025	do 2028	Suma
1	1	1	1	4
8,33%	16,67%	25,00%	33,33%	-

Źródło: Opracowanie własne

Objaśnienia:

„%” - procent spełnienia wymogów ustawy, biorąc pod uwagę całkowitą liczbę autobusów równą 12.

Do dalszych analiz uwzględniono zakup autobusów elektrycznych do każdej granicznej daty, tak aby spełnić wszystkie kroki wskazane w ustawie i ostatecznie osiągnąć stan **30% w 2028 r.**

Szacowane zużycie energii

W analizie przyjęto, że autobusy elektryczne zużywają średnio 1,4 kWh/km. Na podstawie zebranych danych przyjęto roczny przebieg jednego pojazdu eksploatowanego na liniach komunikacji miejskiej Gminy Miasto Pruszków, który wynosi 61 000 km. Zestawiono to z wymogami ustawy o elektromobilności i harmonogramem wymiany taboru. Następnie wyznaczono roczne zużycie energii w zależności od liczby wykorzystywanych pojazdów elektrycznych zgodnie z ustawą.

Tabela 15. Szacowane zużycie energii elektrycznej przez autobusy zeroemisyjne w danym okresie

Rok	Roczny przejechany dystans przez tabor zeroemisyjny [km]	Roczne zużycie energii [MWh]
od 2021	61 000	85,4
od 2023	122 000	170,8
od 2025	183 000	256,2
od 2028	244 000	341,6

Źródło: Opracowanie własne.

Prognozowane zużycie paliwa

Poniżej przedstawiono prognozę zużycia paliwa dla taboru konwencjonalnego przy założeniu realizacji części pracy przewozowej przez tabor elektryczny.

Harmonogram wymiany floty w kolejnych latach w tym wariantcie zakłada, że zostaną zakupione autobusy elektryczne zgodnie z wymogami ustawy, które wykonają część pracy przewozowej dotychczas wykonywanej przez tabor konwencjonalny, w związku z tym zużycie paliwa (ON) będzie mniejsze w tym przypadku.

Prognoza opiera się na przeliczeniu pracy przewozowej na autobus równej 61 tys. km i wylczeniu zużycia paliwa w wysokości 35 l/100km przy cenach paliwa opisanych w roz. 4.3.1 pkt. 9 i 10.

Tabela 16 Koszty zakupu paliwa (ON) dla taboru konwencjonalnego – Wariant 1

Rok	Ilość autobusów konwencjonalnych	Zużycie paliwa (ON) przez tabor konwencjonalny [tys. l]	Koszty zakupu paliwa [mln PLN]
2020	12	256,20	1,063
2021	11	234,85	1,003
2022	11	234,85	1,033
2023	10	213,50	0,967
2024	10	213,50	0,997
2025	9	192,15	0,924
2026	9	192,15	0,951
2027	9	192,15	0,980
2028	8	170,80	0,897
2029	8	170,80	0,924
2030	8	170,80	0,951
2031	8	170,80	0,980
2032	8	170,80	1,009

Źródło: opracowanie własne

4.2.3. Wariant 2 – wprowadzenie pojazdów zasilanych CNG lub LNG

Analiza sieci gazowej

Na obszarze Gminy Miasta Pruszków nie przebiegają sieci wysokoprężne gazu ziemnego. Zaopatrzenie w gaz na poziomie średniego i niskiego ciśnienia jest obsługiwane przez Polską Spółkę Gazownictwa Sp. z o.o., oddział w Warszawie.

Do obowiązków spółki należą m.in.:

- Prowadzenie ruchu sieciowego w sposób skoordynowany i efektywny, z zachowaniem wymaganej niezawodności dostarczania paliw gazowych oraz ich jakości,
- Konserwacja, remonty oraz rozbudowa instalacji przesyłowych, magazynowych przy należnym poszanowaniu środowiska naturalnego,
- Dostarczanie każdemu operatorowi systemu: przesyłowego, magazynowego, dystrybucyjnego oraz systemu LNG dostatecznej ilości informacji gwarantujących możliwość prowadzenia transportu i magazynowania gazu ziemnego w sposób właściwy dla bezpiecznego i efektywnego działania połączonych systemów,

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Głównymi źródłami zasilania Pruszkowa w gaz ziemny są następujące stacje redukcyjno-pomiarowe wysokiego ciśnienia I stopnia:

- Stacja wysokiego ciśnienia „Reguły” o przepustowości 25 000 Nm³/h,
- Stacja wysokiego ciśnienia „Sokołów” o przepustowości 3 000 Nm³/h,
- Stacja wysokiego ciśnienia „Mory” o przepustowości 50 000 Nm³/h.

Rozprowadzenie gazu odbywa się za pomocą stacji redukcyjno – pomiarowych I-go stopnia, z których wyprowadzone są gazociągi średniego ciśnienia do stacji redukcyjno – pomiarowych II-go stopnia, skąd paliwo trafia bezpośrednio do odbiorców.

Pośrednim elementem infrastruktury dystrybucyjnej są stacje redukcyjno-pomiarowe II stopnia, skąd paliwo trafia bezpośrednio do odbiorców, zestawione w poniższej tabeli.

L.p.	Lokalizacja stacji	Przepustowość nominalna
1	„Szkoła” przy ul. Plantowej	600
2	„Osiedle” przy ul. 2-go Sierpnia	600
3	„Ostoja Ireny” przy ul. Ireny	200
4	„Ostoja Waldemara” przy ul. Waldemara	200
5	„Ostoja Zdzisława” przy ul. Zdzisława	200

Źródło: Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o. - pismo nr TRR-P-49/155723/2013 dnia 31.10.2013 r.

Stacje tankowania CNG/LNG – stan obecny i ocena potencjału

Linie wykorzystujące pojazdy napędzane gazem

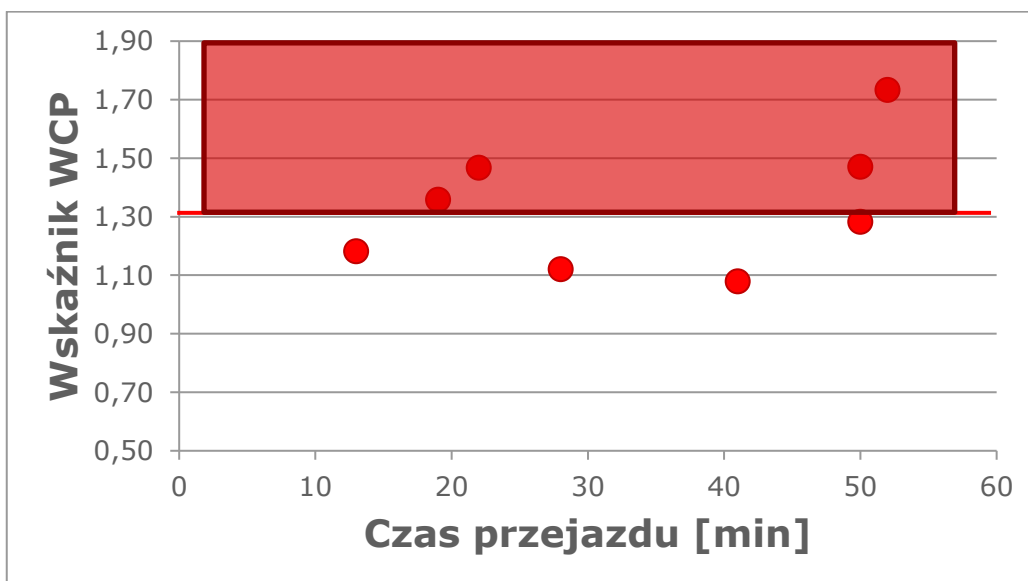
Założenia

Wyznaczamy linie o następujących parametrach:

- Minimalna długość linii wynosi 5 km,
- Wskaźnik czasu przejazdu WCP większy niż 1,28.

Zbiór warunków przedstawiono na poniższym wykresie.

Wykres 6. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii, a długość linii



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta Pruszkowa oraz źródła internetowe.

Wyznaczone linie autobusowe przedstawiono poniżej.

Tabela 17. Zestawienie linii autobusowych wg parametru WCP, a długość linii

Nr linii	Długość trasy	Wskaźnik czasu przejazdu
2BIS	6	1,36
3BIS	7,6	1,47
5	16,9	1,73
6	22,5	1,47

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych dostarczonych przez Urząd Miasta.

Według ustawy o elektromobilności Miasto Pruszków powinno do 2028 r. wprowadzić do eksploatacji 5 autobusów elektrycznych lub niskoemisyjnych. Autobusy niskoemisyjne mogą zastąpić pojazdy konwencjonalne bez potrzeby zmiany struktury ich kursowania. Rekomendowane jest użycie ich na trasie linii 5 oraz 3BIS ze względu, że jest to trasa okrężna, na której ładowanie pojazdów zaburzyłoby rozkład kursowania.

Działania i inwestycje wymagane do realizacji zadania

Do zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na odpowiednich liniach obsługiwanych przez autobusy gazowe niezbędne będzie wybudowanie stacji tankowania. W takim wypadku do zadań i inwestycji niezbędnych do realizacji zadania będą m. in.:

- Zakup taboru niskoemisyjnego w liczbie 4 sztuk łącznie do 2028 roku,
- Zakup, montaż urządzeń i budowa infrastruktury stacji tankowania sprężonego gazu oraz przyłączenie do sieci dystrybucyjnej (średniego ciśnienia) – inwestycja wykonana w obrębie stacji tankowania zlokalizowanej przy zajezdni,
- Przystosowanie warsztatu do obsługi autobusów gazowych w zajezdni,
- Przeszkolenie personelu w zakresie obsługi dystrybutorów tankowania gazu.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Harmonogram wymiany floty

Autobusy LNG/CNG

Tabela 18. Harmonogram wymiany floty – autobusy LNG/CNG

do 2021	do 2023	do 2025	do 2028	Suma
1	1	1	1	4
8,33%	16,67%	25,00%	33,33%	-

Źródło: Opracowanie własne

Objaśnienia:

„%” - procent spełnienia wymogów ustawy, biorąc pod uwagę całkowitą liczbę autobusów równą 12.

Do dalszych analiz uwzględniono zakup autobusów gazowych do każdej granicznej daty, tak aby spełnić wszystkie kroki wskazane w ustawie i ostatecznie osiągnąć stan **30% w 2028 r.**

Szacowane zużycie gazu

W analizie przyjęto, że autobusy gazowe zużywają średnio 52 m³ CNG na 100 km. Identycznie jak w poprzednim rozdziale przyjęto uśredniony roczny przebieg jednego pojazdu eksploatowanego na liniach komunikacji miejskiej Gminy Miasto Pruszków, który wynosi 61 000 km. Zestawiono to z wymogami ustawy o elektromobilności i harmonogramem wymiany taboru. Następnie wyznaczono roczne zużycie gazu w zależności od liczby wykorzystywanych pojazdów gazowych zgodnie z ustawą.

Tabela 19. Szacowane zużycie gazu ziemnego przez autobusy gazowe w danym okresie

Rok	Roczny przejechany dystans przez tabor niskoemisyjny [km]	Roczne zużycie gazu ziemnego [m ³]
od 2021	61 000	31 720
od 2023	122 000	63 440
od 2025	183 000	95 160
od 2028	244 000	126 880

Źródło: Opracowanie własne.

Prognozowane zużycie paliwa

Harmonogram wymiany floty w kolejnych latach w tym wariantcie zakłada, że zostaną zakupione autobusy zasilane CNG zgodnie z harmonogramem, tym samym jak w przypadku autobusów elektrycznych. Pojazdy te będą wykonywały część pracy przewozowej dotychczas wykonywanej przez tabor konwencjonalny, w związku z tym zużycie paliwa (ON) będzie mniejsze.

Prognoza opiera się na przeliczeniu pracy przewozowej na autobus równej 61 tys. km i wylczeniu zużycia paliwa w wysokości 35 l/100 km przy cenach paliwa opisanych w roz. 4.3.1 pkt. 9 i 10. Zestawienie zużywanego paliwa przez pojazdy konwencjonalne zostało przedstawione w tabeli Tabela 16.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Koszty eksploatacyjne oraz nakłady inwestycyjne

Koszt jednego autobusu napędzanego CNG to około 1,06 mln PLN netto³³. Koszty wybudowania stacji tankowania sprężonego gazu mieszczą się w przedziale od 400 tys. zł do 1 mln zł.³⁴ Koszt ten uwzględnia jedynie zakup i montaż wymaganej aparatury i urządzeń. Zakładając konieczność dzierżawy (wykupu) odpowiedniej działki, przygotowania terenu wokół obiektu oraz wybudowania infrastruktury dodatkowej koszt ten może wzrosnąć do 2 – 2,5 mln zł. Tankowania sprężonego gazu mogą dokonywać jedynie osoby posiadające odpowiednie uprawnienia wydane przez Urząd Dozoru Technicznego. Koszt uzyskania takich uprawnień kształtuje się na poziomie 350-440 zł.³⁵ Dodatkowym kosztem ponoszonym podczas tankowania CNG jest zużycie energii elektrycznej przez układ sprężarkowy. Na sprężenie 1 nm³ CNG z ok. 0,5 MPa do 20 MPa potrzebne jest 0,4 kWh.³⁶ Roczne zużycie energii elektrycznej na potrzeby tankowania 4 autobusów gazowych wynosi 63 038,5 kWh.

4.3. Analiza finansowo-ekonomiczna oraz analiza nakładów inwestycyjnych

Analiza finansowa została sporządzona dla całości systemu komunikacyjnego. Warianty w analizie rozpatrzono w zależności od inwestycji Gminy Miasto Pruszków w zakresie autobusów zeroemisyjnych.

W analizie finansowo-ekonomicznej uwzględniono zmiany w strukturze kosztów ponoszonych przez operatora w pruszkowskim systemie komunikacji miejskiej w zależności od kierunków rozwoju floty. Działania mające na celu spełnienie wymogów art. 36 ustawy z dn. 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych leżą po stronie podmiotów świadczących usługi komunikacji miejskiej.

Analiza finansowo-ekonomiczna powstała na podstawie danych udostępnionych przez Urząd Miasto Pruszków.

Poniższa analiza finansowa została sporządzona na okres 13 lat – od 2020 do 2032 r.

4.3.1. Założenia do analizy

W celu przeprowadzenia analizy finansowej zostały zastosowane następujące założenia:

1. Inflacja w poszczególnych latach osiąga wartości przedstawione w Tabeli 20.

Tabela 20. Prognozowana inflacja

Rok	2020	2021-...
Wartość [%]	2,8	2,6

³³ Ceny średnie rynkowe – analizy własne wykonane w dniu 14.02.2020 r.

³⁴ Źródło: Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych, 29.03.2017r

³⁵ <https://cng.auto.pl/2779/cng-sposob-na-kryzys/>

³⁶ [>](https://cng.auto.pl/2779/cng-sposob-na-kryzys/); wiedza ekspercka

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Źródło: https://www.nbp.pl/home.aspx?f=/polityka_pieniezna/dokumenty/projekcja_inflacji.html projekcja inflacji opublikowana 12 listopada 2019 r.

2. Stopa dyskonta równa 4%.
3. Do przeprowadzenia analizy przyjęto wartości netto. Wszystkie wyliczenia i wyniki przedstawione w tabelach bądź wykresach poniżej są przedstawione w wartościach netto.
4. Przyjęty czas amortyzacji autobusu:
 - Konwencjonalnego - 10 lat,
 - Elektrycznego – 12 lat,
 - Zasilanego CNG – 12 lat.

W związku z powyższym w obu wariantach przeanalizowano scenariusze finansowe. Zgodnie z harmonogramem w wariantcie 0 uwzględniono eksploatację autobusów konwencjonalnych, wariantcie 1 eksploatowane będą autobusy elektryczne oraz wariantcie 2 w którym od 2021 roku eksploatowane będą autobusy zasilane CNG. Ponadto w każdym z wariantów został uwzględniony zakup dwóch autobusów elektrycznych w 2022.

5. Poniższa analiza finansowa została sporządzona na okres 13 lat – od 2020 do 2032 r. Jest to spowodowane 12 letnim okresem eksploatacji autobusów elektrycznych - od roku wdrożenia pierwszych w 2021 do 2032 r. kiedy to przestaną być eksploatowane.
6. Koszt netto ładowarek (wartość niezmienna w każdym roku analizy):
 - Wolna ładowarka (40-90 kW) zajezdniowa plug-in – 106 tys. PLN,
 - Ładowarka pantografowa (400 kW) z budową stacji transformatorowej - 450 tys. PLN (w tym 340 tys. zł za zakup samej ładowarki pantografowej).
7. Roczne koszty serwisowe netto jednego autobusu w 2020 r. założono na poziomie³⁷ (wartość rosnąca w kolejnych latach zgodnie z inflacją przedstawioną w Tabela 53):
 - Autobus konwencjonalny – 12,5 tys. PLN,
 - Autobus zasilany CNG – 13,5 tys. PLN,
 - Autobus elektryczny – 11,05 tys. PLN.
8. Jeden autobus wykonuje średnio 60 000 km,³⁸
9. Średnia cena paliwa w 2019 r. wynosiła³⁹ :
 - ON – 4,03 PLN/l
 - CNG – 2,69 PLN/l (z uwagi na zniesienie akcyzy na CNG średnią obliczono za okres od sierpnia 2019 r.)

10. Na koszt zakupu paliwa wpływa wartość współczynnika zmienności cen paliwa, który osiąga wartości zgodnie z poniższą tabelą.

³⁷ „Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej”, Polski Kongres Paliw Alternatywnych, 2018, str. 11. Opracowanie zawierało wartości brutto z 2018 r. dlatego wartość netto została odpowiednio powiększona o inflację dla roku 2018 oraz 2019 podaną przez na witrynie internetowej NBP

³⁸ Na podstawie danych udostępnionych przez Urząd Miasta Pruszkowa

³⁹ PKN Orlen: <https://www.orken.pl/>

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 21 Współczynniki zmienności cen paliw

Rodzaj paliwa	Współczynnik zmienności cen paliwa [%]
ON	3,0
CNG	4,0

Źródło: średnia roczna cena EKO diesel wg PKN Orlen za rok 2019 oraz średnia cena CNG za lata 2018-2019

11. Cena energii elektrycznej w 2020 r. została oszacowana na poziomie 530 zł/MWh⁴⁰, a jej wzrost rok do roku przyjęto na poziomie 1%.
12. Zakup autobusów będzie w całości pokrywany przez operatora systemu komunikacyjnego – nie uwzględniono pozyskania żadnego rodzaju dofinansowania na zakup taboru alternatywnego.
13. Nie uwzględniono kosztów wymiany baterii akumulatorów - na podstawie informacji dotyczącej żywotności baterii LTO, obecnie rekomendowanych do wykorzystania w pojazdach komunikacji miejskiej, która wynosi min. 7 000 cykli ładowania. Wartość ta nie zostanie przekroczona w analizowanym okresie.
14. W roku 2021 zostaną zakupione 2 szt. autobusów elektrycznych, na co pieniądze zostały już pozyskane przez Urząd Miasta Pruszków,
15. W związku z postanowieniami pkt. 14 Urząd Miasta Pruszków odstępuje od realizacji celu ustawowego na rok 2021, gdyż w wyniku podjętych już działań zostanie zrealizowany bardziej wymagający cel na rok 2023, w ilości 10% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie.
16. Zakłada się, że zależność opisana w pkt. 15 umożliwi realizację celów strategicznych w perspektywie do roku 2024, tym samym w analizie przyjęto założenie pierwszego zakupu taboru na rzecz realizacji celu w 2024 roku, który potencjalnie mógłby zostać włączony do eksploatacji w 2025 r.
17. Kolejny zakup przyjęto w roku 2027 na rzecz realizacji celu w 2028, który wynosić powinien 30% udziału zeroemisyjnych autobusów we flocie.
18. Koszt netto autobusu w 2019 r.⁴¹ :
 - Konwencjonalnego 900 tys. PLN,
 - CNG 1,06 mln PLN,
 - Elektrycznego 1,95 mln PLN.

Czynnikami powodującym wzrost kosztów związanych z zakupem autobusów spalinowych jest wskaźnik inflacji. W przypadku autobusów elektrycznych ich cena będzie osiągać niższe wartości w wyniku rozwoju nowej technologii. W obliczeniach przyjęto, że cena autobusu elektrycznego będzie spadać rocznie o ok. 2,88%⁴². W wyniku tych zjawisk ceny autobusu konwencjonalnego i elektrycznego osiągną zbliżone wartości w 2031 r.

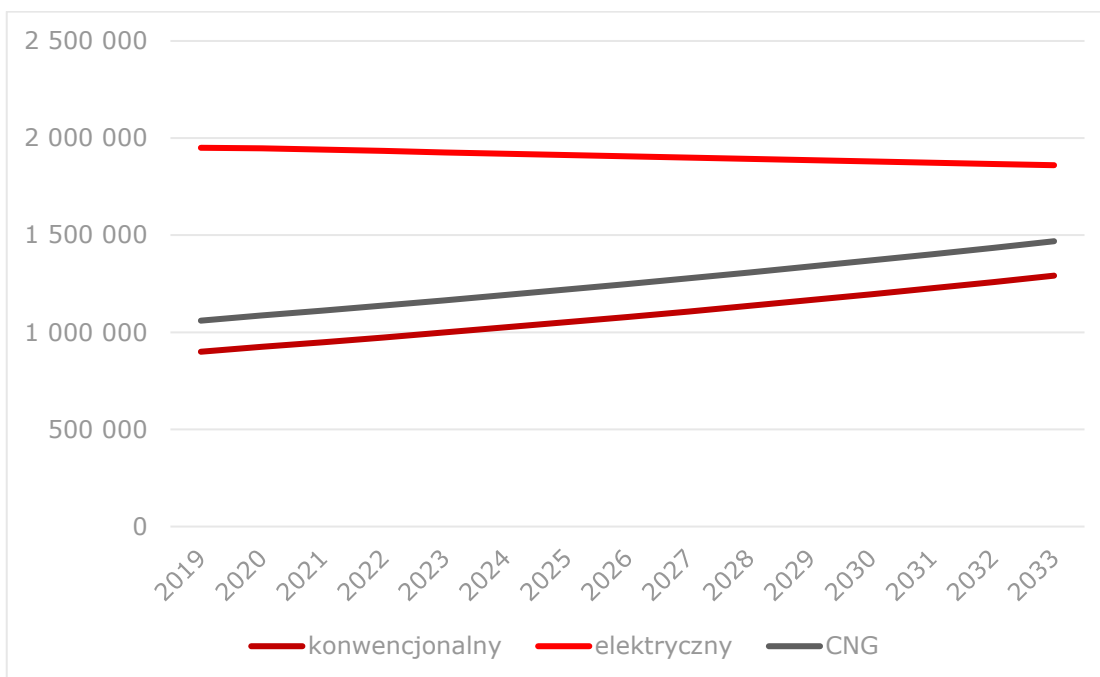
⁴⁰ Szacowania własne

⁴¹ Ceny średnie rynkowe – analizy własne wykonane w dniu 14.02.2020 r.

⁴² Założenie na podstawie średnich cen rynkowych z przetargów realizowanych dla Jednostek Samorządów Terytorialnych w latach 2017 –

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wykres 7 Zmienność cen netto poszczególnych rodzajów autobusów



Źródło: opracowanie własne

19. Założono, że realizacja transportu zeroemisyjnego rozpocznie się w roku 2022. Transport publiczny w Pruszkowie będzie realizowany m.in. przez dwa autobusy elektryczne zakupione w 2021 r. z dofinansowaniem ze środków unijnych (RPO WM). Założono, że autobusy te zastąpią najstarszy i najmniej ekologiczne autobusy konwencjonalne przewoźnika. Dzięki temu od 2022 r. transport publiczny będą realizowały 2 autobusy elektryczne oraz 10 autobusów konwencjonalnych. Zakup taboru elektrycznego w 2021 r. spełni wymogi ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych **aż do końca roku 2024**. Z uwagi na to, że niniejszej analizie finansowej został poddany zakup autobusów do potencjalnej realizacji celów w latach 2025 oraz 2028, do analiz przyjęto założenie, że zakup taboru musi nastąpić co najmniej w roku poprzedzającym faktyczną realizację obowiązku ustawowego (odpowiednio rok 2024 i 2027).

Tabela 22 Harmonogram wymiany floty

Rok	Ilość wymienionych autobusów na elektryczne (według przyjętych już działań inwestycyjnych)	Ilość wymienionych autobusów na nowe (wg analiz wariantowych)
2020	0	0
2021	0	0
2022	2	0
2023	0	0
2024	0	1
2025	0	0
2026	0	0

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

2027	0	1
2028	0	0

Źródło: opracowanie własne

20. Jako rok bazowy analizy finansowej przyjęto 2020 r.
21. W analizie pokazano istotne koszty rodzajowe: paliw (ON, CNG i energii elektrycznej), serwisu oraz amortyzacji.
22. Uwzględniono przychody ze:
- Sprzedaży biletów,
 - Porozumień międzygminnych.
23. Pozostałe wydatki (nieuwzględnione w poniższych rozdziałach) to wydatki związane utrzymaniem pozostałego taboru, koszty osobowe, usługi obce i inne.
- Koszty serwisowe oraz koszty zakupu paliwa dla pojazdów konwencjonalnych obliczono zgodnie z metodyką przedstawioną w rozdziale 4.3.2. Pozostałe wydatki ponoszone w 2020 r. wyznaczono jako różnicę między wynagrodzeniem dla PKS w Grodzisku Mazowieckim (wartość z umowy została powiększona dwukrotnie z uwagi na fakt iż umowa obowiązuje tylko do 30 czerwca 2020 r.) a rocznymi kosztami zakupu paliwa oraz kosztami serwisowymi. Uzyskana wartość w kolejnych latach uwzględniała tylko zjawisko inflacji.
- Koszty amortyzacji (od 2020 r.), koszty serwisowe oraz zakupu energii elektrycznej (od 2021 r.) dla autobusów elektrycznych zakupionych w bieżącym roku zostały obliczone zgodnie z metodyką przedstawioną w rozdziale 4.3.3. oraz uwzględniając 80% dofinansowania na zakup nowego rodzaju pojazdów. Dodatkowo założono, że w 2020 r. konieczny będzie zakup ładowarki pantografowej dla nowego rodzaju taboru, który nie był dofinansowany w ramach RPO WM. Koszt takiej inwestycji to ok. 450 tys. PLN.
24. Współczynnik FNPV (Finansowa wartość bieżąca netto inwestycji) wyznaczano na podstawie wzoru:

$$FNPV = \sum_{t=0}^n \frac{S_n^C}{(1+r)^n}$$

n – okres odniesienia (liczba lat) – 13

S_n^C – salda przepływów pieniężnych generowanych przez projekt w poszczególnych latach okresu odniesienia analizy

r – finansowa stopa dyskonta

Współczynnik ten obliczony został na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych - przychodów m.in. ze sprzedaży biletów i porozumień międzygminnych oraz wydatków związanych m.in. z prowadzeniem działalności przez operatora. Przyjęto zmiany wartości przepływów pieniężnych w całym okresie analizy (2020 – 2032 r.) wraz z inflacją, a następnie zdyskontowano o 4%. Współczynnik FNPV ma na celu określenie rentowności danego wariantu.

Gdy współczynnik FNPV osiągnie wartość mniejszą od 0, świadczy to o nierentowności danej inwestycji.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

4.3.2. Wariant 0 – utrzymanie stanu obecnego floty

Zestawienie kosztów

Wariant 0 zakłada utrzymanie stanu obecnego floty spalinowej, co będzie wiązało się z dalszym ponoszeniem kosztów ich eksploatacji, utrzymania oraz zakupu nowych pojazdów.

Nakłady inwestycyjne

Wymianie podlegać będą najstarsze autobusy na nowe pojazdy konwencjonalne, zgodnie z harmonogramem przedstawionym w punkcie 19 założeń znajdujących się w rozdziale 4.3.1.

Przy założeniu, że koszt tego typu autobusu w 2019 r. wynosił 900 tys. PLN w poniższej tabeli przedstawiono koszty zakupu taboru.

Tabela 23 Koszty zakupu nowego taboru- wariant 0

Rok	Liczba wymienionych autobusów [szt.]	Koszty zakupu nowego taboru [mln PLN]
2024	1	1,03
2025	0	0,00
2026	0	0,00
2027	1	1,11
2028	0	0,00

Źródło: opracowanie własne

Zakup dwóch autobusów konwencjonalnych w 2024 oraz 2027 r. będzie wiązał się z poniesieniem kosztów inwestycyjnych na poziomie 2,14 mln PLN.

Koszty eksploatacyjne

Głównymi czynnikami wpływającymi na wartość kosztów związanych z eksploatacją autobusów są: koszty serwisowe oraz koszty paliwa.

Koszty związane z zakupem paliwa (ON) do nowo zakupionych pojazdów konwencjonalnych wyznaczono zakładając, że autobus konwencjonalny pokonuje rocznie 61 tys. km. a jego zużycie paliwa wynosi 35 l/100 km.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 24 Koszty zakupu paliwa dla pojazdów wariantu 0

rok	zużycie ON przez nowy tabor [l]	Koszt 1 l oleju napędowego [PLN]	Koszt zakupu ON dla nowego taboru [PLN]
2024	21 350	4,67	99 705
2025	21 350	4,81	102 694
2026	21 350	4,95	105 683
2027	21 350	5,1	217 770
2028	42 700	5,25	224 175
2029	42 700	5,41	231 007
2030	42 700	5,57	237 839
2031	42 700	5,74	245 098
2032	42 700	5,91	252 357
		SUMA	1,72 mln PLN

Źródło: opracowanie własne

W analizowanym okresie łączne koszty zakupu paliwa dla nowych pojazdów konwencjonalnych wyniosą 1,72 mln PLN.

Zakładając, że roczne koszty serwisowe autobusu konwencjonalnego wynoszą w 2020 r. 12 tys. PLN (założono, że na tę wartość wpływa tylko zjawisko inflacji) wyznaczono koszty serwisowe nowo zakupionego taboru, które będzie musiał ponieść operator usług transportu publicznego.

Tabela 25 Koszty serwisowe dla wariantu 0

Rok	Koszty serwisowe [tys. PLN]
2024	13,88
2025	14,24
2026	14,61
2027	29,98
2028	30,76
2029	31,56
2030	32,38
2031	33,22
2032	34,08

Źródło: opracowanie własne

Infrastruktura zasilania

Z uwagi na fakt, że wariant 0 zakłada utrzymanie stanu obecnego floty – tj. zakup autobusów zasilanych olejem napędowym, poniższa analiza nie uwzględnia kosztów związanych z zakupem infrastruktury ładowania, przebudowy sieci dystrybuującej paliwa itp.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wskaźniki ekonomiczne

W poniższej tabeli zostały przedstawione całkowite koszty, które operator transportu publicznego musiałby ponieść w wyniku wymiany taboru na nowy zgodnie z harmonogramem. W całym okresie analizy suma kosztów zakupu paliwa (ON), kosztów serwisowych oraz kosztów zakupu nowego taboru wyniosłaby 3,96 mln PLN netto.

Tabela 26 Zestawienie kosztów – wariant 0 [PLN]

rok	zakup ON	koszty serwisowe	koszty zakupu nowego taboru	SUMA [mln]
2024	99705	13879	1 025 239	1,14
2025	102 694	14 239	0,00	0,12
2026	105 683	14 610	0,00	0,12
2027	108 885	14 990	1 107 305	1,23
2028	224 175	30 758	0,00	0,25
2029	231 007	31 558	0,00	0,26
2030	237 839	32 379	0,00	0,27
2031	245 098	33 221	0,00	0,28
2032	252 357	34 084	0,00	0,29
			SUMA	4,08

Źródło: opracowanie własne

Uwzględniając powyższe koszty oraz te, wynikające z funkcjonowania spółki oraz utrzymania pozostałego taboru (rozdział 4.3.1 punkt 23), przychody ze sprzedaży biletów oraz porozumień międzygminnych, wyznaczono wartość współczynnika FNPV (zgodnie ze wzorem znajdującym się w rozdziale 4.3.1 punkt 24). W omawianym wariantcie współczynnik ten osiągnął wartość równą - **25,2 mln PLN**. Ujemna wartość tego wskaźnika świadczy o nierentowności podejmowanych działań.

4.3.3. Wariant 1 – wykorzystanie pojazdów elektrycznych w ilości zapewniającej spełnienie wymogów ustawy

Wariant 1 zakłada zakup autobusów elektrycznych w celu spełnienia wymagań ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Wymagania te zostaną spełnione, gdy operator transportu publicznego zakupi autobusy elektryczne zgodnie z harmonogramem przedstawionym w punkcie 19 założeń znajdujących się w rozdziale 4.3.1. W poniższym rozdziale zostały przeanalizowane tylko autobusy elektryczne zakupione w 2024 oraz 2027 r.

Zestawienie kosztów

Nakłady inwestycyjne

Wymiana taboru

Wymianie podlegać będą najstarsze autobusy na autobusy elektryczne po jednym w każdym roku – 2024 oraz 2027.

Założono, że koszt autobusu elektrycznego wynosił w 2019 r. 1,95 mln PLN (analiza uwzględnia wzrost tych cen wraz z inflacją). W poniższej tabeli zostały przedstawione koszty związane z amortyzacją nowego taboru.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 27 Koszty zakupu nowego taboru- wariant 1

Rok	Liczba wymienionych autobusów [szt.]	Koszty zakupu nowego taboru [mln PLN]
2024	1	1,91
2025	0	0,00
2026	0	0,00
2027	1	1,89

Źródło: opracowanie własne

Zakup dwóch autobusów elektrycznych w 2024 oraz 2027 r. będzie wiązał się z poniesieniem kosztów inwestycyjnych na poziomie 3,82 mln PLN.

Infrastruktura zasilania

Nakłady inwestycyjne związane z zakupem oraz instalacją stacji ładowania typu plug-in to około 106 tys. PLN. Zakładając, że zajezdnia zostanie wyposażona w jeden punkt ładowania dla każdego autobusu do 2028 r. zostanie zakupione 2 ładowarki wolnego ładowania o łącznych kosztach zakupu 424 tys. PLN.

Nakłady inwestycyjne związane z modernizacją sieci dystrybucyjnej pod punkty ładowania wymagają określenia przez operatora sieci dystrybucyjnej warunków przyłączenia.

Założono, że nie jest konieczne kupowanie drugiej ładowarki pantografowej z uwagi na zakup takiej w 2020 r. wraz z dwoma autobusami elektrycznymi.

Koszt przyłącza elektrycznego

Cena wykonania przyłącza elektrycznego zależy od kilku czynników. Są to m. in.:

- Rodzaj przyłącza (kablowe przyłącza elektryczne, przyłącza napowietrzne),
- Długość przyłącza (standardowe posiadają do 200 m długości),
- Moc przyłączeniowa.

Za standardowe przyłącze elektroenergetyczne o długości do 200 m można zapłacić odpowiednio:

- Za kablowe przyłącze energii elektrycznej – 150-200 zł za każdy 1 kW mocy przyłączeniowej,
- Za napowietrzne przyłącze energetyczne – cena przyłącza waha się pomiędzy 100-140 zł za każdy 1 kW mocy przyłączeniowej.

Montaż przyłącza o ponadstandardowej długości (powyżej 200 m) wiąże się z dodatkowymi opłatami. W zależności od cen Operatora, może to być 50 – 80 PLN za każdy kolejny metr bieżący przyłącza. Ponadto należy uwzględnić koszty za układ pomiarowo-rozliczeniowy w przypadku przyłącza SN. Opłaty te zależą od indywidualnych warunków przyłączenia do sieci i ilości potrzebnych podzespołów elektrycznych.⁴³

Koszty eksploatacyjne

Głównymi czynnikami wpływającymi na wartość kosztów związanych z eksploatacją autobusów są: koszty serwisowe oraz koszty paliwa.

⁴³ Źródło: <https://kb.pl/porady/ile-kosztuje-przylacze-energetyczne-jakie-formalnosci-musisz-splnic/>

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Koszty związane z zakupem energii elektrycznej do zasilania nowo zakupionych pojazdów elektrycznych wyznaczono zakładając, że jeden autobus pokonuje rocznie 61 tys. km. a jego zużycie energii to 0,14 MWh/100 km.

Tabela 28 Koszty zakupu energii elektrycznej dla pojazdów wariantu 1

rok	zużycie energii elektrycznej przez nowy tabor [MWh]	Koszt 1 MWh energii elektrycznej [PLN]	Koszt zakupu energii elektrycznej dla nowego taboru [PLN]
2024	85,40	557,04	47 571
2025	85,40	562,61	48 047
2026	85,40	568,24	48 528
2027	170,80	573,92	49 013
2028	170,80	579,66	99 006
2029	170,80	585,46	99 997
2030	170,80	591,31	100 996
2031	170,80	597,22	102 005
2032	170,80	603,19	103 025
		SUMA	0,7 mln PLN

Źródło: opracowanie własne

W analizowanym okresie łączne koszty zakupu paliwa dla nowych pojazdów konwencjonalnych wyniosą 0,7 mln PLN.

Zakładając, że roczne koszty serwisowe autobusu elektrycznego wynoszą w 2020 r. 11,05 tys. zł (założono, że na tę wartość wpływa tylko zjawisko inflacji) wyznaczono koszty serwisowe nowo zakupionego taboru, które będzie musiał ponieść operator usług transportu publicznego.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 29 Koszty serwisowe dla wariantu 1

Rok	Koszty serwisowe [tys. PLN]
2024	12,27
2025	12,59
2026	12,92
2027	26,50
2028	27,19
2029	27,9
2030	28,62
2031	29,37
2032	30,13

Źródło: opracowanie własne

Wskaźniki ekonomiczne

W poniższej tabeli zostały przedstawione całkowite koszty, które operator transportu publicznego musiałby ponieść w wyniku wymiany taboru na nowy – zasilany energią elektryczną, zgodnie z harmonogramem. W całym okresie analizy suma kosztów zakupu energii elektrycznej, kosztów serwisowych, kosztów zakupu nowego taboru oraz kosztów dodatkowych (zakup ładowarek wolnego i szybkiego ładowania) wyniosłaby 4,99 mln PLN netto.

Tabela 30 Zestawienie kosztów – wariant 1 [PLN]

rok	zakup energii elektrycznej	koszty serwisowe	Koszty zakupu nowego taboru	koszty dodatkowe	SUMA [mln]
2024	47 571	12 269	1 919 872	106 000	1,84
2025	48 047	12 588	0	0	0,06
2026	48 528	12 915	0	0	0,06
2027	49 013	13 251	1 899 798	106 000	1,63
2028	99 006	27 190	0	0	0,13
2029	99 997	27 897	0	0	0,13
2030	100 996	28 623	0	0	0,13
2031	102 005	29 367	0	0	0,13
2032	103 025	30 131	0	0	0,13
				SUMA	4,99

Źródło: opracowanie własne

Uwzględniając powyższe koszty oraz te, wynikające z funkcjonowania spółki oraz utrzymania pozostałego taboru (roz. 4.3.1 punkt 23), przychody ze sprzedaży biletów oraz porozumień międzygminnych, wyznaczono wartość współczynnika FNPV (zgodnie ze wzorem znajdującym się w

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

roz. 4.3.1 punkt 24). W omawianym wariantcie współczynnik ten osiągnął wartość równą – **32 mln PLN**. Ujemna wartość tego wskaźnika świadczy o nierentowności podejmowanych działań.

Źródła finansowania

Rozwój transportu zeroemisyjnego wymaga wysokich nakładów infrastrukturalnych, zarówno w zakresie zakupu autobusów elektrycznych, jak i stacji ładowania. Pomocą dla jednostek samorządu terytorialnego w realizacji zakupów związanych z wprowadzeniem elektromobilności są programy oraz możliwości pozyskania dofinansowania. Jednym z nich może być Fundusz Niskoemisyjnego Transportu⁴⁴, którego zakres dofinansowania obejmuje „Wsparcie finansowe dla JST w zakresie wprowadzenia transportu niskoemisyjnego”. Fundusz rozpoczął działalność 01.01.2019 r.⁴⁵ W ramach jego działania można uzyskać wsparcie sięgające nawet 55% kosztów, ale nie więcej niż 1 mln 45 tys. PLN na jeden autobus elektryczny⁴⁶.

4.3.4. Wariant 2 – wykorzystanie pojazdów zasilanych CNG

Wariant 2 zakłada zakup autobusów zasilanych CNG zgodnie z harmonogramem przedstawionym w punkcie 19 założeń znajdujących się w rozdziale 4.3.1.

Zestawienie kosztów

Nakłady inwestycyjne

Przy założeniu, że koszt tego typu autobusu w 2019 r. wynosił 1,06 tys. PLN w poniższej tabeli przedstawiono koszty zakupu nowo zakupionego taboru

Tabela 31 Koszty zakupu nowego taboru- wariant 2

Rok	Liczba wymienionych autobusów [szt.]	Koszty zakupu nowego taboru [mln PLN]
2024	1	1,19
2025	0	0,00
2026	0	0,00
2027	1	1,28

Źródło: opracowanie własne

Zakup dwóch autobusów zasilanych CNG w 2024 oraz 2027 r. będzie wiązał się z poniesieniem kosztów inwestycyjnych na poziomie 2,47 mln PLN.

Koszty eksploatacyjne

Głównymi czynnikami wpływającymi na wartość kosztów związanych z eksploatacją autobusów są: koszty serwisowe oraz koszty paliwa.

⁴⁴ <https://www.gov.pl/web/energia/fundusz-niskoemisyjnego-transportu>

⁴⁵ Art. 7 pkt 1 i 2, pkt 4 lit. b i pkt 5 lit. c oraz d ustawy o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw wchodzi w życie od 1 stycznia 2019 r.

⁴⁶ <https://www.money.pl/gospodarka/rzad-doplaci-nawet-36-tys-zl-do-auta-na-prad-jest-warunek-6349520098977921a.html>

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Koszty związane z energią elektryczną do nowo zakupionych pojazdów zasilanych CNG wyznaczono zakładając, że jeden autobus pokonuje rocznie 61 tys. km. a jego zużycie energii 52 m³/100 km.

Tabela 32 Koszty zakupu energii elektrycznej dla pojazdów wariantu 2

rok	zużycie CNG przez nowy tabor [m ³]	Koszt 1 m ³ CNG [PLN]	Koszt zakupu CNG dla nowego taboru [PLN]
2024	31 720	3,28	104 042
2025	31 720	3,41	108 165
2026	31 720	3,55	112 606
2027	63 440	3,69	234 094
2028	63 440	3,84	243 610
2029	63 440	3,99	253 126
2030	63 440	4,15	263 276
2031	63 440	4,32	274 061
2032	63 440	4,49	284 846
		SUMA	1,88 mln PLN

Źródło: opracowanie własne

W analizowanym okresie łączne koszty zakupu paliwa dla nowych pojazdów wyniosą 1,88 mln PLN.

Zakładając, że roczne koszty serwisowe autobusu zasilanego CNG wynoszą w 2020 r. 13,5 tys. PLN (założono, że na tę wartość wpływa tylko zjawisko inflacji) wyznaczono koszty serwisowe nowo zakupionego taboru, które będzie musiał ponieść operator usług transportu publicznego.

Tabela 33 Koszty serwisowe dla wariantu 2

Rok	Koszty serwisowe [tys. PLN]
2024	14,99
2025	15,38
2026	15,78
2027	32,38
2028	33,22
2029	34,08
2030	34,97
2031	35,88
2032	36,81

Źródło: opracowanie własne

Wskaźniki ekonomiczne

W poniższej tabeli zostały przedstawione całkowite koszty, które operator transportu publicznego musiałby ponieść w wyniku wymiany taboru na nowy – zasilany CNG, zgodnie z

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

harmonogramem. W całym okresie analizy suma kosztów zakupu paliwa (CNG), kosztów serwisowych, kosztów zakupu nowego taboru oraz kosztów dodatkowych (zakup ładowarek wolnego i szybkiego ładowania) wyniosłaby 4,41 mln PLN netto.

Tabela 34 Zestawienie kosztów – wariant 2 [PLN]

rok	zakup energii elektrycznej	koszty serwisowe	Koszty zakupu nowego taboru	SUMA [mln]
2024	104 042	14 989	1 192 485	1,31
2025	108 165	15 379	0	0,12
2026	112 606	15 778	0	0,13
2027	234 094	32 377	1 278 303	1,54
2028	243 610	33 219	0	0,28
2029	253 126	34 083	0	0,29
2030	263 276	34 969	0	0,30
2031	274 061	35 878	0	0,31
2032	284 846	36 811	0	0,32
			SUMA	4,60

Zródło: opracowanie własne

Uwzględniając powyższe koszty oraz te, wynikające z funkcjonowania spółki oraz utrzymania pozostałego taboru (roz. 4.3.1 punkt 23), przychody ze sprzedaży biletów oraz porozumień międzygminnych, wyznaczono wartość współczynnika FNPV (zgodnie ze wzorem znajdującym się w roz. 4.3.1 punkt 24). W omawianym wariantcie współczynnik ten osiągnął wartość równą – **27,3 mln PLN**. Ujemna wartość tego wskaźnika świadczy o nierentowności podejmowanych działań.

4.3.5. Podsumowanie

Analiza finansowa wykazała mniejszą opłacalność inwestycji w autobusy zasilane paliwami alternatywnymi niż zakup (w takiej samej ilości) nowych pojazdów zasilanych olejem napędowym. Wskaźniki NPV dla wariantów na przestrzeni lat 2020-2032 wyniosą odpowiednio:

- **W0: -25 217 351 PLN,**
- **W1: -31 987 442 PLN,**
- **W2: -27 276 195 PLN.**

W przypadku autobusów konwencjonalnych zakup paliwa umożliwiającego im realizację określonej liczby wkm wiąże się z poniesieniem ponad dwukrotnie wyższych kosztów niż w przypadku wariantu 1 – 1,72 mln PLN. W przypadku wariantu 2 koszty zakupu paliwa (CNG) są najwyższe i wynoszą 1,88 mln PLN. W tym miejscu należy zaznaczyć, że relatywnie niskie zużycie paliwa przez autobusy konwencjonalne może być efektem małej liczby pokonywanych tzw. „trudnych kilometrów” tzn. realizowania pracy przewozowej w warunkach skrajnie determinujących wysokie użycie paliwa. Tym samym przyjęto również proporcjonalnie wyższe (na podstawie danych źródłowych) zużycie CNG w proponowanych autobusach.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Różnica pomiędzy kosztami zakupu nowego taboru dla wariantu 0 i wariantu 1 wynosi 1,07 mln PLN w całym okresie eksploatacji. Natomiast w przypadku wariantu 0 oraz wariantu 2 różnica ta wynosi 338 tys. PLN.

Najkorzystniejszy pod względem finansowym jest wariant 0 – zakup autobusów konwencjonalnych. Najgorzej przedstawia się wariant 1 – zakup autobusów elektrycznych, dla którego w analizowanym okresie należy ponieść najwyższe koszty związane z zakupem nowego taboru, przy jednocześnie niskim koszcie utrzymania i zakupu energii elektrycznej (w stosunku do oleju napędowego i gazu ziemnego).

Tabela 35 Koszty związane z zakupem nowego taboru

Wariant	Koszty [mln PLN]
Wariant 0	4,08
Wariant 1	4,6
Wariant 2	4,99

Źródło: opracowanie własne

4.4. Analiza społeczno-ekonomiczna

4.4.1. Szacowanie efektów środowiskowych

Emisje

Emisja szkodliwych dla środowiska substancji zależy głównie, w przypadku transportu, od rodzaju napędu. Jednym z istotnych aspektów realizacji inwestycji jest obniżenie emisji zanieczyszczeń w niższych warstwach atmosfery poprzez wykorzystanie jak największej liczby pojazdów zero- lub niskoemisyjnych. Do analizy efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji wykorzystano współczynniki emisji wytwarzanej przez autobusy spalinowe, CNG i elektryczne. Wartości te zostały uzyskane zgodnie z danymi opublikowanymi przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych (dalej CUPT) w Kalkulatorze emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego⁴⁷.

Dane te uwzględniają:

- Wielkość emisji gazów cieplarnianych CO₂ emitowanych przez autobusy spalinowe bądź gazowe, a które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji tylko globalnie podczas produkcji energii elektrycznej,
- Wielkości emisji (NO_x, NHMC/NMVOC, PM_{2,5}) emitowanych przez autobusy spalinowe bądź gazowe do niższych warstw atmosfery, które przy eksploatacji autobusów elektrycznych nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji tylko globalnie podczas produkcji energii elektrycznej,

⁴⁷ <https://www.cupt.gov.pl/wdrazanie-projektow/analiza-kosztow-i-korzysci/aktualnosci/1204-04-07-2018-aktualizacja-tablic-kosztow-jednostkowych-do-wykorzystania-w-analizach-kosztow-i-korzysci>

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- Wielkości emisji dwutlenku siarki SO₂, przewidywanych tylko dla autobusów elektrycznych, które są wytwarzane podczas produkcji energii elektrycznej w elektrowniach.

Wskaźniki emisyjności CO₂ przedstawione w kalkulatorze emisji CUPT dla elektrobusesów bazują na wskaźnikach pochodzących z opracowania EIB Carbon Footprint z 2012 r. Wykorzystano przy tym zaktualizowane dane, pozwalające na dokładniejsze zamodelowanie emisji: zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. „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 2016 rok”, wskaźnik emisyjności CO₂ w Polsce zmienił się do czasu powstania opracowania. W związku z tym, na potrzeby niniejszego opracowania uwzględniono wartość emisji przy produkcji energii elektrycznej właśnie z tego opracowania. Wskaźniki emisyjności gazów innych niż cieplarniane wyznaczone w kalkulatorze emisji CUPT dla elektrobusesów, bazując na wskaźnikach opublikowanych w opracowaniu RICARDO-AEA⁴⁸ z 2014 r. Podobnie, zgodnie z treścią opracowania KOBIZE pn. „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 2016 rok”, wskaźniki emisyjności SO₂, NO_x, PM_{2,5} w Polsce uległy zmianie od roku 2016. W tym przypadku również zmieniono źródło pozyskania danych wartości emisji przy produkcji energii elektrycznej. Współczynniki emisji generowanej przez autobusy spalinowe i gazowe uzyskano na podstawie wyżej przedstawionego źródła określającego wartości emisji poszczególnych substancji w zależności od normy EURO, którą dany tabor spełnia. W kolejnym etapie poszczególne współczynniki emisji przemnożono przez pracę przewozową danego typu taboru, a następnie przeanalizowano dla okresu eksploatacji autobusów. Przyjęto, że zarówno elektrobusesy jak i autobusy gazowe eksploatowane są przez 12 lat. W związku z tym okres analizy rozpoczęto od momentu wprowadzenia taboru zero- bądź niskoemisyjnego w 2021 roku do 2032 roku, kiedy skończy się czas eksploatacji pierwszych wprowadzonych pojazdów. normę emisji spalin EURO 4. Dodatkowo zostanie wymieniony jeden pojazd z normą EURO 5. W zależności od wariantu zostaną zastąpione autobusami CNG o normie emisji EURO 6 lub autobusami elektrycznymi.

Tabela 36 przedstawia wartości wskaźników emisyjności wykorzystanych w analizie społeczno-ekonomicznej. Na podstawie danych do obliczeń emisyjnych przyjęto, że wymianie ulegną autobusy kursujące na terenie Pruszkowa, które charakteryzują się największą emisyjnością. 3 sztuki posiadają normę emisji spalin EURO 4. Dodatkowo zostanie wymieniony jeden pojazd z normą EURO 5. W zależności od wariantu zostaną zastąpione autobusami CNG o normie emisji EURO 6 lub autobusami elektrycznymi.

Tabela 36. Wartości wskaźników emisyjności wykorzystanych w analizie społeczno-ekonomicznej.⁴⁹

Rodzaj pojazdu	Jednostkowa emisja zanieczyszczeń [g/km]				
	CO ₂	SO ₂	NMHC/NMVOC	NO _x	PM

⁴⁸ <https://ricardo.com/investors/financial-reporting/annual-reports/2014/annual-report-2013%E2%80%932014>

⁴⁹ <https://www.cupt.gov.pl/kalkulator>, stan na dzień 10.12.2018 r.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Autobus Diesel	EURO 4	938,000	0,00	1,610	12,250	0,070
Autobus Diesel	EURO 5	938,000	0,00	1,610	7,000	0,070
Autobus CNG	EURO 6	861,064	0,00	0,620	1,907	0,000
Autobus elektryczny		1 184,400	1,182	0,007	1,190	0,076

Zródło: Opracowanie własne na podstawie „Kalkulator emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego”, Centrum Unijnych Projektów Transportowych oraz „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 2016 rok”.

Autobusy elektryczne odpowiadają za emisje gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji w ilości zgodnej z tabelą powyżej. W takim wypadku na wielkość emisji wpływa jedynie liczba przejechanych kilometrów w jednostce czasu. Nie generują one jednak spalin i zanieczyszczeń bezpośrednio w miejscu eksploatacji, ale efekt ich pracy przeniesiony jest w miejsca produkcji energii elektrycznej, czyli do elektrowni lub elektrociepłowni znajdujących się poza strefami zamieszkałymi. Oznacza to, że wprowadzenie elektrobusesów lokalnie do Pruszkowa spowoduje przeniesienie emisji poza obszar miejski do jednostek wytwórczych energii elektrycznej znajdujących się na terenie kraju. Można zatem przyjąć, że emisja jaką generowałyby autobusy konwencjonalne zastąpione elektrobusesami, w całości uległaby zmniejszeniu do zera na terenie Pruszkowa.

Hałas

Hałasem określa się każdy dźwięk, który może być szkodliwy dla zdrowia lub niebezpieczny z innych względów, zwykle o dużym natężeniu, częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak i psychiczny człowieka. Do wykonania analizy kosztów emitowanego hałasu przez tabor spalinowy, gazowy i elektryczny założono zindeksowaną jednostkową cenę za hałas typowy dla autobusów, wskazaną w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT. Przy szacowaniu efektów hałasu uwzględniono:

- Koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT w oparciu o opracowanie Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO AEA 2014),
- Średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów, a także uwzględnienie w jakich porach doby kursują autobusy,
- Obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych oraz obniżenie poziomu hałasu przez autobusy gazowe o 10%.

Wskaźniki ekonomiczne

Analizę przeprowadzono w oparciu o „Niebieską Księgę - Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach”. Dokonując analizy ekonomicznej, a zarazem porównując warianty brane pod uwagę, przyjęto następujące założenia:

- Wskaźniki efektywności ekonomicznej wyliczono metodą różnicową,
- Społeczna stopa dyskontowa wynosi 4%,
- Analiza została przeprowadzona w 12-letnim (od 2021 do 2032 roku) okresie eksploatacji taboru spalinowego, zero- i niskoemisyjnego,

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- Średnia roczna liczba kilometrów przejechanych przez autobus w Pruszkowie wynosi 61 000⁵⁰,
- Zużycie energii elektrycznej przez autobus elektryczny założono jak w przypadku analizy finansowej, czyli na poziomie 1,4 kWh/km,
- Spalanie gazu przez autobus CNG założono tak jak w przypadku analizy finansowej, czyli na poziomie 52 m³/100 km,
- Wycenę kosztów i korzyści dokonano w wartościach netto.

W celu dokonania oceny ekonomicznej analizowanych wariantów wymiany taboru obliczono ekonomiczne wskaźniki efektywności:

- Ekonomiczną wartością bieżącą netto (ENPV),
- Relację korzyści do kosztów (B/C).

W obliczeniu wskaźników ekonomicznych uwzględniono następujące elementy:

- Skorygowane nakłady inwestycyjne oraz odtworzeniowe,
- Skorygowane koszty eksploatacyjne,
- Koszty ekonomiczne,
- Korzyści ekonomiczne.

4.4.2. Wariant 0 – utrzymanie stanu obecnego floty

Oszacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego

W tabeli Tabela 37 przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor spalinowy w liczbie odpowiadającej wymianie taborowej zgodnej z ustawą o elektromobilności dla okresu objętego analizą, tj. 1 autobus spalinowy od 2021, 2 od 2023 itd. Umieszczono w niej także opłaty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano, wymnażając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów spalinowych z ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie wymnożono emisje ze współczynnikami kosztowymi z kalkulatora wielkości emisji, dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

Tabela 37. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru spalinowego oraz opłaty z tym związane.

Związek chemiczny	Emisja w ciągu 12 lat [t]	Opłaty emisyjne w ciągu 12 lat [tys. PLN]
CO ₂	2 002,630	426,860
SO ₂	0,000	0,000
NMHC/NMVOC	3,437	40,640
NO _x	26,154	2 475,565
PM	0,149	233,193
SUMA	-	3 176,257

Źródło: Opracowanie własne

⁵⁰ Na podstawie danych przekazanych przez UM Pruszków

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W trakcie eksploatacji autobusów spalinowych dwutlenek węgla jest wytwarzany w największej ilości (2 003 t). Największe opłaty środowiskowe wynikają z emisji NO_x. Dla okresu objętego analizą będzie to 2,476 mln PLN. W przypadku silników spalinowych nie występuje emisja SO₂. Sumaryczne opłaty środowiskowe z tytułu eksploatacji taboru spalinowego (3 pojazdy z normą EURO 4 i 1 z normą EURO 5) wyniosą 3,176 mln PLN.

Koszty związane z emitowanym hałasem przez wskazany tabor spalinowy dla okresu objętego analizą wyniosą 804 tys. PLN.

4.4.3. Wariant 1 – wykorzystanie pojazdów elektrycznych w liczbie umożliwiającej spełnienie wymogów ustawy

Szacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego

W tabeli Tabela 41 przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor zeroemisyjny dla okresu objętego analizą. Umieszczono w niej także opłaty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano, wymnażając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów elektrycznych z ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie wymnożono emisje ze współczynnikami kosztowymi z kalkulatora wielkości emisji, dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

Tabela 38. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru zeroemisyjnego oraz opłaty z tym związane.

Związek chemiczny	Emisja w ciągu 12 lat [t]	Opłaty emisyjne w ciągu 12 lat [PLN]
CO ₂	2 528,694	538,990
SO ₂	2,524	256,665
NMHC/NMVOC	0,015	0,177
NO _x	2,541	240,483
PM	0,162	253,181
SUMA	-	1 289,497

Źródło: Opracowanie własne

W tabeli Tabela 39 zestawiono wyniki z tabeli Tabela 41 z emisją i kosztami środowiskowymi jakie generują pojazdy spalinowe (Tabela 37) po czym uzyskano zmniejszenie emisji oraz zysk środowiskowy.

Tabela 39. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego oraz zysk środowiskowy z tym związany.

Związek chemiczny	Zmniejszenie emisji po wprowadzeniu wariantu 1 [t]	Zysk kosztowy po wprowadzeniu wariantu 1 [PLN]
CO ₂	-526,064	-112,130
SO ₂	-2,524	-256,665
NMHC/NMVOC	3,422	40,463

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

NO _x	23,613	2 235,081
PM	-0,013	-19,988
SUMA	-	1 886,761

Źródło: Opracowanie własne

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów elektrycznych przyniesie ponad 1,887 mln PLN zysku wynikającego ze zmniejszenia kosztów środowiskowych. W głównej mierze przyczyni się do tego ograniczenia emisji NO_x, która zostanie ograniczona w największej ilości (23,6 ton). Przyniesie to około 2,235 mln PLN zysku środowiskowego. Koszty emisji niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC zostaną ograniczone o około 0,04 mln PLN. Zwiększy się natomiast wytwarzanie SO₂, PM i CO₂. Należy tu podkreślić, iż według wskaźników emisji, elektrobuses także są odpowiedzialne za emisję, jednakże odbywa się to w miejscach produkcji energii elektrycznej (w elektrowniach lub elektrociepłowniach). Dodatkowe koszty związane z emisją SO₂, CO₂ i PM za pośrednictwem elektrobuses wyniosą 0,389 mln PLN.

Koszty związane z emitowanym hałasem przez tabor elektryczny dla okresu objętego analizą wyniosą 587 tys. PLN. Jest to o 218 tys. PLN mniej w stosunku do kosztów związanych z emisją hałasu przez autobusy spalinowe.

Wskaźniki ekonomiczne

Wskaźniki obliczono na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowano. Ekonomiczną wartość bieżącą netto wyliczono na podstawie finansowej wartości bieżącej netto skorygowanej o zyski środowiskowe związane ze zmniejszeniem emisji. Relację korzyści do kosztów uzyskano natomiast na podstawie zestawienia wszystkich przychodów związanych z prowadzeniem działalności z uwzględnieniem korzyści środowiskowych z sumą kosztów jakie są ponoszone.

Tabela 40. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 1.

Wskaźnik	Wartość
ENPV [mln PLN]	-35,25
B/C	0,2555

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne w wariantcie 1 jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną (-35,25 mln PLN), a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1 i wynosi 0,256.

4.4.4. Wariant 2 – wykorzystanie pojazdów zasilanych CNG/LNG

Szacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego

W tabeli poniżej przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor niskoemisyjny gazowy dla okresu objętego analizą. Umieszczono w niej także opłaty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano, wyznaczając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów elektrycznych z ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie wymnożono emisje

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

ze współczynnikami kosztowymi z kalkulatora wielkości emisji, dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

Tabela 41. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru gazowego oraz opłaty z tym związane.

Związek chemiczny	Emisja w ciągu 12 lat [t]	Opłaty emisyjne w ciągu 12 lat [PLN]
CO ₂	1 838,372	391,848
SO ₂	0,00	0,00
NMHC/NMVOC	1,323	15,642
NO _x	4,071	385,312
PM	0,000	0,000
SUMA	-	792,802

Źródło: Opracowanie własne

W tabeli Tabela 42 przedstawiono wyniki uzyskanego zmniejszenia emisji oraz korzyści środowiskowych.

Tabela 42. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru gazowego oraz zysk środowiskowy z tym związany.

Związek chemiczny	Zmniejszenie emisji po wprowadzeniu wariantu 2 [t]	Zysk kosztowy po wprowadzeniu wariantu 2 [PLN]
CO ₂	164,258	35,012
SO ₂	0,00	0,00
NMHC/NMVOC	2,114	24,998
NO _x	22,083	2 090,252
PM	0,149	233,193
SUMA	-	2 383,455

Źródło: Opracowanie własne

Wykorzystanie autobusów gazowych wpłynie na osiągnięcie około 2,383 mln PLN zysku wynikającego ze zmniejszenia kosztów środowiskowych. W największym stopniu ograniczeniu ulegnie wytwarzanie CO₂ (164,3 ton). Jednak największe korzyści zostaną uzyskane z tytułu zmniejszonej emisji NO_x co wyniesie 2,09 mln PLN. Eksploatacja taboru gazowego spowoduje brak emisji cząstek stałych PM oraz dwutlenku siarki SO₂. W związku z tym koszty emisji cząstek stałych PM ulegną obniżeniu o około 0,233 mln PLN, natomiast opłaty środowiskowe z tytułu emisji SO₂ w dalszym ciągu nie będą generowane. Koszty wytwarzania niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC zostaną ograniczone o około 25 tys. PLN. W przypadku dwutlenku węgla CO₂ opłaty emisyjne spadną o 0,035 mln PLN.

Koszty związane z emitowanym hałasem przez tabor gazowy dla okresu objętą analizą wyniosą 724 tys. PLN. Jest to o 80 tys. PLN mniej w stosunku do kosztów związanych z emisją hałasu przez autobusy spalinowe na tych trasach.

Wskaźniki ekonomiczne

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wskaźniki obliczono na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowano. Ekonomiczną wartość bieżącą netto wyliczono na podstawie finansowej wartości bieżącej netto skorygowanej o zyski środowiskowe związane ze zmniejszeniem emisji. Relację korzyści do kosztów uzyskano natomiast na podstawie zestawienia wszystkich przychodów związanych z prowadzeniem działalności z uwzględnieniem korzyści środowiskowych z sumą kosztów, jakie są ponoszone.

Tabela 43. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 2.

Wskaźnik	Wartość
ENPV [mln PLN]	-43,03
B/C	0,2247

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy gazowe w wariantcie 2 jest nieefektywna ze społecznego punktu widzenia, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną (-43,03 mln PLN), a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1 i wynosi 0,2247.

4.4.5. Podsumowanie

Wprowadzenie do komunikacji miejskiej autobusów zasilanych energią elektryczną skutkuje przeniesieniem generowanych zanieczyszczeń z obszaru miasta do miejsc wytwarzania energii. Całkowity koszt środowiskowy wynikający z eksploatacji floty autobusów po wprowadzeniu Wariantu 1 zmniejszy się o 1 887 mln złotych. Przyczyni się do tego w głównej mierze ograniczenie emisji NO_x (mniejsza emisja w przypadku wytwarzania energii elektrycznej w zawodowych elektrowniach niż podczas spalania paliw ciekłych w silnikach spalinowych). Ograniczona zostanie również emisja niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC. Istotnym aspektem społecznym jest zmniejszenie ilości cząstek stałych PM generowanych przez transport publiczny na terenie miejskim będących główną przyczyną pogarszania jakości powietrza w mieście. Trochę inaczej wygląda sprawa w przypadku autobusów gazowych, które w stosunku do autobusów elektrycznych nie powodują emisji cząstek stałych i tlenków siarki. Dodatkowo globalnie wpływają na mniejszą emisję CO₂. Istotną ich wadą jest natomiast to, że w dalszym ciągu emitują zanieczyszczenia w miejscu eksploatacji na terenie miast i powodują większy hałas. W przypadku emisji NO_x i niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC generują one większe ich ilości.

W zestawieniu poniżej przedstawiono koszty środowiskowe wynikające z emisji szkodliwych substancji i hałasu w zależności od przyjętego wariantu, a także całkowity zysk środowiskowy.

Tabela 44. Zestawienie kosztów środowiskowych wynikających z emisji szkodliwych substancji i hałasu

Wariant	Koszty wynikające z emisji spalin [mln PLN]	Koszty wynikające z emisji hałasu [mln PLN]	Całkowite koszty [mln PLN]	Całkowity zysk środowiskowy w stosunku do wariantu 0 [mln PLN]
Wariant 0	3,176	0,804	3,980	-
Wariant 1	1,289	0,587	1,876	2,104

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wariant 2	0,793	0,724	1,517	2,463
------------------	-------	-------	-------	-------

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy gazowe CNG w wariantcie 2 jest bardziej efektywna ze społecznego punktu widzenia i generuje najmniejsze koszty środowiskowe wynikające z emisji spalin i hałasu.

5. Podsumowanie i rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonej analizy kosztów i korzyści wskazuje się, iż:

- I. Najbardziej korzystny pod kątem ekonomicznym jest wariant wymiany taboru z zastosowaniem **oleju napędowego** (ON) w formie taboru spełniającego normy emisji spalin EURO 6 (W0), zaś **najmniej korzystny** ekonomicznie okazał się wariant zakładający przyjęcie do realizacji i zakup autobusów elektrycznych (W1) (por. str. 72),
- II. Spadek emisji zanieczyszczeń środowiska osiągnięty w wyniku realizacji wszystkich wariantów wyrażony w ekwiwalencie pieniężnym wynosi maksymalnie do 2,463 mln PLN dla W1 (por. Tabela 44), co jednak nie umożliwi kompensacji najwyższych kosztów poniesionych na jego realizację w całym okresie analizy.
- III. Przeanalizowany wariant CNG jest mniej korzystny ekonomicznie od wariantu W0-spalinowego, jednakże znacznie bardziej korzystny od wariantu W1 – elektrycznego. Należy jednak wskazać, że po uwzględnieniu relatywnie wysokich korzyści z tytułu zmniejszenia szkodliwych emisji zanieczyszczeń, cechuje go zbliżona opłacalność do W0,
- IV. Na dzień sporządzania analizy należy jednoznacznie wskazać, że **nie wykazano opłacalności** zastosowania autobusów elektrycznych. Osiągnięcie wysokich wskaźników opłacalności dla tego typu taboru możliwe jest **jedynie w przypadku** pozyskania wysokiego (co najmniej 70%) dofinansowania ze środków zewnętrznych. Tylko w takim przypadku wydaje się być zasadnym podjęcie realizacji obowiązków wynikających z ustawy o elektromobilności.
- V. Rekomenduje się sporządzenie aktualizacji niniejszej analizy kosztów i korzyści co najmniej przed 2024 rokiem, w celu ponownego zweryfikowania wskaźników opłacalności dla taboru zero- i niskoemisyjnego.

6. Spis rysunków

Rysunek 1. Przykładowy schemat stacji	37
Rysunek 2. Schemat stacji tankowania LCNG	39
Rysunek 3 Lokalizacja Gminy Miasto Pruszków oraz sąsiadujących z nią gmin	40
Rysunek 4. Plan sieci przesyłowej najwyższych napięć miasta Pruszków i okolic	49

7. Spis wykresów

Wykres 1. Wybrane modele autobusów gazowych.....	36
Wykres 2. Liczba przystanków na liniach autobusowych między jedną pętlą.....	43
Wykres 3. Długość linii autobusowych między jedną pętlą [km]	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Wykres 4. Czas przejazdu na liniach autobusowych między jedną pętlą [min]	44
Wykres 5. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii, a czas przejechania linii	46
Wykres 6. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii, a długość linii	57
Wykres 7 Zmienność cen netto poszczególnych rodzajów autobusów	62

8. Spis tabel

Tabela 1. Zbiorcze zestawienie działań określonych w PGN dla Miasta Pruszkowa	20
Tabela 2. Porównanie kosztów inwestycyjnych autobusów na paliwa alternatywne, względem ON	27
Tabela 3. Porównanie przykładowych parametrów stacji szybkiego ładowania elektrobusów.	29
Tabela 4. Przykłady systemu ładowania zajezdniowego typu plug-in.	30
Tabela 5. Porównanie paliw płynnych	32
Tabela 6. Porównanie cech autobusów CNG, hybrydowych oraz elektrycznych.....	36
Tabela 7 Liczba realizowanych wozokilometrów na danej linii przez operatora	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 8 Linie realizujące zbiorowy transport publiczny	41
Tabela 9 Dane dotyczące linii autobusowych obsługiwanych przez PKS Grodzisk Mazowiecki	42
Tabela 10. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii.....	45
Tabela 11. Liczba pasażerów i wozokilometrów w latach 2018 – 2019	46
Tabela 12 Zestawienie taboru autobusowego realizującego przewozy w Gminie Miasto Pruszków.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Tabela 13 Stacje 110/15 kV zasilające teren Gminy	50
Tabela 14 Stacje GPZ, zlokalizowane na terenie Miasta Pruszków	50
Tabela 15. Zestawienie linii autobusowych do obsługi przez autobusy elektryczne w wariantach 1	51
Tabela 16. Harmonogram wymiany floty na autobusy elektryczne zgodnie z założeniami Ustawy o Elektromobilności	54
Tabela 17. Szacowane zużycie energii elektrycznej przez autobusy zeroemisyjne w danym okresie.....	54
Tabela 18 Koszty zakupu paliwa (ON) dla taboru konwencjonalnego – Wariant 1	55
Tabela 19. Zestawienie linii autobusowych wg parametru WCP, a długość linii	57
Tabela 20. Harmonogram wymiany floty – autobusy LNG/CNG	58
Tabela 21. Szacowane zużycie gazu ziemnego przez autobusy gazowe w danym okresie	58
Tabela 22. Prognozowana inflacja	59
Tabela 23 Współczynniki zmienności cen paliw	61

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 24 Harmonogram wymiany floty	62
Tabela 25 Koszty zakupu nowego taboru- wariant 0	64
Tabela 26 Koszty zakupu paliwa dla pojazdów wariantu 0	65
Tabela 27 Koszty serwisowe dla wariantu 0	65
Tabela 28 Zestawienie kosztów – wariant 0 [PLN]	66
Tabela 29 Koszty zakupu nowego taboru- wariant 1	67
Tabela 30 Koszty zakupu energii elektrycznej dla pojazdów wariantu 1	68
Tabela 31 Koszty serwisowe dla wariantu 1	69
Tabela 32 Zestawienie kosztów – wariant 1 [PLN]	69
Tabela 33 Koszty zakupu nowego taboru- wariant 2	70
Tabela 34 Koszty zakupu energii elektrycznej dla pojazdów wariantu 2	71
Tabela 35 Koszty serwisowe dla wariantu 2	71
Tabela 36 Zestawienie kosztów – wariant 2 [PLN]	72
Tabela 37 Koszty związane z zakupem nowego taboru	73
Tabela 38. Wartości wskaźników emisyjności wykorzystanych w analizie społeczno- ekonomicznej.	74
Tabela 39. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru spalinowego oraz opłaty z tym związane.	76
Tabela 40. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru zeroemisyjnego oraz opłaty z tym związane.....	77
Tabela 41. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego oraz zysk środowiskowy z tym związany.	77
Tabela 42. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 1.....	78
Tabela 43. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru gazowego oraz opłaty z tym związane.....	79
Tabela 44. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru gazowego oraz zysk środowiskowy z tym związany.	79
Tabela 45. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 2.....	80
Tabela 46. Zestawienie kosztów środowiskowych wynikających z emisji szkodliwych substancji i hałasu	80