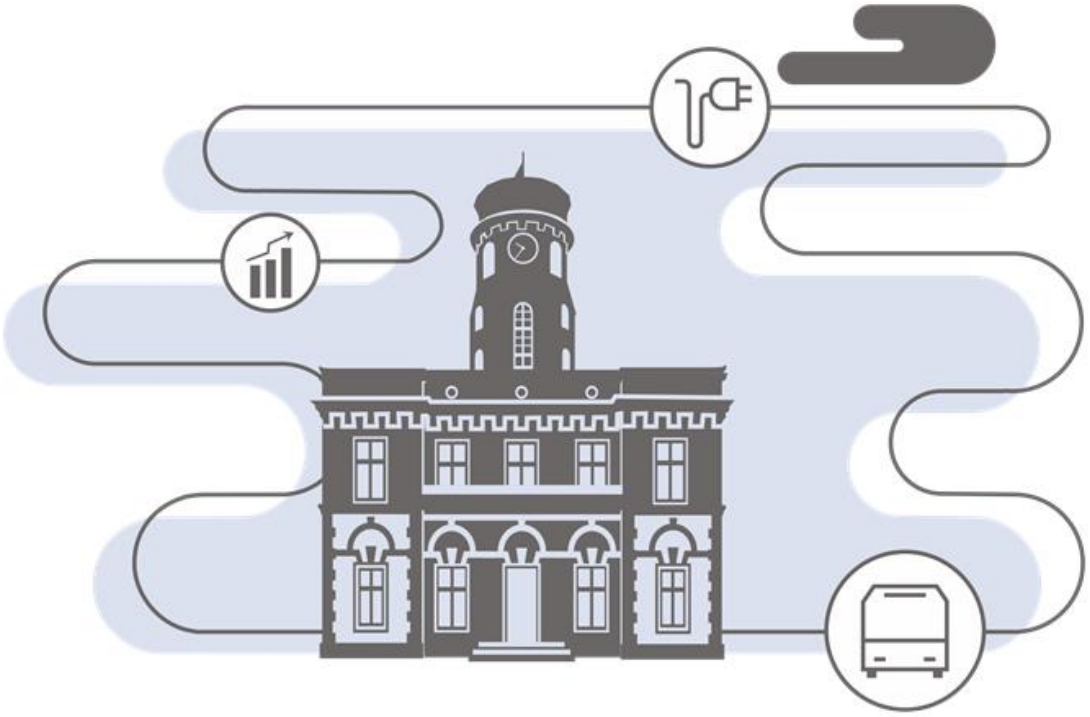
ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI

związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Częstochowie autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu



- AKTUALIZACJA -

Czerwiec 2023 r.

WYKONAWCA

Energia Dla Miast Sp. z o.o.

ul. Powstańców Śląskich 1

43-190 Mikołów

ZESPÓŁ AUTORÓW

Kamil Krzoski

Michał Mroskowiak

Spis treści

I. Słownik pojęć 4
II. Cel i podstawa przeprowadzenia analizy kosztów i korzyści 6
III. Metodyka przeprowadzenia analizy 11
IV. Założenia i warianty przyjęte do analizy 13
V. Ogólna charakterystyka systemu transportu publicznego 16
VI. Analiza techniczna 24
VII. przegląd aktualnych przetargów na zakup autobusów 29
VIII. Analiza finansowa - ekonomiczna 32
IX. Oszacowanie efektów środowiskowych 47
X. Analiza społeczno-ekonomiczna 49
XI. Podsumowanie i rekomendacje 56
XII. Spis tabel 60
XIII. Spis ilustracji 61

I. SŁOWNIK POJĘĆ

1) Analiza/AKK - Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji.
2) BEV – (Battery Electric Vehicle) – autobus z napędem elektrycznym zasilany z bateryjnych magazynów pokładowych.
3) CNG – (Compressed Natural Gas) sprężony gaz ziemny.
4) ENPV – (Economic Net Present Value) ekonomiczna wartość bieżąca netto.
5) ERR – (Economic Rate of Return) ekonomiczna stopa zwrotu.
6) EURO – Europejski standard emisji spalin (norma dopuszczalnych emisji spalin w pojazdach sprzedawanych na terenie Unii Europejskiej).
7) FRR – (Financial Rate of Return) finansowa stopa zwrotu.
8) FNPV – (Financial Net Present Value) finansowa wartość bieżąca netto.
9) FNPV/C – (Financial Net Present Value of the investment) finansowa wartość bieżąca netto inwestycji.
10) FNPV/K – (Financial Net Present Value on capital) finansowa wartość bieżąca netto kapitału.
11) FRR/C – (Financial Rate of Return of the investment) finansowa stopa zwrotu z Inwestycji.
12) FRR/K – (Financial Rate of Return on capital) finansowa stopa zwrotu z kapitału.
13) Obszar transportowy – obszar, na którym za organizację transportu zbiorowego odpowiada Prezydent Miasta Częstochowa.
14) Operator – samorządowy zakład budżetowy lub przedsiębiorca uprawniony do prowadzenia działalności gospodarczej w zakresie przewozu osób, który zawarł z organizatorem publicznego transportu zbiorowego umowę o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego, na linii komunikacyjnej określonej w umowie.

15) Organizator - właściwa jednostka samorządu terytorialnego albo minister właściwy do spraw transportu, zapewniający funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze. Organizator publicznego transportu zbiorowego jest „właściwym organem", o którym mowa w przepisach rozporządzenia (WE) nr 1370/2007.
16) Sieć komunikacyjna - układ linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora publicznego transportu zbiorowego lub część tego obszaru.
17) Stopa dyskonta – stopa zrzeczenia się przyszłych środków finansowych na rzecz aktualnie dostępnych środków. Istnienie stopy dyskontowej wynika ze zmienności wartości pieniądza w czasie i obrazuje stosunek, w jakim przyszły kapitał zrównuje swoją efektywną wartość z kapitałem bieżącym.
18) Ustawa/Ustawa o elektromobilności – Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r.
19) Wzkm – wozokilometr, jednostka miary długości drogi przebytej przez autobus komunikacji miejskiej.

II. CEL I PODSTAWA PRZEPROWADZENIA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. zobowiązuje jednostki samorządu terytorialnego (z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000), do świadczenia usług lub zlecenia świadczenia usługi komunikacji miejskiej w rozumieniu ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego wynosi co najmniej 30%[1]. Powyższy obowiązek zostanie wprowadzony w życie 1 stycznia 2028 r., jednakże Ustawa definiuje kolejne stopnie udziału autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie, które wynoszą:

1) 5% od 1 stycznia 2021 r.

2) 10% od 1 stycznia 2023 r.

3) 20% od 1 stycznia 2025 r.

4) 30% od 1 stycznia 2028 r.[2]

Równocześnie jednostka samorządu terytorialnego, o której mowa powyżej sporządza, co 36 miesięcy, analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji[3].

Zgodnie z art. 37 ust. 2 Ustawy, Analiza kosztów i korzyści obejmować powinna w szczególności:

1) analizę finansowo-ekonomiczną;
2) oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi;

[1] Art. 36 ust. 1 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.
[2] Art. 86 ust. 4 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.
[3] Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.

3) analizę społeczno-ekonomiczną uwzględniającą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji[3].

Analiza rozstrzygać powinna o zasadności udziału autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie pojazdów, a w przypadku, w którym analiza społeczno-ekonomiczna wykaże brak korzyści z wykorzystywania autobusów zeroemisyjnych, jednostka samorządu terytorialnego, może nie realizować obowiązku osiągnięcia poziomu udziału autobusów zeroemisyjnych o którym mowa w art. 36 Ustawy oraz art. 68 ust 4.

Termin na sporządzenie analizy po raz pierwszy minął 31 grudnia 2018 r[4]. Miasto Częstochowa, terminowo wykonała analizę, która została zaktualizowana w czerwcu 2020 r.

W czasie opracowania Analizy należy również zapewnić możliwość udziału społeczeństwa, na zasadach określonych w dziale III w rozdziałach 1 i 3 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U z 2021 poz. 247 ze zm.)[5].

Niezwłocznie po sporządzeniu, Analizę należy przekazać:

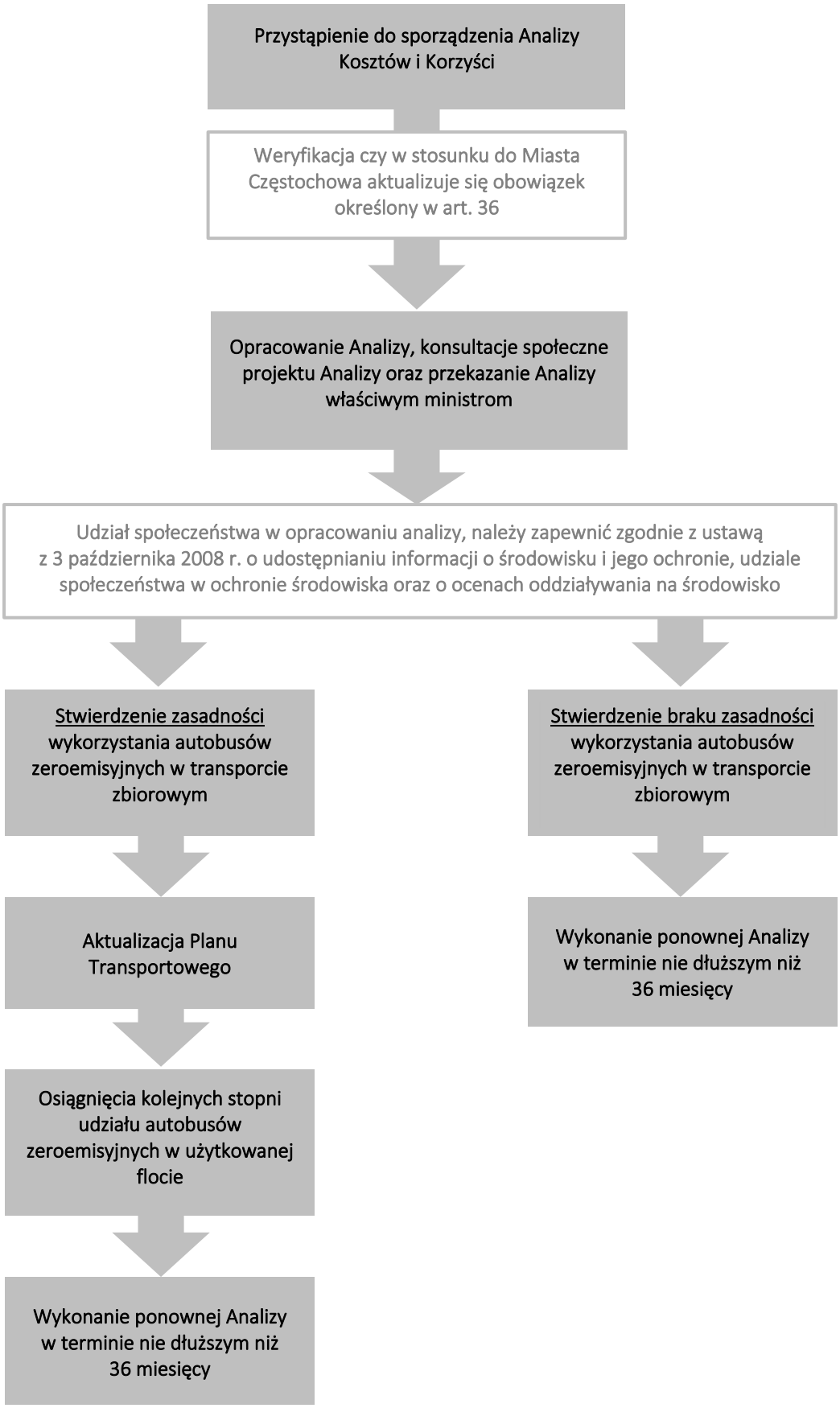
1) ministrowi właściwemu do spraw energii,
2) ministrowi właściwemu do spraw klimatu.

Kolejne Analizy, weryfikujące zasadność wykorzystania autobusów zeroemisyjnych na potrzeby świadczenia usług komunikacji miejskiej sporządzić należy nie później niż co 36 miesięcy, co oznacza, że licząc od ostatniej aktualizacji, termin wykonania analizy mija w czerwcu 2023 r.

Z uwagi na fakt, iż Miasto Częstochowa zamieszkuje 209 395 mieszkańców[6] (stan na 31 grudnia 2022 r.), aktualizuje się obowiązek sporządzenia nowej Analizy Kosztów i Korzyści, o której mowa w art. 37 Ustawy.

Schemat przeprowadzenia Analizy zgodnie z zapisami ustawy o elektromobilności przedstawiono na rysunku zamieszczonym poniżej.

[4] Art. 72 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 ze zm.)
[5] Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 ze zm.)
[6] Liczba mieszkańców według danych miejskiego systemu ewidencji ludności wskazuje jednak, że liczba zameldowanych osób na pobyt stały wynosi już poniżej 200 tys. Różnica w liczbie mieszkańców wynika z różnej metodologii agregacji danych.



Rysunek 1 Graficzny schemat wykonania obowiązku ustawowego w zakresie sporządzenia Analizy Kosztów Korzyści

Ustawa z dnia 2 grudnia 2021 r. o zmianie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz niektórych innych ustaw, wprowadziła wobec samorządów nowe obowiązki, których spełnienie ma charakter bezwzględny – nie jest uzależnione od wyników Analizy kosztów i korzyści. W wyniku nowelizacji dodany został m.in. art. 68, 68a oraz 68b, które nakładają na jednostki samorządowe nowe obowiązki.

Pierwszy z obowiązków zgodnie z art. 68 ust. 3 Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych nakłada na wszystkie jednostki samorządu terytorialnego, z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50.000, zobowiązanie do wykonywania, zlecania i powierzania wykonywania zadań określonych w przepisach ustawy odpowiednio o samorządzie gminnym, powiatowym lub województwa podmiotom, których łączny udział pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym we flocie używanych przy wykonywaniu tych zadań wynosi co najmniej 10%. Dodatkowo, art. 76 ust. 2 Ustawy wskazuje, że umowy na wykonywanie zadań publicznych, niezależnie od daty ich zawarcia i terminu, na jaki zostały zawarte wygasają z dniem 31 grudnia 2025 r., jeżeli nie zapewniają wykorzystania pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym na poziomie określonym w ustawie o elektromobilności.

Drugi obowiązek związany jest z zamówieniami publicznymi i polega na zapewnieniu w określonych terminach wykorzystywania odpowiedniej liczby pojazdów nisko i zeroemisyjnych przy wykonywaniu zamówień publicznych, w zamówieniach:

1. o wartości równej lub przekraczającej progi unijne, udzielanych na podstawie umowy sprzedaży, leasingu, najmu lub dzierżawy z opcją zakupu pojazdu samochodowego udzielaną przez zamawiającego, jeżeli do udzielenia tych zamówień mają zastosowanie przepisy prawa zamówień publicznych;
2. których przedmiotem są usługi w zakresie drogowego publicznego transportu zbiorowego o wartości przekraczającej wartość progową określoną w art. 5 ust. 4 rozporządzenia (WE) nr 1370/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z 23.10.2007 r. dotyczącego usług publicznych w zakresie kolejowego i drogowego transportu pasażerskiego oraz uchylającego rozporządzenia Rady (EWG) nr 1191/69 i (EWG) nr 1107/70 (Dz.Urz. UE L 315, str. 1, ze zm.);
3. o wartości równej lub przekraczającej progi unijne, jeżeli do udzielenia tych zamówień mają zastosowanie przepisy prawa zamówień publicznych i których przedmiotem są usługi oznaczone następującymi kodami Wspólnego Słownika Zamówień (CPV)”
    a. CPV 60112000-6, w zakresie publicznego transportu drogowego,
    b. CPV 60130000-8, w zakresie specjalistycznego transportu drogowego osób,
    c. CPV 60140000-1, nieregularny transport osób,

d. CPV 90511000-2, wywóz odpadów,
e. CPV 60160000-7, drogowy transport przesyłek pocztowych,
f. CPV 60161000-4, w zakresie transportu paczek,
g. CPV 64121100-1, dostarczanie poczty,
h. CPV 64121200-2, dostarczanie paczek.

W art. 68a Ustawy nakazano obligatoryjne uwzględnianie we wszystkich zamówieniach publicznych związanych z transportem zbiorowym wymogów w zakresie udziału autobusów, zaliczanych do kategorii M3, wykorzystujących do napędu paliwa alternatywne, w całkowitej liczbie autobusów objętych zamówieniami publicznymi. Udział ten ma wynosić:

• od dnia 2 sierpnia 2021 r. do dnia 31 grudnia 2025 r. - co najmniej 32%,

• od dnia 1 stycznia 2026 r. do dnia 31 grudnia 2030 r - co najmniej 46%.

Z czego co najmniej połowa tego udziału ma być osiągnięta przez autobusy zeroemisyjne (tzn. elektryczne lub wodorowe), co oznacza że nawet dokonując modernizacji floty pojazdów poprzez zakup autobusów gazowym, spalinowych lub hybrydowych, konieczny będzie w przyszłości zakup autobusów zeroemisyjnych w wyznaczonej ustawą proporcji.

Od wskazanego wyżej obowiązku nie będą zwalniać zapisy rekomendacji Analizy Kosztów i Korzyści, a więc, jeżeli w wyniku przeprowadzonej Analizy wykazany zostanie brak korzyści z wykorzystania autobusów zeroemisyjnych:

- Miasto Częstochowa **nie musi realizować** przez najbliższe trzy lata obowiązku określonego w art. 36 Ustawy;
- Miasto Częstochowa **będzie musiała** realizować obowiązki określone w art. 68a i 68b Ustawy.

III. METODYKA PRZEPROWADZENIA ANALIZY

Określony w art. 37 ust. 2 ustawy o elektromobilności minimalny zakres Analizy, nie określa szczegółowego sposobu jej przeprowadzenia, w związku z czym metodykę Analizy oparto o wytyczne przeprowadzania analiz projektów transportowych współfinansowanych ze środków finansowych Unii Europejskiej.

Materiały metodyczne stanowiące podstawę wykonania analizy:

1) „Niebieska księga - Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach i regionach", Jaspers, 2015 r.;
2) „Analiza kosztów i korzyści projektów Transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej. Vademecum Beneficjenta", Centrum Unijnych Projektów Transportowych, Warszawa 2016 r.;
3) „Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020", Komisja Europejska, 2014 r.;
4) „Najlepsze praktyki w analizach kosztów i korzyści projektów transportowych wspófinansowanych ze środków unijnych — Dla rozwoju infrastruktury i środowiska", Centrum Unijnych Projektów Transportowych, Warszawa 2014 r.;
5) „Wytyczne w zakresie zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym projektów generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020", Ministerstwo Rozwoju i Finansów, Warszawa 2017 r.;
6) „Zasady opracowania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych — wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych", Izba Gospodarki Komunikacji Miejskiej, Warszawa 2018 r.;

W kontekście wskazanych wyżej dokumentów przeprowadzona analiza posiada następującą strukturę:

1) Charakterystyka aktualnego systemu komunikacji miejskiej;
2) Wskazanie możliwych scenariuszy inwestycyjnych;
3) Analiza techniczna;
4) Analiza finansowa;
5) Oszacowanie efektów środowiskowych scenariuszy inwestycyjnych;

6) Analiza społeczno-ekonomiczna;
7) Analiza ryzyka i wrażliwości;
8) Wnioski i rekomendacje.

Dane źródłowe do przeprowadzenia analizy obejmują:

1) Plan transportowy;
2) Rozkład jazdy linii autobusowych;
3) Mapa komunikacji Miejskiej;
4) Zestawienie taboru;
5) Informację o realizowanych wozokilometrach oraz zużyciu paliw i energii w transporcie;
6) Informację o finansowaniu transportu zbiorowego na terenie Miasta.

Pozostałe akty prawne uwzględnione w opracowaniu:

1) Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych;
2) Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/585 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie homologacji i nadzoru rynku pojazdów silnikowych i ich przyczep oraz układów, komponentów i oddzielnych zespołów technicznych przeznaczonych do tych pojazdów, zmieniające rozporządzenie (WE) nr 715/2007 i (WE) nr 595/2009 oraz uchylającego dyrektywę 2007/46/WE;
3) Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym;
4) Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji.

IV. ZAŁOŻENIA I WARIANTY PRZYJĘTE DO ANALIZY

Zgodnie z definicją zawartą w art. 2 pkt 1 ustawy o elektromobilności za autobus zeroemisyjny, uznać można autobus wykorzystujący do napędu:

1) energię elektryczną;
2) energię wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych,
3) wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych (pojazd z napędem elektrycznym bateryjnym bądź sieciowym – trolejbus),

Definicja pojazdu zeroemisyjnego nie jest jednak równoważna z definicją pojazdu z napędem alternatywnym, gdyż do pojazdów zasilanych paliwami alternatywnymi zgodnie z art. 1 pkt 11 ustawy o elektromobilności należą pojazdy wykorzystujące jako zasilanie:

1) energię elektryczną,
2) wodór,
3) biopaliwa ciekłe,
4) paliwa syntetyczne i parafinowe,
5) sprężony gaz ziemny (CNG), w tym pochodzący z biometanu,
6) skroplony gaz ziemny (LNG), w tym pochodzący z biometanu,
7) gaz płynny (LPG).

Spełniając wymogi Ustawy, w ramach analizy odniesiono się zatem do możliwości wymiany aktualnej floty na pojazdy uznawane za spełniające wymogi art. 36 Ustawy o elektromobilności.

Analizowane warianty inwestycyjne przedstawiają się następująco:

1) **Wariant bazowy** – służy oszacowaniu kosztów świadczenia usług komunikacyjnych, z wykorzystaniem zmodernizowanego taboru o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy EURO6. Wariant bazowy stanowi punkt odniesienia dla analiz pozostałych wariantów w zakresie porównania efektywności kosztowej, społecznej i środowiskowej.
2) **Wariant I – elektryczny** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem elektrycznym, dla których zasilanie zapewniają pokładowe magazyny bateryjne.

3) Wariant II – gazowy -tabor zasilony sprężonym gazem ziemnym (CNG) – gazowy - wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG).
4) Wariant III – wodorowy – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym. Ponieważ technologia wodorowa wymaga utworzenia infrastruktury tankowania wodoru, w wariancie tym przeanalizowano wyłącznie sytuację, w której wraz z zakupem poniesiony zostanie koszt na stworzenie dodatkowej infrastruktury.

Analizę podzielono na następujące części tematyczne:

- Analizę techniczną obejmującą aspekty technologii poszczególnych wariantów oraz związane z nimi przeszkody i wyzwania inwestycyjne;
- Analizę finansowo-ekonomiczną obejmującą zagadnienia kosztów początkowych i eksploatacyjnych w poszczególnych wariantach inwestycyjnych;
- Oszacowanie efektów środowiskowych - obejmujące wpływ poszczególnych wariantów inwestycyjnych na aspekty środowiskowe (w szczególności zanieczyszczenie powietrza, hałas);
- Analizę społeczno-ekonomiczną – obejmującą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji do atmosfery. tzw. monetyzację efektu środowiskowego.

Ostateczna rekomendacja jest wypadkową wszystkich analizowanych obszarów sprowadzonych do porównywalnych wartości ekonomicznych.

Dodatkowe założenia:

- okres odniesienia analizy wynosi 15 lat;
- rok bazowy analizy: 2020 r.;
- stopa dyskontowa: 4%;
- okres amortyzacji: 8 lat;
- roczny wzrost wydatków eksploatacyjnych z uwagi na wiek autobusu: 6%;
- stosowane założenia (dotyczące m.in. wzrostu cen paliw i energii) stanowią odzwierciedlenie prognoz makroekonomicznych oraz analiz branżowych;

- dane źródłowe wykorzystane w obliczeniach pochodzą zarówno z opracowań branżowych, jak i źródeł własnych - obserwacji rynku paliw, energii oraz zachodzących na nim zjawisk;
- koszty eksploatacji i utrzymania przyjęto na bazie aktualnie posiadanej wiedzy technicznej autorów niniejszej analizy i opracowań branżowych oraz na bazie faktycznych kosztów eksploatacji taboru w Częstochowie.

V. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU TRANSPORTU PUBLICZNEGO

Zgodnie z ustawą o publicznym transporcie zbiorowym organizatorem publicznego transportu zbiorowego jest właściwa jednostka samorządu terytorialnego albo minister właściwy do spraw transportu, zapewniający funkcjonowanie transportu publicznego na danym obszarze.

Prezydent Miasta Częstochowy, jest organizatorem komunikacji miejskiej dla Miasta Częstochowy. Do zadań organizatora należy między innymi:

- wyznaczanie tras linii komunikacyjnych stałych i czasowych,
- sporządzanie rozkładów jazdy,
- analiza układu komunikacyjnego,
- nadzór i kontrola usług świadczonych na rzecz miasta przez przewoźnika.

Kompetencje w powyższym zakresie zostały przekazane do Wydziału Inżynierii Miejskiej i Kontroli Urzędu Miasta Częstochowy (IMiK). Natomiast zadania przewozowe na zlecenie IMiK realizuje spółka miejska (czyli operator) tj. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Częstochowie S.A.

Oprócz Miasta Częstochowa, systemem komunikacji zbiorowej objęte są również Gminy Mstów, Olsztyn i Poczesna, które obsługują linie aglomeracyjne: 30, 53, 58, 65, 68, natomiast na terenach gmin Mykanów, Blachownia oraz Konopiska komunikacja prowadzona jest w ograniczonym zakresie obsługi kilku przystanków.

Rysunek 2 Obszar objęty siecią komunikacji zbiorowej

Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Częstochowie powstało 1 marca 1950 roku, w roku 1991 zmieniło nazwę na Miejski Zakład Komunikacji (MZK) a 9 lat później, 1 kwietnia po przekształceniu w spółkę z ograniczoną odpowiedzialnością (Spółka z o.o.), ponownie przyjęło nazwę Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Częstochowie sp. z o.o., a w listopadzie 2022 r. zostało przekształcone w spółkę akcyjną.

Miasto Częstochowa powierzyło obsługę całej sieci komunikacji miejskiej MPK, zarówno dla linii autobusowych, jak i dla linii tramwajowych.

Miejska sieć komunikacyjna obejmuje 28 linii autobusowych miejskich, 4 linie autobusowe podmiejskie oraz 3 linie tramwajowe. Praca przewozowa wynosi (według danych za 2022 r.) ok. 11,2 mln wozokilometrów.

Celem analizy kosztów i korzyści nie jest wytyczenie nowych, modyfikacja istniejących tras komunikacyjnych, bądź analiza potoków pasażerskich. Elementy te podlegają pogłębionej charakterystyce w ramach planu transportowego lub planu mobilności. Analiza kosztów i korzyści, skupia się przede wszystkim na aspektach dotyczących taboru.

Poniżej przedstawiono wyciąg danych kluczowych z perspektywy zastosowania autobusów zeroemisyjnych w komunikacji.

Do danych tych należą:

1) aktualna struktura taboru – stanowi podstawę do określenia zakresu koniecznych inwestycji taborowych;
2) pętle autobusowe – w przypadku transportu wykonywanego autobusami elektrycznymi z bateryjnymi zasobnikami energii, konieczne jest doładowywanie autobusów w czasie wykonywania kursów (z uwagi na ich ograniczony zasięg), stąd w wariancie analizującym zasadność zakupu autobusów elektrycznych konieczne jest wytypowanie miejsc, w których montaż stacji ładowania byłby najbardziej uzasadniony;

Ad. 1 Aktualna struktura taboru

Za obsługę linii komunikacyjnych odpowiedzialny jest operator – MPK Częstochowa. Część kursów odbywa się z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych stanowiących własność operatora.

W zakresie rodzaju napędu, struktura taboru przedstawia się następująco:

- Olej napędowy (norma EURO3): 31 pojazdów;
- Olej napędowy (norma EURO4): 10 pojazdów;
- Olej napędowy (norma EURO5): 26 pojazdów;
- Olej napędowy (norma EURO6): 65 pojazdów;
- Napęd gazowy: 9 pojazdów;
- Napęd hybrydowy: 15 pojazdów
- Napęd elektryczny: 16 pojazdów
- Łącznie: 172 pojazdy

W zakresie klas wielkościowych:

- 139 pojazdów to autobusy klasy MAXI (długość pojazdu ok. 12 metrów);
- 33 pojazdy to autobusy klasy MEGA (długość pojazdu 15-18 metrów).

Zestawienie pojazdów wskazano również w tabeli.

Tabela 1 Aktualny stan floty autobusowej

Nr inwent.	***Marka***	***Typ***	***Rok budowy***	***Klasa emisji spalin***	***Długość [m]***	***Rodzaj paliwa***
1	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
2	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
3	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
4	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
5	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
6	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
7	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
8	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
9	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
10	Solaris	Urbino 12	2014	EURO 6	12	ON
11	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
12	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
13	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
14	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
16	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL

Nr inwent.	*Marka*	*Typ*	*Rok budowy*	*Klasa emisji spalin*	*Długość [m]*	*Rodzaj paliwa*
17	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
18	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
23	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
30	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
31	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
32	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
33	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
34	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
35	Solbus	SM12	2015	EURO 6	12	CNG+EL
36	Solbus	SM12 DC	2015	EURO 6	12	ON
37	Solbus	SM12 DC	2015	EURO 6	12	ON
38	Solbus	SM12 DC	2015	EURO 6	12	ON
39	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
40	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
41	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
42	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
43	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
44	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
45	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
46	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
47	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
48	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
49	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
50	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
51	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
52	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
53	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
59	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
60	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
61	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
62	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
63	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
64	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
65	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
66	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
67	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
68	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
69	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
70	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
71	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
72	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
73	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
75	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
76	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
77	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
78	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
79	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON

Nr inwent.	*Marka*	*Typ*	*Rok budowy*	*Klasa emisji spalin*	*Długość [m]*	*Rodzaj paliwa*
80	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
81	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
82	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
83	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
84	Solaris	Urbino 12	2017	EURO 6	12	ON
95	Solaris	Urbino 12	2002	EURO 3	12	ON
102	Mercedes	O530 CNG	2006	EURO 5	12	CNG
103	Mercedes	O530 CNG	2006	EURO 5	12	CNG
104	Mercedes	O530 CNG	2006	EURO 5	12	CNG
105	MAN	NL243	2009	EURO 5	12	CNG
106	MAN	NL243	2007	EURO 5	12	CNG
107	MAN	NL243	2007	EURO 5	12	CNG
108	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
109	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
110	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
111	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
112	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
113	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
114	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
115	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
116	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
117	Mercedes	O530	2006	EURO 3	12	ON
118	Mercedes	O530	2007	EURO 4	12	ON
119	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
120	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
121	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
122	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
123	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
124	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
125	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
126	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
127	Mercedes	O530	2008	EURO 4	12	ON
129	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
130	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
131	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
132	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
133	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
134	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
135	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
136	Mercedes	O530	2009	EURO 5	12	ON
137	Mercedes	O530	2010	EURO 5	12	ON
138	Mercedes	O530	2010	EURO 5	12	ON
139	Mercedes	O530	2010	EURO 5	12	ON
140	Mercedes	O530	2010	EURO 5	12	ON
141	Mercedes	O530	2010	EURO 5	12	ON
142	Mercedes	O530	2010	EURO 5	12	ON
143	Mercedes	O530 CNG	2007	EURO 5	12	CNG

Nr inwent.	*Marka*	*Typ*	*Rok budowy*	*Klasa emisji spalin*	*Długość [m]*	*Rodzaj paliwa*
144	Mercedes	O530 CNG	2007	EURO 5	12	CNG
148	MAN	NL243	2007	EURO 5	12	CNG
149	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
150	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
151	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
152	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
153	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
154	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
155	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
156	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
157	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
158	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
159	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
160	MAN	A37	2018	EURO 6	12	ON
177	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
178	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
179	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
180	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
181	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
182	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
183	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
184	Mercedes	O345G	2006	EURO 3	18	ON
185	Mercedes	O530G	2009	EURO 5	18	ON
186	Mercedes	O530G	2009	EURO 5	18	ON
187	Mercedes	O530G	2009	EURO 5	18	ON
188	Mercedes	O530G	2009	EURO 5	18	ON
189	Mercedes	O530G	2009	EURO 5	18	ON
190	Mercedes	O530G	2009	EURO 5	18	ON
191	Mercedes	O530G	2010	EURO 5	18	ON
192	Mercedes	O530G	2010	EURO 5	18	ON
193	Mercedes	O530G	2010	EURO 5	18	ON
194	Mercedes	O530G	2010	EURO 5	18	ON
195	Mercedes	O530G	2010	EURO 5	18	ON
209	Solbus	SM18	2015	EURO 6	18	CNG+EL
218	Solaris	Urbino 18	2007	EURO 5	18	ON
219	MAN	NG363	2007	EURO 3	18	ON
220	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
221	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
222	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
223	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
224	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
225	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
226	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
227	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
228	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
229	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON
231	Solaris	Urbino 18	2006	EURO 3	18	ON

Nr inwent.	*Marka*	*Typ*	*Rok budowy*	*Klasa emisji spalin*	*Długość [m]*	*Rodzaj paliwa*
500	Autosan	Sancity 12 LFE	2020	Zeroemis.	12	EL
501	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
502	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
503	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
504	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
505	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
506	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
507	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
508	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
509	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
510	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
511	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
512	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
513	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
514	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL
515	Autosan	Sancity 12 LFE	2021	Zeroemis.	12	EL

Sumę wykonanych wozokilometrów oraz średnie zużycie na 100 km w całym taborze, przedstawiono w tabeli.

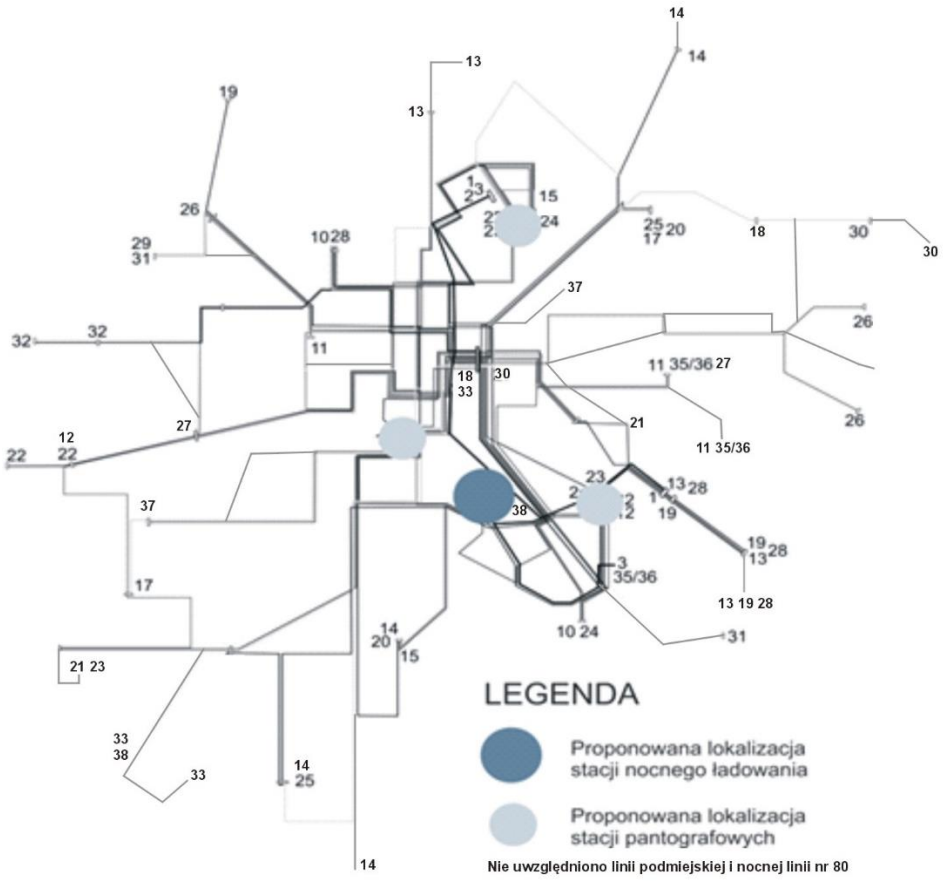
Tabela 2 Zrealizowane wozokilometry oraz średnie zużycie paliwa

Autobusy klasy MAXI		
Rodzaj paliwa	**Suma wykonanych kilometrów**	**Średnie zużycie na 100 km (w litrach - ON, w m³ - CNG, w kWh - energia elektryczna)**
Olej napędowy	**7 684 324,50**	**36,03**
Sprężony gaz CNG	**267 113,30**	**63,66**
Hybryda na sprężony gaz CNG	**665 694,70**	**52,49**
Energia elektryczna	**973 016,00**	**102,53**
Autobusy klasy MEGA		
Olej napędowy	**1 582 435,90**	**48,82**
Hybryda na sprężony gaz CNG	**33 812,60**	**69,54**

Ad. 2 Pętle autobusowe

W Częstochowie aktualnie nie istnieją pantografowe stacje ładowania dla autobusów elektrycznych, nie ma ich również w realizacji, natomiast w razie potrzeby mogą one powstać, co wynika z charakteru linii komunikacyjnych. Trasy na których przewozy realizują autobusy elektryczne pozwalają na wykonanie całej pracy przewozowej bez konieczności doładowywania autobusu w czasie kursów.

Możliwość rozwoju sieci autobusów z napędem elektrycznym bez konieczności zmiany układu komunikacyjnego miasta możliwa jest przy wykorzystaniu wyłącznie istniejących pętli autobusowych, które z powodzeniem mogą spełniać rolę punktów ładowania. W takim zawężonym kryterium obsługą największej ilości linii charakteryzują się przystanek Raków – Dworzec PKP (6 linii) oraz przystanek Kukuczki (3 linie autobusowe), ponadto ze względu na strategiczną lokalizacje w układzie komunikacyjnym Częstochowy jako lokalizację kwalifikującą się do objęcia infrastrukturą szybkiego ładowania autobusów elektrycznych przewiduje się przystanek Stradom – Dworzec PKP. Wskazane przystanki posiadają pętle autobusowe na których odbywają się postoje techniczne autobusów. Poniższy schemat wskazuje potencjalną lokalizację punktów pantografowych stacji ładowania autobusów komunikacji miejskiej na tle układu linii autobusowych.

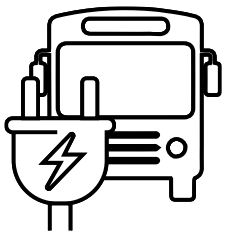


Rysunek 3 Przykładowa lokalizacja pantografowych stacji ładowania

VI. ANALIZA TECHNICZNA

Wariant bazowy opracowania to wymiana obecnych autobusów na nowe pojazdy o napędzie konwencjonalnym (silnik wysokoprężny zasilany olejem napędowym) spełniające normę spalin EURO6. Wariant ten stanowi punkt odniesienia dla pozostałych wariantów. Norma EURO6 (od 1 stycznia 2021, zaostrzona do normy EURO6D) ma charakter obligatoryjny dla wszystkich pojazdów użytkowych wyprodukowanych po 2013 roku (Norma weszła w życie końcem 2013 r. z mocy Rozporządzenia Komisji (UE) nr 459/2012). Średnie spalanie autobusu klasy MAXI w normie EURO6 w cyklu miejskim kształtuje się na poziomie 36 l/100km, natomiast autobusu klasy MEGA 48 l/100km. Przy cenie 6,50 zł/litr brutto oleju napędowego, koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosi 234 zł, a autobusem klasy mega 312 zł. Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 l zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 650 km.

Wykorzystanie autobusów z napędem konwencjonalnym nie wiąże się z koniecznością ponoszenia dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych. W zakresie zaopatrzenia w paliwo autobusy mogą korzystać bowiem z istniejącej na terenie miasta infrastruktury stacji paliw – w tym należącej do MPK.

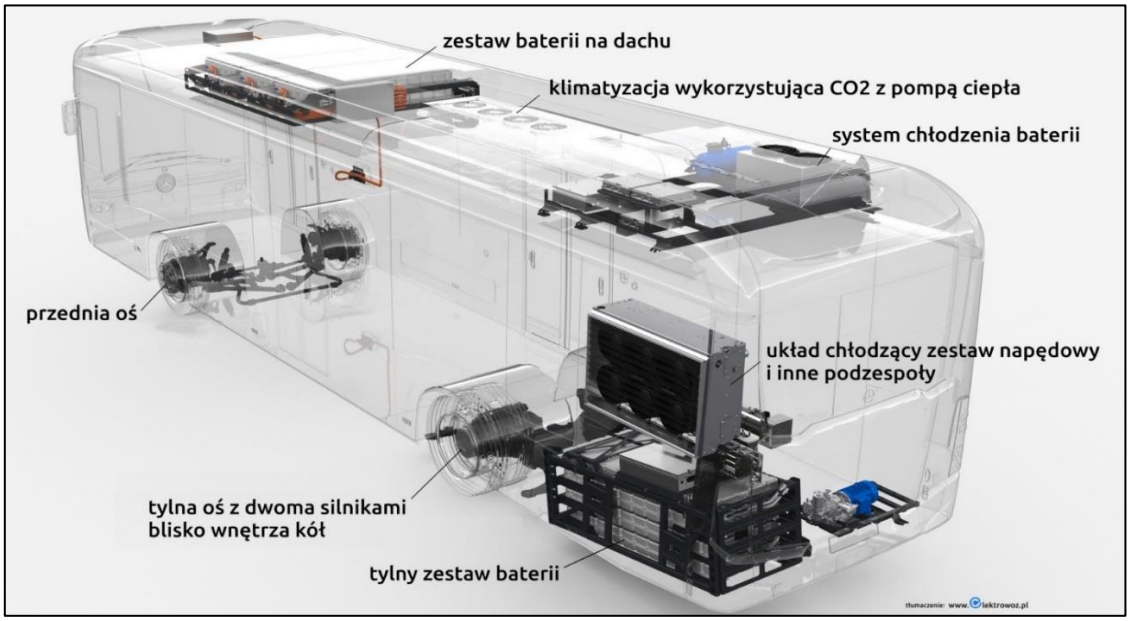


Pierwszym wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego energią elektryczną z baterii akumulatorowych. Autobusy elektryczne dostępne są w wariancie hybrydowym (z dodatkowym silnikiem spalinowym) oraz w wariancie całkowicie elektrycznym. Autobusy hybrydowe, nie spełniają jednak definicji pojazdu zeroemisyjnego, który zgodnie z ustawą jest napędzany wyłącznie przez silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych.

Autobusy z napędem elektrycznym charakteryzują się niskim poziomem hałasu, drgań i brakiem emisji spalin, tym samym zyskując dużą popularność zarówno w krajach europejskich jak i w Polsce.

Za napęd autobusu elektrycznego odpowiadają silniki indukcyjne montowane na poszczególnych osiach. Zasilane są energią elektryczną z akumulatorów zlokalizowanych na dachu oraz w tylnej przestrzeni pojazdu. Jak wskazują dane z faktycznej eksploatacji taboru w Częstochowie, zużycie energii w eksploatacji na trakcję wynosi 1,03 kWh/km w przypadku

autobusów klasy MAXI, co przy koszcie 1 kWh energii elektrycznej wynoszącym ok. 0,90 zł/kWh brutto, daje koszt (wyłącznie w zakresie kosztów energii) ok. 92 zł/100 km dla autobusu klasy MAXI. Na ostateczny koszt energii składa się nie tylko cena tzw. energii czynnej, ale również opłaty dystrybucyjne, wynoszący ok 0,45 zł/kWh brutto. Jednak nawet przy uwzględnieniu wszystkich stawek opłat za energię elektryczną, koszt energii na 100 km jest niższy niż koszt oleju napędowego. Deklarowany przez producentów zasięg autobusów elektrycznych przy pełnym naładowaniu baterii wynosi do 300 km, jednak realny zasięg uzależniony jest m.in. od warunków pogodowych (np. obciążenia baterii klimatyzacją lub ogrzewaniem), charakteru trasy (liczby wzniesień, średniej prędkości) oraz pojemności baterii, który zmniejsza się wraz z eksploatacją. W faktycznej eksploatacji zasięg autobusów elektrycznych może być nawet o połowę mniejszy niż wynikający ze specyfikacji technicznych. Pojawiają się na rynku również rozwiązania typu High Energy, z dodatkowymi magazynami bateryjnymi, które zapewnią zasięgi, spełniające oczekiwania przewoźników miejskich oraz międzymiastowych, z uwagi na zwiększoną pojemność baterii sięgającą nawet 600 kWh, która jednak na dzień dzisiejszy ogranicza pojemność pasażerów w pojeździe oraz znacząco podnosi koszt zakupu pojazdu.



Rysunek 4 Schemat budowy autobusu elektrycznego,
źródło: https://elektrowoz.pl/wp-content/uploads/2018/07/Schemat-budowy-elektrycznego-autobusu-eCitaro.jpg

Sposób funkcjonowania i wykorzystywania autobusów elektrycznych w systemie transportu miejskiego, determinowany jest przez dostępny w danych okolicznościach sposób ładowania.

Aktualny stan wiedzy technicznej pozwala wyróżnić cztery systemy ładowania:

1) ładowanie nocne w czasie postoju pojazdu na terenie zajezdni – ładowanie za pośrednictwem złącza wtykowego (kabel z ustandaryzowanym wtykiem podłączonym do stacji ładowania);
2) ładowanie na pętlach końcowych w trakcie postoju – ładowanie za pośrednictwem stacji pantografowych do złącz montowanych na dachu autobusu;
3) krótkotrwałe doładowywanie autobusów podczas postoju na wybranych przystankach – ładowanie za pośrednictwem pętli indukcyjnych poprzez złącza montowane pod podwoziem autobusu (analogicznie do systemu pantografowego) – system narażony jest jednak na oddziaływanie warunków atmosferycznych – opady śniegu bądź deszczu;
4) ładowanie w ruchu – odbywa się w czasie jazdy autobusu i stanowi rozwinięcie technologii wykorzystywanej w trolejbusach, czyli połączenia pantografem z siecią trakcyjną. Autobus w czasie jazdy „pod siecią" ładuje również baterie akumulatorowe, z których energia wykorzystywana jest w czasie jazdy „poza siecią".

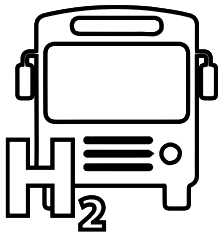
Czas ładowania pojazdów elektrycznych uzależniony jest od mocy stacji ładowania która powinna wynosić od 22 kW do 40 kW dla systemów ładowania nocnego (z czasem pełnego ładowania wynoszącym ok. 8- 10 h) oraz od 200 kW do 700 kW dla systemów ładowania pantografowego bądź indukcyjnego (z czasem pełnego ładowania wynoszącym ok. 1 h, co przy krótkotrwałym doładowaniu w czasie postoju wynoszącym 15 minut pozwoli wydłużyć przebieg pojazdu o ok. 35-40 km).

Wyłączenia autobusu z ruchu na czas doładowania tj. około 10 - 15 min, należy uwzględnić przy planowaniu rozkładu jazdy, odpowiednio wydłużając czas postoju autobusów na przystankach końcowych lub pętlach.

Koszt budowy stacji ładowania zlokalizowanej w zajezdni autobusowej (ładowanie za pośrednictwem złącza wtykowego) o mocy 22 kW to koszt ok. 40 000 zł, a dla stacji o mocy 50 – 100 kW to koszt ok. 150 000 zł, jednakże jest to koszt samej stacji ładowania. Istniejące zaplecze techniczne dostosowane jest do autobusów z napędem spalinowy. Zwiększając we flocie pojazdów komunikacji miejskiej udział pojazdów elektrycznych, zwiększa się zapotrzebowanie na energię elektryczną, co wymaga przebudowy infrastruktury energetycznej – doprowadzenia nowego przyłączenia oraz budowę stacji transformatorowej.

Koszt takiej inwestycji sięgać może nawet 4 mln zł. Trwają również prace nad rozwinięciem technologii PowerSwap, która na pętlach postojowych bądź w zajezdni umożliwiałaby szybką wymianę baterii rozładowanych na naładowane. Autobus z naładowanymi bateriami w ciągu kilku minut poświęconych na wymianę mógłby ruszać na trasę, natomiast baterie trafiłyby do stacji ładowania[7]. Trwają pilotażowe projekty takich rozwiązań, jednakże nie zyskały one na dzień dzisiejszy charakteru powszechnego[8].

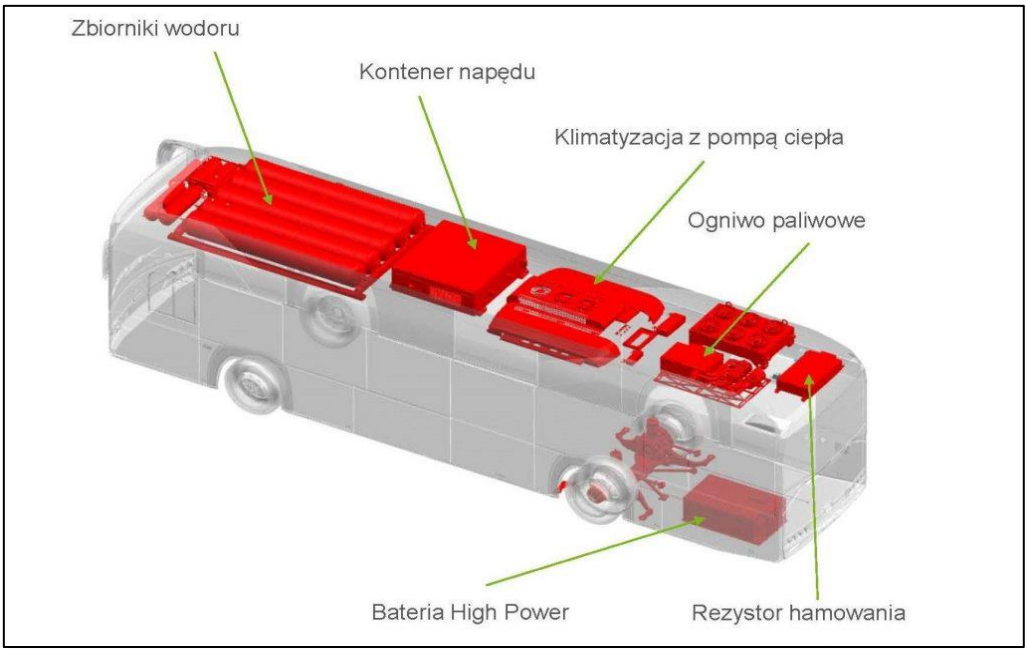
W ramach eksploatacji autobusów elektrycznych uwzględnić należy wymianę zużytych baterii, co wedle szacunków stanowić może koszt sięgający nawet ¼ ceny nowego pojazdu. Koszt zakupu samego autobusu klasy maxi (bez stacji ładowania) to ok. 2,5 mln zł.



Perspektywą na przyszłość jest wybór taboru napędzanego paliwem wodorowym. Choć na dzień sporządzania analizy na polskich drogach (z wyjątkiem projektów badawczych bądź testowych) nie kursują regularne linie autobusów z napędem wodorowym, to istnieją na rynku sprawdzone rozwiązania techniczne stosowane w krajach ościennych. Kilkadziesiąt pojazdów Van Hool A330 FC klasy MAXI, kursuje po ulicach Kolonii i Hamburga. Zasięg tych pojazdów wynosi 350 km, a zużycie wodoru wynosi 8 kg/100 km. Za przeniesienie energii na koła odpowiada silnik elektryczny o mocy 210 kW.

Łącznie na europejskich drogach kursuje już ponad 50 autobusów wodorowych tej marki[9]. Pojazdy wodorowe wdrożyli do produkcji również polscy producenci – m.in. Solaris (model Solaris Urbino 12 Hydrogen), z zasięgiem teoretycznym wynoszącym 350 km. Pod względem funkcjonalnym autobusy wodorowe nie różnią się od swoich elektrycznych odpowiedników. Różnica sprowadza się jedynie do zasobnika energii – zamiast baterii, posiadają one zbiornik wodoru.

[7]http://elektrowoz.pl/transport/szwedzki-powerswap-chce-wymieniac-baterie-na-stacjach-benzynowych/
[8]https://jaw.pl/2018/11/pierwsza-w-polsce-stacja-ladowania-i-szybkiej-wymiany-baterii-dla-autobusow-miejskich/
[9] http://infobus.pl/autobusy-wodorowe-w-praktyce-niemcy-film-_more_106351.html



Rysunek 5 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen, źródło: Solaris Bus&Coach

Zakup autobusów z napędem wodorowym, jest więc możliwy, jednakże, aktualnie na terenie kraju brak jakiejkolwiek infrastruktury tankowania pojazdów wodorowych. Rynkowa cena wodoru w Niemczech wynosi 9,50 Euro, tj. ok 40-45 zł za kg. Autobus komunikacji miejskiej zużywa 8 kg wodoru na 100 km, a więc koszt przejechania 100 km wynosiłby aktualnie aż 320 zł. W pierwszych polskich postępowaniach na zakup wodoru cena jest nawet wyższa i przekracza 14 Euro/kg wodoru[10].

W przypadku wprowadzenia autobusów wodorowych do komunikacji miejskiej, konieczne byłoby przeprowadzenie inwestycji nie tylko w sam tabor, ale również w stację tankowania wodoru (co wymaga najpierw pojawiania się w polskim porządku prawnym nowych regulacji związanych chociażby z unormowaniem zabezpieczeń przeciwwybuchowych oraz legalizacją urządzeń przez Urząd Dozoru Technicznego).

[10] http://gashd.eu/2022/04/26/konin-liczy-koszt-jazdy-na-wodorze-w-pilotazowym-autobusie/

VII. PRZEGLĄD AKTUALNYCH PRZETARGÓW NA ZAKUP AUTOBUSÓW

Lidzbark Warmiński – autobus elektryczny

Zakup 2 szt. autobusów o długości 9,5 m wraz ze stacjami ładowania – 4,261 mln zł.

Cena za jeden autobus: 2,130 mln zł

Rysunek 6 Autobus komunikacji miejskiej w Lidzbarku Warmińskim, źródło: UM Lidzbark Warmiński

Sieradz – autobus elektryczny

Zakup 6 szt. autobusów o długości 10 m – 14,800 mln zł

Cena za jeden autobus: 2,466 mln zł

Rysunek 7 Autobus komunikacji miejskiej w Sieradzu, źródło: UM Sieradz

Świdnica – autobus elektryczny

Zakup 6 szt. autobusów o długości 12 m – 16,494 mln zł

Cena za jeden autobus: 2,749 mln zł

Rysunek 8 Autobus komunikacji miejskiej w Świdnicy, źródło: UM Świdnica

Rzeszów – autobus elektryczny i gazowy

Zakup 2 szt. autobusów elektrycznych o długości 18 m – 8,090 mln zł (4,045 mln zł za szt.)

Zakup 2 szt. autobusów gazowych o długości 18 m – 5,185 mln zł (2,592 mln zł za szt.)

Rysunek 9 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie, źródło: UM Rzeszów

Rzeszów – autobus gazowy

Zakup 10 szt. autobusów gazowych o długości 12 m – 18,014 mln zł (1,801 mln zł za szt.)

Rysunek 10 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie, źródło: UM Rzeszów

Konin – autobus wodorowy

Zakup 1 szt. autobusu wodorowego o długości 10 m – 3,598 mln zł

Rysunek 11 Autobus komunikacji miejskiej w Koninie, źródło: MZK Konin

VIII. ANALIZA FINANSOWA - EKONOMICZNA

Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji w porównywanych wariantach. Analizę przeprowadzono z zastosowaniem metody różnicowej (przyrostowej), z uwzględnieniem tylko tych przepływów pieniężnych, które zmienią się w związku z eksploatacją zmodernizowanego taboru autobusowego, czyli z wyłączeniem innej działalności i kosztów, które nie ulegają zmianie (np. koszty wynagrodzeń kierowców, koszty ogólne działalności).

Zgodnie z zapisami art. 36 Ustawy, terminy osiągnięcia ustawowych progów udziału pojazdów zeroemisyjnych w całkowitej badanej flocie autobusowej ustalono zgodnie z wymogami ustawowymi wynoszącymi:

1) 5% od 1 stycznia 2021 r.
2) 10% od 1 stycznia 2023 r.
3) 20% od 1 stycznia 2025 r.
4) 30% od 1 stycznia 2028 r.

W analizie zatem okres inwestycyjny – ponoszenia wydatków określono w stopniu pozwalającym wypełnić ww. wymogi stopniując wydatki w latach 2020-2027, natomiast okres odniesienia (trwałości inwestycji) na okres 15-letni - do roku 2035.

Łączny stan floty przyjęty do analizy wynosi 172.

Informacja o wymogach ustawowych w stosunku do floty pojazdów wykorzystywanych na terenie Częstochowy, zawiera tabela.

Tabela 3 Wymogi ustawowe w zakresie taboru zeroemisyjnego - zestawienie

Termin	Wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie	Liczba pojazdów we flocie	Rekomendowana liczba pojazdów zeroemisyjnych	Teoretycznie udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie
1 stycznia 2021	5%	172	9	5,23%
1 stycznia 2023	10%	172	18	10,47%
1 stycznia 2025	20%	172	35	20,35%
1 stycznia 2028	30%	172	52	30,23%

Jak wskazują powyższe dane, dla zapewnienia wymaganego udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie (na dzień 1 stycznia 2028 r.) konieczne jest kontynuowanie dalszych zakupów pojazdów elektrycznych celem wypełnienia wymogów ustawowych.

W analizie wydatków związanych z eksploatacją zakupionych pojazdów uwzględniono wydatki wynikające ze zużycia paliwa/energii oraz wydatki utrzymaniowe (przeglądy, naprawy). Dodatkowo w przypadku pojazdów elektrycznych uwzględniono okresową wymianę i utylizację baterii oraz koszty dostosowania infrastruktury do potrzeb pojazdów zeroemisyjnych (budowa stacji szybkiego ładowania – stacje pantografowe na pętlach autobusowych oraz stacji wolnego ładowania w zajezdniach).

Wysokość kosztów serwisowych ma charakter uśredniony dla pełnego okresu odniesienia. Zakładana żywotność autobusów wynosi 15 lat i ok. 1 mln km skumulowanego przebiegu.

Założenia dotyczące zużycia paliwa przedstawiono w tabeli.

Tabela 4 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów

ŚREDNIE ZUŻYCIE PALIWA/ENERGII			
Rodzaj i typ autobusu		**Wartość**	**Jednostka**
10 m	ON	32,0	l/100 km
	CNG/LNG	34,0	kg/100 km
	Wodór	7,0	l/100 km
	BEV	103,0	kWh/100 km
12 m	ON	36,0	l/100 km
	CNG/LNG	47,5	kg/100 km
	Wodór	8,0	l/100 km
	BEV	103,0	kWh/100 km
18 m	ON	48,0	l/100 km
	CNG/LNG	57,0	kg/100 km
	Wodór	9,0	l/100 km
	BEV	130,0	kWh/100 km

Średnią pracę przewozową taboru autobusowego przyjęto na poziomie 65 tys. km rocznie, co odpowiada średniej pracy przewozowej pojazdu w komunikacji miejskiej w Częstochowie.

Analizowane warianty inwestycyjne przedstawiają się następująco:

1) Wariant bazowy – służy oszacowaniu kosztów świadczenia usług komunikacyjnych, z wykorzystaniem zmodernizowanego taboru o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy EURO6. Wariant bazowy stanowi punkt odniesienia dla analiz pozostałych wariantów w zakresie porównania efektywności kosztowej, społecznej i środowiskowej.
2) Wariant I – elektryczny – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem elektrycznym, dla których zasilanie zapewniają pokładowe magazyny bateryjne.
3) Wariant II – gazowy - tabor zasilony sprężonym gazem ziemnym (CNG) – gazowy - wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG).
4) Wariant III – wodorowy – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym. Ponieważ technologia wodorowa wymaga utworzenia infrastruktury tankowania wodoru, w wariancie tym przeanalizowano wyłącznie sytuację, w której wraz z zakupem poniesiony zostanie koszt na stworzenie dodatkowej infrastruktury.

Harmonogram wymiany pojazdów przedstawiono w tabeli. Jest to symulacja nakładów finansowych przyjęta do analizy, a nie zadeklarowany plan inwestycyjny. Celem AKK jest pokazanie ewentualnego kosztu zakupu i eksploatacji pojazdów elektrycznych, a nie kształtowanie polityki inwestycyjnej Miasta.

Tabela 5 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant bazowy

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	-	19	7	5	5
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
	SUMA	-	-	-	19	7	5	5

Tabela 6 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant I - elektryczny

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	19	7	5	5
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
	SUMA	-	-	-	19	7	5	5

Tabela 7 Symulacja wymogów przetargowy wariant II – gazowy

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	19	7	5	5
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
	SUMA	-	-	-	19	7	5	5

Tabela 8 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant III – wodorowy

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	19	7	5	5
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG/LNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
	SUMA	-	-	-	19	7	5	5

Nakłady inwestycyjne dla każdego z analizowanych wariantów obejmujące zakup autobusów o określonym rodzaju napędu oraz niezbędnej infrastruktury, który uwzględnia koszt budowy dwóch punktów ładowania lub budowy stacji tankowania wodoru na terenie bazy autobusowej. Założenia w zakresie kosztów inwestycyjnych, przedstawiają tabele.

Tabela 9 Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor

ZAŁOŻENIA KOSZTÓW INWESYTYCYJNYCH - TABOR		
Rodzaj i typ autobusu		**Wartość**
10 m	ON	1 300 000,00 zł
	CNG/LNG	1 450 000,00 zł
	Wodór	2 700 000,00 zł
	BEV	2 250 000,00 zł
12 m	ON	1 500 000,00 zł
	CNG/LNG	1 900 000,00 zł
	Wodór	2 900 000,00 zł
	BEV	2 750 000,00 zł
18 m	ON	2 500 000,00 zł
	CNG/LNG	2 900 000,00 zł
	Wodór	4 400 000,00 zł
	BEV	4 000 000,00 zł

Tabela 10 Założenia kosztów inwestycyjnych w infrastrukturę

Rodzaj stacji ładowania	**Wartość**	**Moc (kW)**
Stacja ładowania plug-in (nocna)	400 000,00 zł	40
Stacja ładowania pantografowego (cena uśredniona)	1 000 000,00 zł	400
Stacja tankowania wodoru	4 500 000,00 zł	n/d

Założenia inwestycyjne obejmują również wydatki odtworzeniowe związane z wymianą baterii w pojazdach elektrycznych, których okres gwarancyjny przyjęto na 7 lat.

Tabela 11 Założenia kosztu wymiany baterii

Wydatki odtworzeniowe	**Wartość**
Koszt wymiany baterii	900 000,00 zł
Żywotność baterii w latach	7

W analizie wydatków związanych z eksploatacją zakupionych pojazdów uwzględniono wydatki wynikające ze zużycia paliwa/energii oraz wydatki utrzymaniowe (przeglądy, naprawy). Dodatkowo w przypadku pojazdów elektrycznych uwzględniono okresową wymianę i utylizację baterii oraz koszty dostosowania infrastruktury do potrzeb pojazdów zeromisyjnych (budowa stacji wolnego ładowania).

Wysokość kosztów serwisowych ma charakter uśredniony dla pełnego okresu odniesienia.

Tabela 12 Założenia kosztu jednostkowego paliwa

ZAŁOŻENIA KOSZTÓW EKSPLOATACYJNYCH		
Koszt paliwa/energii	**Wartość**	**Jednostka**
Olej napędowy	6,00	zł/l
Gaz CNG/LNG	10,00	zł/kg
Energia elektryczna	1,30	zł/kWh
Energia elektryczna - opłata za moc[11]	8400,00	zł/MW/m-c
Wodór	64,00	zł/kg
Wskaźnik inflacyjny (średnioroczny)	2,73%	%

Drugą grupą kosztów eksploatacyjnych podlegających różnicowaniu w ramach wariantów są koszty remontu i serwisu (w tym materiałów pędnych).

Tabela 13 Założenia kosztów remontowych i serwisowych

Koszty remontowe i serwisowe			
Rodzaj i typ autobusu		**Wartość**	**Jednostka**
10 m	ON	0,46 zł	zł/wzkm
	CNG/LNG	0,41 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,37 zł	zł/wzkm
	BEV	0,35 zł	zł/wzkm
12 m	ON	0,49 zł	zł/wzkm
	CNG/LNG	0,45 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,41 zł	zł/wzkm
	BEV	0,39 zł	zł/wzkm
18 m	ON	0,51 zł	zł/wzkm
	CNG/LNG	0,45 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,42 zł	zł/wzkm
	BEV	0,41 zł	zł/wzkm
Wzrost kosztów eksploatacyjnych w czasie		6%	%

Zestawienie łącznych zdyskontowanych kosztów (inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych) w poszczególnych wariantach, przedstawia tabela.

Tabela 14 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
Zdyskontowane koszty finansowe	110 410 981,79 zł	174 175 781,00 zł	180 751 078,19 zł	223 097 109,43 zł

Efektywność finansową wariantów porównać można również na bazie wskaźników.

[11] Opłata za moc zamówioną.

Dla każdego z wariantów zostały dwa wskaźnik:

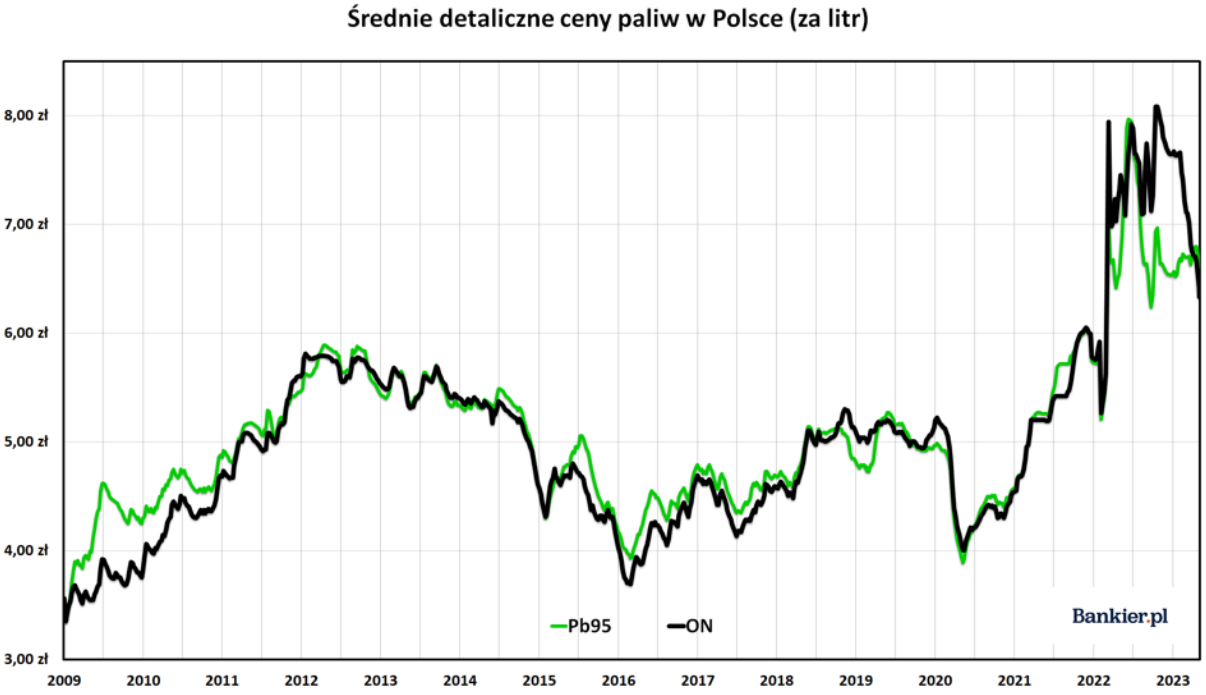
- FNPV/C - odzwierciedlający zyskowność (lub brak zyskowności) analizowanego wariantu;
- FRR/C – określający wewnętrzną stopę zwrotu z inwestycji. W przypadku, w którym analizowany wariant wykazuje ujemną wartość FNPV/C, wartość FRR/C jest niepoliczalna (z uwagi na brak zysku).

Tabela 15 Wskaźniki finansowe w wariantach

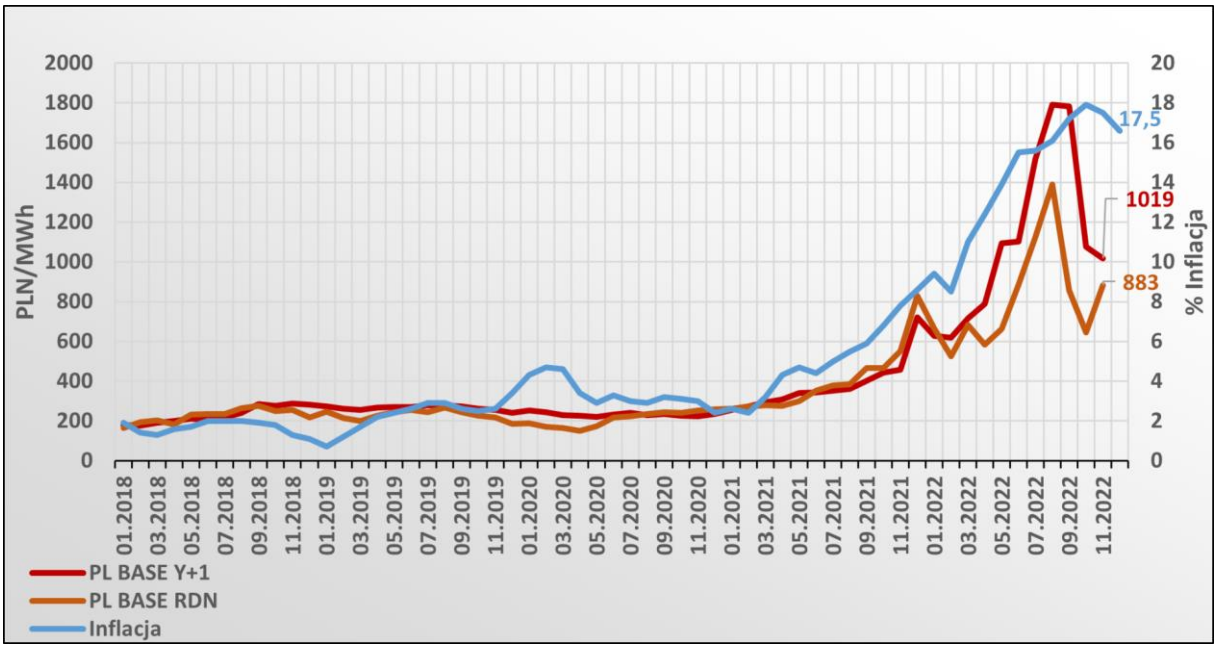
Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
FNPV/C	- 114 827 421,06 zł	- 105 858 619,25 zł	- 187 709 485,37 zł	- 231 728 182,86 zł
FRR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

Niezależnie od przyjętej metodyki porównawczej, wyniki analizy są tożsame – największą opłacalność wykazuje wariant bazowy (oparty o autobusy zasilane olejem napędowym), co wynika nie tylko z niższego kosztu początkowego zakupu autobusu, ale również bardzo niekorzystnych tendencji w zakresie cen paliw i surowców energetycznych. Ceny energii elektrycznej urosły na przestrzeni ostatnich kilkunastu miesięcy o kilkadziesiąt procent, jednak kryzys na rynkach surowcowych zapoczątkowany rosyjskim atakiem na Ukrainę dotknął wszystkich nośników energii, skutkiem czego – niezależnie od przyjętego wariantu rozwoju komunikacji publicznego (elektryczny, gazowy, czy z wykorzystaniem oleju napędowego), koszty paliw i energii znacząco wzrosły. Tendencję cen wskazano na wykresach zamieszczonych poniżej:

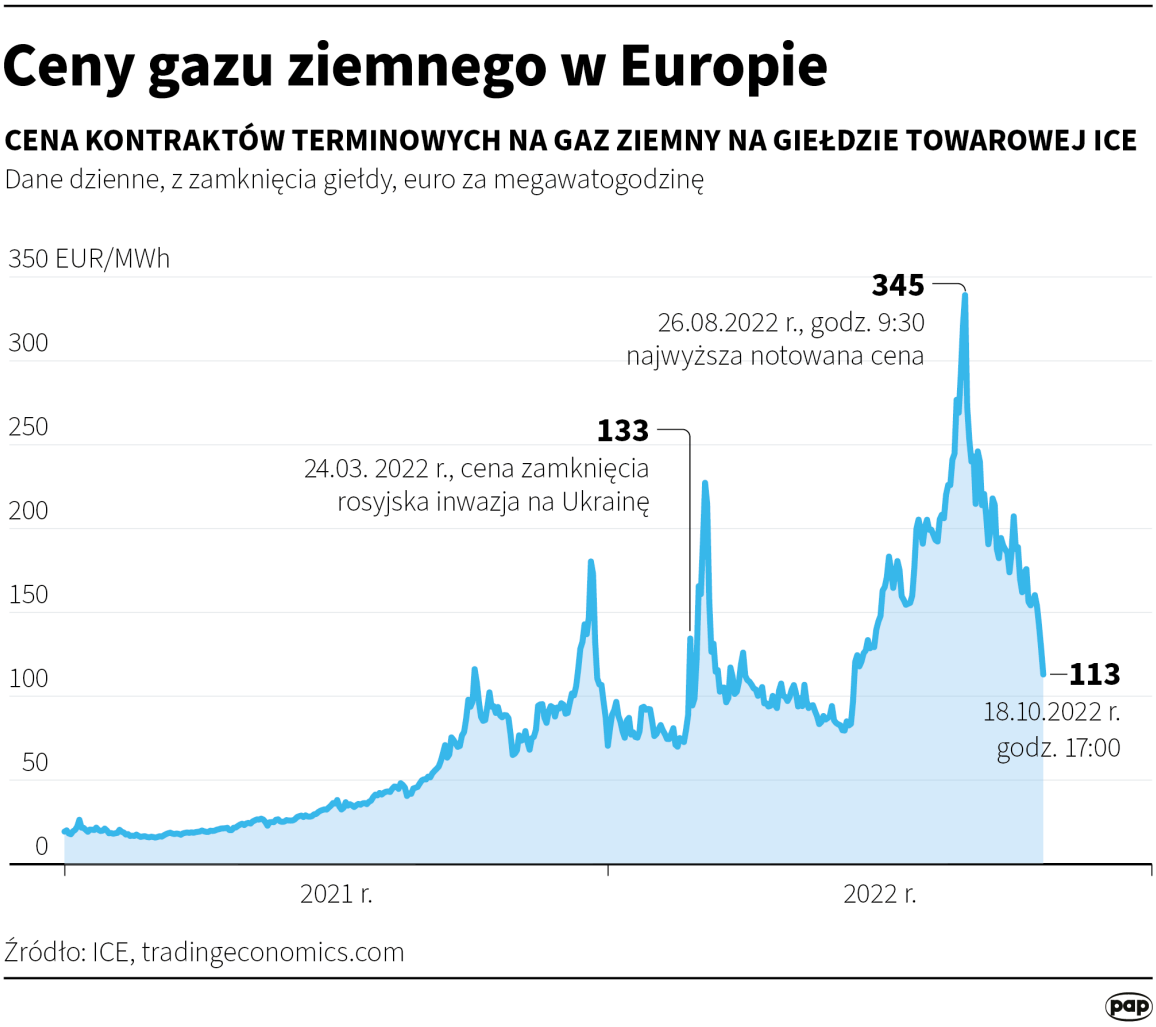
- Wykres średnich cen paliw w Polsce, pokazuje że od początku 2022 r. nastąpił wzrost cen oleju napędowego z 6,00 zł do prawie 8,00 zł (wzrost o ok. 1/3);
- Cena energii po skokowym wzroście z lipca – sierpnia 2022 r. (cena energii na rynku hurtowym wzrosła z 600 do 1800 zł, co stanowi wzrost trzykrotny), stabilizuje się na poziomie ceny maksymalnej wynoszącej 785 zł, a określonej ustawą z dnia 27 października 2022 r. o środkach nadzwyczajnych mających na celu ograniczenie wysokości cen energii elektrycznej oraz wsparciu niektórych odbiorców w 2023 roku.
- Cena gazu swoje maksimum cenowe osiągnęła w sierpniu 2022 r. (po wzroście ze 133 Euro/MWh do 345 Euro/MWh, co stanowi ponad dwuipółkrotny wzrost) stabilizuje się na poziomie cen z okresu końca 2021 r.



Rysunek 12 Ceny paliw w Polsce, źródło: https://www.bankier.pl/wiadomosc/Ceny-paliw-w-Polsce-maj-2023-Ile-kosztuje-benzyna-olej-napedowy-i-LPG-8534833.html



Rysunek 13 Ceny energii elektrycznej w Polsce, źródło: https://wodorowyswiat.pl/analiza-cen-energii-elektrycznej-w-polsce-w-latach-2018-2022/



Rysunek 14 Ceny gazu ziemnego w Europie https://polskieradio24.pl/42/273/artykul/3063794,w-2023-r-chcemy-ograniczyc-ceny-gazu-nie-tylko-dla-gospodarstw-domowych-minister-klimatu-o-nowej-ustawie

Na znaczącą dysproporcję kosztu wozokilometra (w przypadku autobusu elektrycznego jest ona o ponad 1/3 wyższa niż autobusu napędzanego olejem napędowym), wpływa również konieczność okresowej wymiany baterii, której koszt w istotnym stopniu determinuje wynik analizy.

Zdyskontowane koszty finansowe ujęto również w formie kalkulacji cen wozokilometra[12]

[12] Przedstawiony koszt wozokilometra nie uwzględnia kosztów stałych świadczenia usług przewozowych (niezależnych od struktury taboru) do których należą m.in. koszty wynagrodzeń, zarządu i administracji!

Tabela 16 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm - koszty inwestycyjne i eksploatacyjne
Wariant bazowy	4,25 zł
Wariant I – elektryczny	6,70 zł
Wariant II – gazowy	6,95 zł
Wariant III – wodorowy	8,58 zł

Jak wskazują przedstawione wyżej porównania, w przypadku wprowadzenia do taboru floty pojazdów elektrycznych w wymaganym ustawą o elektromobilności udziale (30%), spodziewać się można wzrostu kosztu wozokilometra, co oznaczać będzie konieczność zwiększenia wydatków budżetowych Miasta na cele transportu zbiorowego.

Zrównoważenie wyższych kosztów inwestycyjnych rozwiązań zeroemisyjnych zapewnić mogą zewnętrzne źródła finansowania. Oprócz zakupów realizowanych przez osoby fizyczne (w ramach programu „Mój elektryk"), o środki NFOŚiGW ubiegać się mogą również jednostki samorządu terytorialnego, w ramach programów:

- Zielony transport publiczny (dawniej program GEPARD) – dofinansowanie zakupu autobusów zeroemisyjnych,
- KANGUR – dofinansowanie zakupów przeznaczonych na dowożenie dzieci do szkół.

Samorządy będą mogły ubiegać się o sięgające 80% dofinansowania na zakup lub leasing autobusów i szkolenie kierowców oraz wsparcie rozwoju infrastruktury ładowania na własne potrzeby – budowę nowych lub modernizację istniejących stacji ładowania.

Obliczenia w zakresie zestawienia wariantów z i bez dofinansowaniem, wskazuje tabela. Zgodnie z przedstawionymi obliczeniami, choć wariant elektryczny nie jest zasadny do realizacji z uwagi na wzrost kosztu wzkm, możliwe jest wyrównanie opłacalności wariantów poprzez dofinansowania na poziomie 75% kosztu inwestycji obejmującego:

- Zakup autobusów;
- Budowę niezbędnej infrastruktury ładowania oraz zaplecza technicznego.

W przypadku którym dotacja objęła by wyłącznie zakup taboru autobusowego (bez dofinansowania inwestycji w infrastrukturę techniczną, konieczny poziom dofinansowania w formie bezzwrotnej dotacji wynosi 85%

Tabela 17 Zestawienie wskaźników finansowych z symulacją uzyskania dotacji w wysokości 75% kosztów inwestycji.

	Wariant bazowy (ON)	**Wariant I – elektryczny (bez dotacji)**	**Wariant I – elektryczny (inwestycyjny) – z dotacją 75% do zakupu autobusów i infrastruktury**	**Wariant I – elektryczny (inwestycyjny) – z dotacją 85% do zakupu autobusów**
Koszty operacyjne	- 66 567 622,49 zł	- 75 303 054,94 zł	- 75 303 054,94 zł	- 75 303 054,94 zł
Nakłady inw. i odtw.	- 48 259 798,57 zł	- 105 760 417,08 zł	- 105 760 417,08 zł	- 105 760 417,08 zł
Wartość dofinansowania	-	-	+ 79 320 312,81 zł	+ 75 204 852,77 zł
Przepływy pieniężne	**- 114 827 421,06 zł**	**- 181 063 472,02 zł**	**- 101 743 159,21 zł**	**- 105 858 619,25 zł**
stopa dyskontowa	**4,0%**	**4,0%**	**4,0%**	**4,0%**
(FNPV/C)	-114 827 421	-181 063 472	-101 743 159	-105 858 619

Porównanie wyników analizy finansowo-ekonomicznej w formie tabel zbiorczych, przedstawiono poniżej.

Tabela 18 Wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Nakłady inwestycyjne	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	28 500 000,00	2 814 318,00	720 005,00	1 235 000,00	32 034 323,00	28 478 396,50	
2025	5	0,85	10 500 000,00	3 954 600,00	1 039 012,00	1 690 000,00	15 493 612,00	13 244 004,47	
2026	6	0,82	7 500 000,00	4 845 672,00	1 302 899,00	2 015 000,00	13 648 571,00	11 218 130,47	
2027	7	0,79	7 500 000,00	5 778 864,00	1 612 260,00	2 340 000,00	14 891 124,00	11 768 671,60	
2028	8	0,76	0,00	5 936 626,99	1 708 995,60	2 340 000,00	7 645 622,59	5 810 044,80	
2029	9	0,73	0,00	6 098 696,90	1 811 535,34	2 340 000,00	7 910 232,24	5 779 929,22	
2030	10	0,70	0,00	6 265 191,33	1 920 227,46	2 340 000,00	8 185 418,79	5 750 966,66	
2031	11	0,68	0,00	6 436 231,05	2 035 441,10	2 340 000,00	8 471 672,16	5 723 158,16	
2032	12	0,65	0,00	6 611 940,16	2 157 567,57	2 340 000,00	8 769 507,73	5 696 505,00	
2033	13	0,62	0,00	6 792 446,13	2 287 021,62	2 340 000,00	9 079 467,75	5 671 008,77	
2034	14	0,60	0,00	6 977 879,91	2 424 242,92	2 340 000,00	9 402 122,83	5 646 671,32	
2035	15	0,58	0,00	7 168 376,03	2 569 697,50	2 340 000,00	9 738 073,52	5 623 494,81	
		RAZEM	**54 000 000,00**	**69 680 842,49**	**21 588 905,11**	**26 000 000,00**	**145 269 747,60**	**110 410 981,79**	4,25

Tabela 19 Wariant I - elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Nakłady inwestycyjne	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne (w tym koszt wymiany baterii)	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	61 850 000,00	1 803 352,21	1 040 687,40	1 235 000,00	64 694 039,61	57 512 765,64	
2025	5	0,85	23 050 000,00	2 539 273,98	1 497 661,60	1 690 000,00	27 086 935,58	23 154 026,05	
2026	6	0,82	16 750 000,00	3 112 880,29	1 881 616,60	2 015 000,00	21 744 496,89	17 872 391,41	
2027	7	0,79	16 750 000,00	3 713 997,69	2 286 241,60	2 340 000,00	22 750 239,29	17 979 844,57	
2028	8	0,76	0,00	3 815 389,83	2 363 630,08	2 340 000,00	6 179 019,91	4 695 547,30	
2029	9	0,73	0,00	3 919 549,97	2 445 661,87	2 340 000,00	6 365 211,84	4 650 997,94	
2030	10	0,70	0,00	4 026 553,68	2 532 615,56	2 340 000,00	6 559 169,25	4 608 385,31	
2031	11	0,68	0,00	4 249 404,46	19 724 786,48	2 340 000,00	23 974 190,95	16 196 104,38	
2032	12	0,65	0,00	4 249 404,46	9 022 487,66	2 340 000,00	13 271 892,12	8 621 168,05	
2033	13	0,62	0,00	4 365 413,21	7 326 050,90	2 340 000,00	11 691 464,11	7 302 453,99	
2034	14	0,60	0,00	4 484 588,99	7 435 827,94	2 340 000,00	11 920 416,92	7 159 093,50	
2035	15	0,58	0,00	4 607 018,27	3 052 191,60	2 340 000,00	7 659 209,86	4 423 002,85	
		RAZEM	**118 400 000,00**	**44 886 827,03**	**60 609 459,29**	**26 000 000,00**	**223 896 286,32**	**174 175 781,00**	**6,70**

Tabela 20 Wariant II - gazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	**Nakłady inwestycyjne**	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	**Koszty łączne**	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	36 100 000,00	6 188 893,75	667 641,00	1 235 000,00	42 956 534,75	38 188 202,97	
2025	5	0,85	13 300 000,00	8 701 810,00	967 356,00	1 690 000,00	22 969 166,00	19 634 139,36	
2026	6	0,82	9 500 000,00	10 662 372,50	1 217 463,00	2 015 000,00	21 379 835,50	17 572 666,34	
2027	7	0,79	9 500 000,00	12 715 560,00	1 488 240,00	2 340 000,00	23 703 800,00	18 733 457,46	
2028	8	0,76	0,00	13 062 694,79	1 577 534,40	2 340 000,00	14 640 229,19	11 125 370,95	
2029	9	0,73	0,00	13 419 306,36	1 672 186,46	2 340 000,00	15 091 492,82	11 027 205,98	
2030	10	0,70	0,00	13 785 653,42	1 772 517,65	2 340 000,00	15 558 171,07	10 930 964,62	
2031	11	0,68	0,00	14 548 624,41	1 878 868,71	2 340 000,00	16 427 493,12	11 097 825,73	
2032	12	0,65	0,00	14 548 624,41	1 991 600,83	2 340 000,00	16 540 225,24	10 744 214,92	
2033	13	0,62	0,00	14 945 801,85	2 111 096,88	2 340 000,00	17 056 898,74	10 653 688,63	
2034	14	0,60	0,00	15 353 822,24	2 237 762,70	2 340 000,00	17 591 584,94	10 565 050,05	
2035	15	0,58	0,00	15 772 981,59	2 372 028,46	2 340 000,00	18 145 010,05	10 478 291,18	
		RAZEM	**68 400 000,00**	**153 706 145,31**	**19 954 296,10**	**26 000 000,00**	**242 060 441,41**	**180 751 078,19**	**6,95**

Tabela 21 Wariant III - wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	**Nakłady inwestycyjne**	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	**Koszty łączne**	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	4 500 000,00	0,00	0,00	0,00	4 500 000,00	4 160 502,96	
2024	4	0,89	55 100 000,00	6 672 952,00	602 186,00	1 235 000,00	62 375 138,00	55 451 270,55	
2025	5	0,85	20 300 000,00	9 380 176,00	877 786,00	1 690 000,00	30 557 962,00	26 121 073,99	
2026	6	0,82	14 500 000,00	11 488 724,00	1 110 668,00	2 015 000,00	27 099 392,00	22 273 724,86	
2027	7	0,79	14 500 000,00	13 706 784,00	1 364 220,00	2 340 000,00	29 571 004,00	23 370 394,00	
2028	8	0,76	0,00	14 080 979,20	1 446 073,20	2 340 000,00	15 527 052,40	11 799 283,71	
2029	9	0,73	0,00	14 465 389,94	1 532 837,59	2 340 000,00	15 998 227,53	11 689 748,15	
2030	10	0,70	0,00	14 860 295,08	1 624 807,85	2 340 000,00	16 485 102,93	11 582 214,65	
2031	11	0,68	0,00	15 682 742,42	1 722 296,32	2 340 000,00	17 405 038,74	11 758 220,53	
2032	12	0,65	0,00	15 682 742,42	1 825 634,10	2 340 000,00	17 508 376,52	11 373 107,53	
2033	13	0,62	0,00	16 110 881,29	1 935 172,14	2 340 000,00	18 046 053,43	11 271 511,73	
2034	14	0,60	0,00	16 550 708,35	2 051 282,47	2 340 000,00	18 601 990,82	11 171 873,64	
2035	15	0,58	0,00	17 002 542,69	2 174 359,42	2 340 000,00	19 176 902,11	11 074 183,13	
		RAZEM	**108 900 000,00**	**165 684 917,39**	**18 267 323,09**	**26 000 000,00**	**292 852 240,48**	**223 097 109,43**	**8,58**

IX. OSZACOWANIE EFEKTÓW ŚRODOWISKOWYCH

Efektem spalania paliw w silnikach spalinowych jest powstanie mieszanin różnorodnych substancji do których należą m.in.:

1) Pyły (PM10 i PM2.5)
2) Tlenki azotu
3) Tlenki siarki
4) Niemetanowe lotne związki organiczne (NMZLO)
5) Emisja pozaspalinowa (m.in. pył ze ścierających się klocków hamulcowych)
6) Dwutlenek węgla
7) Oddziaływanie hałasu

Ze względów na wymagania ekologiczne dąży się do ograniczenia emisji szczególnie szkodliwych dla środowiska oraz człowieka, a maksymalny dopuszczalny poziom emisji w pojazdach homologowanych na rynku europejskim określa obowiązująca od początku 2014 r. norma EURO6.

Tabela 22 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EURO6

Zanieczyszczenie	Dopuszczalny poziom	Jednostka
CO (tlenek węgla)	0,5	g/km
HC/THC (węglowodory)	0,17	g/km
NOx (tlenki azotu)	0,08	g/km
PM (pyły)	0,0045	g/km

Podstawą określenia emisyjności poszczególnych substancji jest wykonywana praca przewozowa – ilość przejechanych kilometrów oraz ilość spalonego paliwa.

Tabela 23 Wskaźniki emisyjności – autobus spalinowy w normie EURO6

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,00119	g/km
PM10	0,00331	g/km
NO2	0,080	g/km
SO2	1,100	g/km
NMLZO	0,250	g/km
Emisja pozaspalinowa	0,00600	g/km
CO2	2,670	kgCO2/l
Hałas	80,000	db

Norma EURO6 nie określa jednakże faktycznego poziomu emisji dwutlenku węgla. Do obliczeń w tym zakresie, przyjęto zatem wskaźniki Krajowego Operatora Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

Choć z definicji pojazdu zeroemisyjnego wynika, iż w miejscu eksploatacji pojazd elektryczny nie generuje emisji jakichkolwiek substancji szkodliwych, to jednak wykorzystywana energia elektryczna pozyskiwana jest z krajowego systemu elektroenergetycznego, który nie korzysta wyłącznie ze źródeł odnawialnych, a wręcz przeciwnie – oparty jest o wykorzystanie paliw kopalnych – w szczególności węgla. Tym samym w obliczeniach skutków środowiskowych inwestycji, uwzględniono również wskaźniki emisyjności energii elektrycznej w krajowym systemie elektroenergetycznym, wyliczone na podstawie informacji będących w posiadaniu Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

Tabela 24 Wskaźniki emisyjności – autobus elektryczny

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,00082	kg/MWh
PM10	0,00228	kg/MWh
NO2	0,60800	kg/MWh
SO2	0,53900	kg/MWh
NMLZO	0,00504	kg/MWh
Emisja pozaspalinowa	0,00600	g/km
CO2	758,00	kg/MWh
Hałas	60,00000	db

Obliczone emisje zanieczyszczeń zostały zmonetyzowane z wykorzystaniem danych nt. jednostkowych kosztów emisji poszczególnych zanieczyszczeń (NOx, NMLZO, PM2,5), opracowanych przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych[13].

W ocenie dotyczącej oddziaływania zmian klimatycznych, oszacowano emisję gazów cieplarnianych, wyrażoną jako ekwiwalent CO2. Emisję obliczono z zużycia paliwa, przy zastosowaniu wskaźników emisji zgodnych z metodyką „EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook". W odniesieniu do autobusów zeroemisyjnych koszty emisji obliczono jako emisję gazów cieplarnianych towarzyszącą eksploatacji pojazdów „na miejscu", czyli bez emisji w systemie elektroenergetycznym.

[13] CUPT: Tablice kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści

X. ANALIZA SPOŁECZNO-EKONOMICZNA

Celem analizy społecznej jest weryfikacja zasadności realizacji poszczególnych wariantów inwestycyjnych z perspektywy korzyści społecznych (np. poprawy bezpieczeństwa, ochrony zdrowia bądź ochrony środowiska), nawet w przypadku, gdyby taka inwestycja wykazywała ujemną efektywność finansową. Do korzyści społecznych w przypadku projektów związanych z transportem niskoemisyjnym zaliczyć należy przede wszystkim efekty środowiskowe inwestycji. Analiza środowiskowa sprowadza się, jednakże wyłącznie do przedstawienia danych w zakresie prognozowanej emisji poszczególnych substancji, porównanie jednak, czy korzyści środowiskowe, przeważają nad korzyściami ekonomicznymi możliwe jest, jednakże tylko w przypadku sprowadzenia wszystkich analizowanych wartości do wspólnej jednostki jaką jest koszt/korzyść wyrażony w polskich złotych.

Przypisanie skwantyfikowanej wartości do korzyści społecznych bądź środowiskowych umożliwiają tablice kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści Centrum Unijnych Projektów Transportowych CUPT[14]. Przyjęcie jakie natomiast korzyści powinniśmy brać pod uwagę w przypadku projektów z zakresu wymiany taboru autobusowego, wskazują zapisy dokumentów metodycznych, w szczególności:

1) „Niebieska księga - Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach i regionach”, Jaspers, 2015 r.;
2) „Analiza kosztów i korzyści projektów Transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej. Vademecum Beneficjenta", Centrum Unijnych Projektów Transportowych, Warszawa 2016 r.;
3) „Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020", Komisja Europejska, 2014 r.;
4) „Najlepsze praktyki w analizach kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków unijnych — Dla rozwoju infrastruktury i środowiska", Centrum Unijnych Projektów Transportowych, Warszawa 2014r;

[14] www.cupt.gov.pl

Przyjęte do analizy korzyści/koszty społeczne uwzględniają:

1) Koszty zanieczyszczeń powietrza, wynikające z emisji substancji szkodliwych;
2) Koszty hałasu, wynikające z przemieszczania się autobusów po drogach publicznych;
3) Koszty zmian klimatycznych, wynikające z emisji dwutlenku węgla CO2;

Zestawienie łącznych zdyskontowanych kosztów środowiskowych w poszczególnych wariantach, przedstawia tabela.

Tabela 25 Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych)

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
Koszty społeczno-ekonomiczne	10 659 857,12 zł	4 255 874,67 zł	9 523 226,52 zł	4 254 805,90 zł

Zdyskontowane koszty środowiskowe ujęto również w formie wozokilometra[15]:

Tabela 26 Zdyskontowane koszty środowiskowe w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm (środowiskowy)
Wariant bazowy	0,41 zł
Wariant I – elektryczny	0,16 zł
Wariant II – gazowy	0,37 zł
Wariant III - wodorowy	0,16 zł

Efektywność środowiskową wariantów porównać można również na bazie wskaźników ekonomicznych. Dla każdego z wariantów zostały wyliczone dwa wskaźniki:

- ENPV/C – ekonomiczna wartość bieżąca netto, ponieważ każdy z porównywanych wariantów oddziałuje na środowisko poprzez hałas i emisję, żaden z wariantów nie przynosi dodatnich korzyści dla środowiska – tym samym wartości ENPV/C są ujemne – im niższa wartość ujemna tym mniejsza szkodliwość wariantu dla środowiska;
- ERR/C – określający ekonomiczną stopę zwrotu z inwestycji. W przypadku, w którym analizowany wariant wykazuje ujemną wartość ENPV/C, wartość ERR/C jest niepoliczalna (z uwagi na brak korzyści).

[15] Przedstawiony koszt wozokilometra nie uwzględnia kosztów stałych świadczenia usług przewozowych (niezależnych od struktury taboru) do których należą m.in. koszty wynagrodzeń, zarządu i administracji.

Tabela 27 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach

Wskaźnik	**Wariant bazowy**	**Wariant I elektryczny**	**Wariant II gazowy**	**Wariant III wodorowy**
ENPV/C	- 11 086 251,40 zł	- 4 426 109,65 zł	- 9 904 155,58 zł	- 4 424 998,14 zł
ERR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

Niezależnie od przyjętej metodyki porównawczej, wyniki analizy są tożsame – najmniejszą szkodliwość dla środowiska wykazuje wariant wodorowy i elektryczny, gdyż są to pojazdy w miejscu eksploatacji zeroemisyjne. W przypadku autobusów elektrycznych, emisja zanieczyszczeń (i tym samym wskazany w tabeli koszt emisji) jest pochodną tzw. miksu energetycznego, a więc paliw z których wytwarzamy energię elektryczną. Pochodzi ona w głównej mierze ze źródeł kopalnych – węgla kamiennego i brunatnego, a tylko w kilkunastu procentach ze źródeł odnawialnych. Tym samym autobus elektryczny, chociaż w miejscu eksploatacji jest w zasadzie bezemisyjny (poza hałasem czy emisjami pozaspalinowymi) wpływa na zanieczyszczenie środowiska – w miejscu wytworzenia energii.

Szczegółowe wyniki analizy społeczno-ekonomicznej (środowiskowej) przedstawiono w tabelach zbiorczych.

Tabela 28 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	koszt na wozokilometr w zł
			zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	337 444,95	374 205,00	1 235 000,00	711 649,95	632 654,22	
2025	5	0,85	461 766,78	512 070,00	1 690 000,00	973 836,78	832 439,76	
2026	6	0,82	550 568,08	610 545,00	2 015 000,00	1 161 113,08	954 350,31	
2027	7	0,79	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	1 065 651,71	
2028	8	0,76	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	1 024 665,11	
2029	9	0,73	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	985 254,91	
2030	10	0,70	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	947 360,49	
2031	11	0,68	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	910 923,55	
2032	12	0,65	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	875 888,03	
2033	13	0,62	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	842 200,03	
2034	14	0,60	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	809 807,72	
2035	15	0,58	639 369,38	709 020,00	2 340 000,00	1 348 389,38	778 661,27	
		RAZEM	**7 104 104,24**	**7 878 000,00**	**26 000 000,00**	**14 982 104,24**	**10 659 857,12**	**0,41**

Tabela 29 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant I elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	71,35	284 050,00	1 235 000,00	284 121,35	252 582,85	
2025	5	0,85	97,64	388 700,00	1 690 000,00	388 797,64	332 345,85	
2026	6	0,82	116,41	463 450,00	2 015 000,00	463 566,41	381 017,80	
2027	7	0,79	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	425 454,12	
2028	8	0,76	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	409 090,50	
2029	9	0,73	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	393 356,25	
2030	10	0,70	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	378 227,16	
2031	11	0,68	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	363 679,97	
2032	12	0,65	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	349 692,27	
2033	13	0,62	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	336 242,57	
2034	14	0,60	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	323 310,16	
2035	15	0,58	135,19	538 200,00	2 340 000,00	538 335,19	310 875,16	
		RAZEM	**1 502,11**	**5 980 000,00**	**26 000 000,00**	**5 981 502,11**	**4 255 874,67**	**0,16**

Tabela 30 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant II – gazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	289 968,72	345 800,00	1 235 000,00	635 768,72	565 196,07	
2025	5	0,85	396 799,30	473 200,00	1 690 000,00	869 999,30	743 679,05	
2026	6	0,82	473 106,86	564 200,00	2 015 000,00	1 037 306,86	852 590,62	
2027	7	0,79	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	952 024,27	
2028	8	0,76	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	915 407,95	
2029	9	0,73	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	880 199,95	
2030	10	0,70	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	846 346,11	
2031	11	0,68	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	813 794,33	
2032	12	0,65	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	782 494,55	
2033	13	0,62	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	752 398,61	
2034	14	0,60	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	723 460,20	
2035	15	0,58	549 414,41	655 200,00	2 340 000,00	1 204 614,41	695 634,81	
		RAZEM	**6 104 604,58**	**7 280 000,00**	**26 000 000,00**	**13 384 604,58**	**9 523 226,52**	**0,37**

Tabela 31 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant III - wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	0,00	284 050,00	1 235 000,00	284 050,00	252 519,42	
2025	5	0,85	0,00	388 700,00	1 690 000,00	388 700,00	332 262,39	
2026	6	0,82	0,00	463 450,00	2 015 000,00	463 450,00	380 922,12	
2027	7	0,79	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	425 347,28	
2028	8	0,76	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	408 987,77	
2029	9	0,73	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	393 257,47	
2030	10	0,70	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	378 132,18	
2031	11	0,68	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	363 588,64	
2032	12	0,65	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	349 604,46	
2033	13	0,62	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	336 158,13	
2034	14	0,60	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	323 228,97	
2035	15	0,58	0,00	538 200,00	2 340 000,00	538 200,00	310 797,09	
		RAZEM	**0,00**	**5 980 000,00**	**26 000 000,00**	**5 980 000,00**	**4 254 805,90**	**0,16**

XI. PODSUMOWANIE I REKOMENDACJE

W ramach analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Częstochowie autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, przeanalizowano zasadność modernizacji taboru autobusowego w czterech wariantach:

1) Wariancie bazowym – z wykorzystaniem autobusów o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy EURO6;
2) Wariancie alternatywnym I – z wykorzystaniem autobusów o napędzie elektrycznym,;
3) Wariancie alternatywnym II – z wykorzystaniem autobusów o napędzie gazowym;
4) Wariancie alternatywnym III – z wykorzystaniem autobusów zasilanych wodorem;

Pierwszym elementem analizy była ocena techniczna wdrożenia każdego z ww. rozwiązań. Analiza wykazała konieczność dodatkowych nakładów infrastrukturalnych, w przypadku zakupu pojazdów elektrycznych i wodorowych związanych z ładowaniem pojazdów.

Drugi element analizy stanowiła ocena finansowa inwestycji.

W kosztach realizacji inwestycji uwzględniono:

1) Koszty początkowe;
2) Koszty paliwa/energii;
3) Uśrednione koszty eksploatacji i serwisowania;

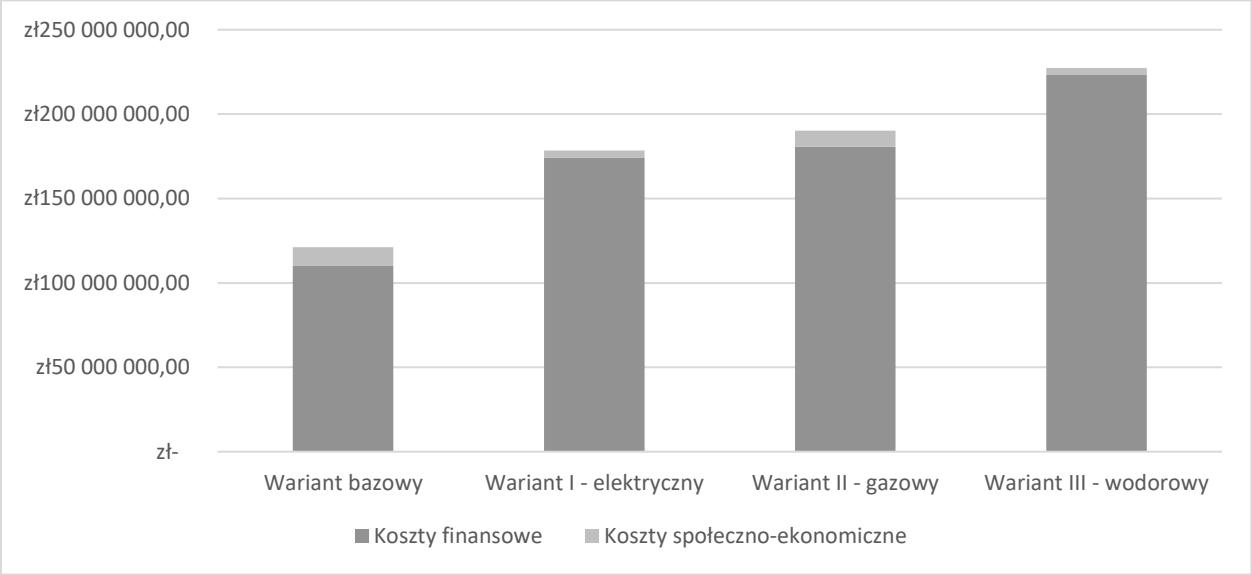
Przyjmując horyzont czasowy eksploatacji autobusów wynoszący 15 lat, zdyskontowane wydatki sprowadzono do wartości jednostkowej – kosztu wozokilometra. Z uwagi na wysokie wydatki inwestycyjne, analiza wykazała, że nawet w przypadku niskich kosztów eksploatacyjnych, wariant zakupu autobusów elektrycznych jest dalece mniej opłacalny od zakupu autobusów zasilanych olejem napędowym.

W trzecim elemencie analizy podjęto problematykę efektów środowiskowych inwestycji, szacując wpływ inwestycji na emisję substancji szkodliwych do atmosfery. Z uwagi na trudności porównywania emisji odmiennych substancji (m.in. dwutlenku węgla czy związków azotu), wielkości emisji substancji zostały zmonetyzowane do wspólnej porównywalnej wartości wyrażonej w złotych polskich na bazie wskaźników z opracowań teoretycznych.

Kalkulacji oraz porównania skwantyfikowanych skutków środowiskowych inwestycji dokonano w ramach analizy społeczno-ekonomicznej. Łączne wyniki analizy finansowej oraz społeczno-ekonomicznej przedstawia tabela oraz wykres zamieszczony poniżej.

Tabela 32 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane – bez dofinansowania

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
Zdyskontowane koszty finansowe	110 410 981,79 zł	174 175 781,00 zł	180 751 078,19 zł	223 097 109,43 zł
Zdyskontowane koszty społeczno-ekonomiczne	10 659 857,12 zł	4 255 874,67 zł	9 523 226,52 zł	4 254 805,90 zł
SUMA	**121 070 838,91 zł**	**178 431 655,66 zł**	**190 274 304,71 zł**	**227 351 915,34 zł**

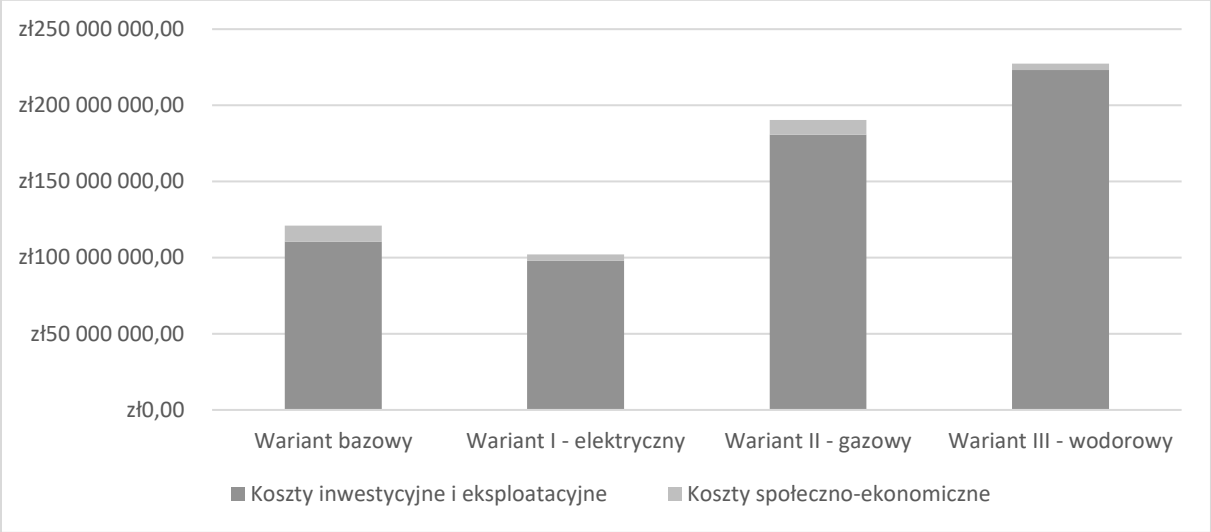


Rysunek 15 Wyniki AKK – porównanie – bez dofinansowania

Łączne wyniki analizy finansowej oraz społeczno-ekonomicznej **w przypadku pozyskania dofinasowania na zakup autobusów elektrycznych i infrastruktury towarzyszącej,** przedstawia tabela oraz wykres zamieszczony poniżej.

Tabela 33 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane – z dofinansowaniem 75%

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
Zdyskontowane koszty finansowe	110 410 981,79 zł	97 906 249,45 zł	180 751 078,19 zł	223 097 109,43 zł
Zdyskontowane koszty społeczno-ekonomiczne	10 659 857,12 zł	4 255 874,67 zł	9 523 226,52 zł	4 254 805,90 zł
SUMA	**121 070 838,91 zł**	**102 162 124,12 zł**	**190 274 304,71 zł**	**227 351 915,34 zł**



Rysunek 16 Wyniki AKK - porównanie - z dofinansowaniem 75%

Najmniej korzystne parametry pod względem kosztowym i społecznym (koszty emisji i zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska) wykazuje wariant zakupu autobusów zeroemisyjnych zasilanych wodorem. W przypadku wariantu zakupu autobusów zasilanych energią elektryczną, efekt zastosowania czystszego paliwa, kompensowany jest wysokim kosztem inwestycyjnym. Koszt inwestycji w tabor zeroemisyjny jest praktycznie dwukrotnie wyższy niż w tabor konwencjonalny i chociaż koszt energii (paliwa) w autobusie elektrycznym wynosi 1/2 kosztów zużycia paliwa w pojeździe spalinowym (przy obecnej gwarantowanej, maksymalnej cenie energii) to niestabilność rynku energetycznego (w roku 2022 ceny hurtowe dochodziły do 1800 zł/MWh) generuje dużą niepewność co do ostatecznego kosztu eksploatacji autobusów elektrycznych.

Zakup pojazdów elektrycznych wiąże się również z okresową koniecznością wymiany baterii pokładowych pojazdów. Koszt ten sięgać może nawet 1/3 wartości pojazdu (ok. 900 000 zł). Żywotność baterii szacować można aktualnie na ok. 8-10 lat, choć w zależności od rodzaju baterii oraz sposobu ich eksploatacji może być krótsza.

Otrzymane wyniki analizy przeprowadzonej zgodnie z wymogami Ustawy o elektromobilności oraz przyjętą metodyką wykazują, iż wprowadzenie taboru zeroemisyjnego (autobusów elektrycznych) do systemu komunikacyjnego miasta jest pod pewnymi warunkami rozwiązaniem najkorzystniejszym.

Warunkiem tym jest możliwość zakupu autobusów oraz infrastruktury towarzyszącej z dofinansowaniem zewnętrznym wynoszącym co najmniej 75%, dzięki czemu jednostkowy koszt autobusu elektrycznego będzie porównywalny z autobusami zasilanymi ON lub CNG.

W związku z powyższym, organizator, zlecając świadczenie usług komunikacji miejskiej w rozumieniu ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym, pod warunkiem uzyskania dofinansowania zewnętrznego powinien spełnić określony w art. 36 Ustawy o elektromobilności udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów. Zgodnie z art. 37 Ustawy, przystąpienie do ponownej analizy powinno nastąpić nie później niż w terminie następnych 36 miesięcy.

XII. SPIS TABEL

Tabela 1 Aktualny stan floty autobusowej 18
Tabela 2 Zrealizowane wozokilometry oraz średnie zużycie paliwa 22
Tabela 4 Wymogi ustawowe w zakresie taboru zeroemisyjnego - zestawienie 32
Tabela 5 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów 33
Tabela 5 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant bazowy 34
Tabela 6 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant I - elektryczny 35
Tabela 7 Symulacja wymogów przetargowy wariant II – gazowy 35
Tabela 8 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant III – wodorowy 35
Tabela 9 Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor 36
Tabela 10 Założenia kosztów inwestycyjnych w infrastrukturę 36
Tabela 11 Założenia kosztu wymiany baterii 36
Tabela 12 Założenia kosztu jednostkowego paliwa 37
Tabela 13 Założenia kosztów remontowych i serwisowych 37
Tabela 10 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych 37
Tabela 15 Wskaźniki finansowe w wariantach 38
Tabela 16 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm 41
Tabela 17 Zestawienie wskaźników finansowych z symulacją uzyskania dotacji w wysokości 75% kosztów inwestycji. 42
Tabela 18 Wariant bazowy 43
Tabela 19 Wariant I - elektryczny 44
Tabela 20 Wariant II - gazowy 45
Tabela 21 Wariant III - wodorowy 46
Tabela 22 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EURO6 47
Tabela 23 Wskaźniki emisyjności – autobus spalinowy w normie EURO6 47
Tabela 24 Wskaźniki emisyjności – autobus elektryczny 48
Tabela 25 Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych) 50
Tabela 26 Zdyskontowane koszty środowiskowe w ujęciu na wzkm 50
Tabela 27 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach 51
Tabela 28 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy 52
Tabela 29 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant I elektryczny 53
Tabela 30 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant II – gazowy 54
Tabela 31 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant III - wodorowy 55
Tabela 32 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane – bez dofinansowania 57
Tabela 33 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane – z dofinansowaniem 57

XIII. SPIS ILUSTRACJI

Rysunek 1 Graficzny schemat wykonania obowiązku ustawowego w zakresie sporządzenia Analizy Kosztów Korzyści 8
Rysunek 2 Obszar objęty siecią komunikacji zbiorowej 16
Rysunek 3 Przykładowa lokalizacja pantografowych stacji ładowania 23
Rysunek 4 Schemat budowy autobusu elektrycznego 25
Rysunek 5 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen 28
Rysunek 6 Autobus komunikacji miejskiej w Lidzbarku Warmińskim, źródło: UM Lidzbark Warmiński. 29
Rysunek 7 Autobus komunikacji miejskiej w Sieradzu, źródło: UM Sieradz 29
Rysunek 8 Autobus komunikacji miejskiej w Świdnicy, źródło: UM Świdnica 30
Rysunek 9 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie, źródło: UM Rzeszów 30
Rysunek 10 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie, źródło: UM Rzeszów 31
Rysunek 11 Autobus komunikacji miejskiej w Koninie, źródło: MZK Konin 31
Rysunek 12 Wyniki AKK - porównanie 57