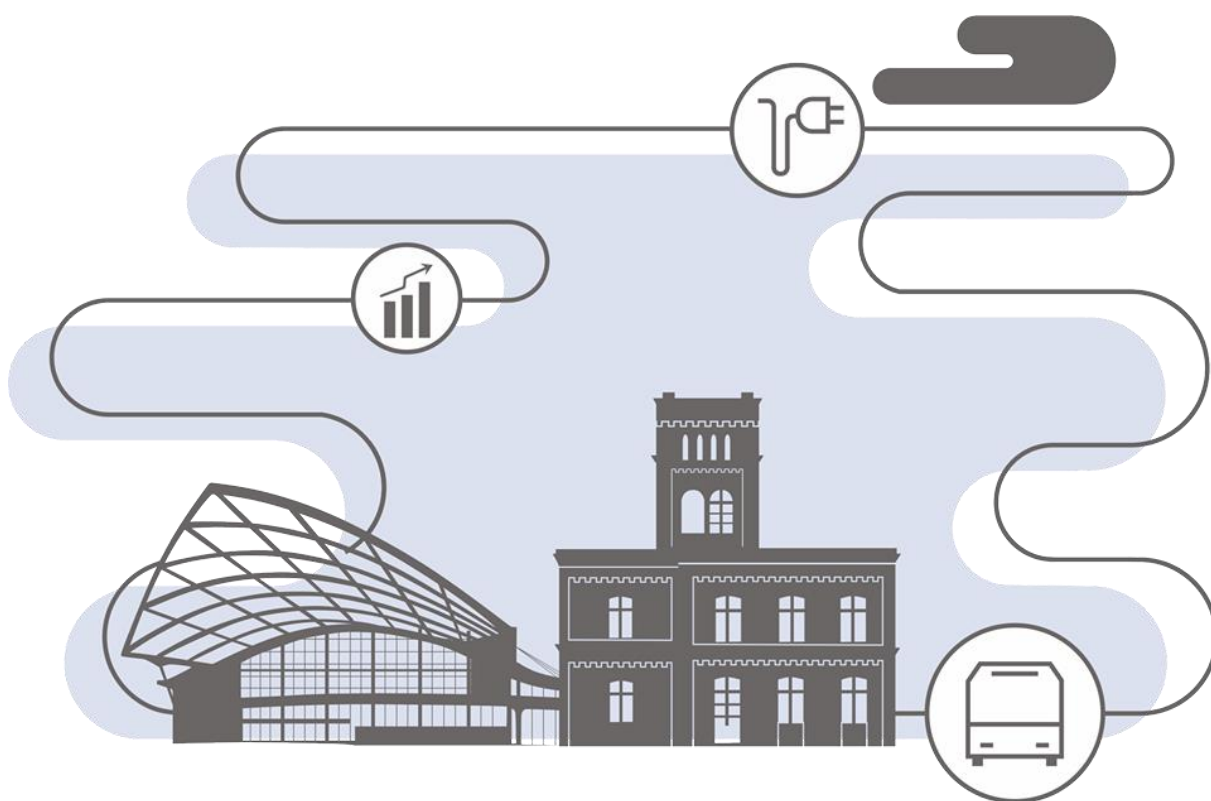




ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI

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

- wersja do konsultacji społecznych -

LISTOPAD 2021

GRUPA CDE SP. Z O.O. | Powstańców Śląskich 1 | 43-190 Mikołów

Opracowanie:



Grupa CDE

Grupa CDE Sp. z o.o.

Biuro:

ul. Powstańców Śląskich 1

43-190 Mikołów

Tel/fax: 32 326 78 17

e-mail: biuro@ekocde.pl

Zespół autorów:

Michał Mroskowiak

Kamil Krzoski



Spis treści

I.	Cel i podstawa przeprowadzenia analizy	6
II.	Metodyka przeprowadzenia analizy	9
III.	Charakterystyka aktualnego systemu komunikacji miejskiej	11
IV.	Możliwe scenariusze inwestycyjne	22
V.	Analiza techniczna	25
VI.	Analiza finansowa	49
VII.	Oszacowanie efektów środowiskowych wariantów inwestycyjnych	59
VIII.	Analiza społeczno-ekonomiczna	62
IX.	Analiza wrażliwości i ryzyka	69
X.	Wnioski i rekomendacje	71
XI.	Spis tabel	76
XII.	Spis ilustracji	77



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 Zarząd Dróg i Transportu w Łodzi.
- 14) Operator - samorządowy zakład budżetowy oraz 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. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 t.j.).
- 19) Wzkm – wozokilometr, jednostka miary długości drogi przebytej przez autobus komunikacji miejskiej.



I. CEL I PODSTAWA PRZEPROWADZENIA ANALIZY

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 t.j.) 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 (Dz. U. z 2021 r. poz. 1371 t.j.) podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego wynosi co najmniej 30%¹. Powyższy obowiązek w pełni 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.²

Równocześnie zobowiązana 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 substancji³.

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;
- 3) analizę społeczno-ekonomiczną uwzględniającą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji³.

¹ Art. 35 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 t.j.)

² Art. 68 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 t.j.)

³ Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 t.j.)



Analiza rozstrzygać powinna o zasadności udziału autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie pojazdów, a w przypadku w którym, analiza 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.

Termin na sporządzenie analizy po raz pierwszy minął 31 grudnia 2018 r.⁴. W przypadku, w którym Analiza wskaże jednak na zasadność wykorzystania w publicznym transporcie zbiorowym autobusów zeroemisyjnych, wnioski i zmiany wynikające z Analizy należy uwzględnić w projekcie bądź aktualizacji planu transportowego⁵.

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 t.j.)⁶.

Niezwłocznie po sporządzeniu, Analizę należy przekazać:

- 1) ministrowi właściwemu do spraw energii,
- 2) ministrowi właściwemu do spraw gospodarki,
- 3) ministrowi właściwemu do spraw środowiska.

Kolejne Analizy, weryfikujące zasadność wykorzystania autobusów zeroemisyjnych na potrzeby świadczenia usług komunikacji miejskiej sporządzić należy nie dłuższym niż co 36 miesięcy.

Z uwagi na fakt, iż Miasto Łódź zamieszkuje 679 941 mieszkańców (wg. danych GUS na 31.12.2019 r.), w stosunku do Miasta Łodzi, aktualizuje się obowiązek sporządzenia Analizy Kosztów i Korzyści o której mowa w art. 36 Ustawy.

Wykonanie Analizy zlecono przedsiębiorstwu Grupa CDE Sp. z o.o. z siedzibą w Mikołowie na podstawie umowy zawartej pomiędzy Zarządem Dróg i Transportu w Łodzi, a Grupą CDE Sp. z o.o.

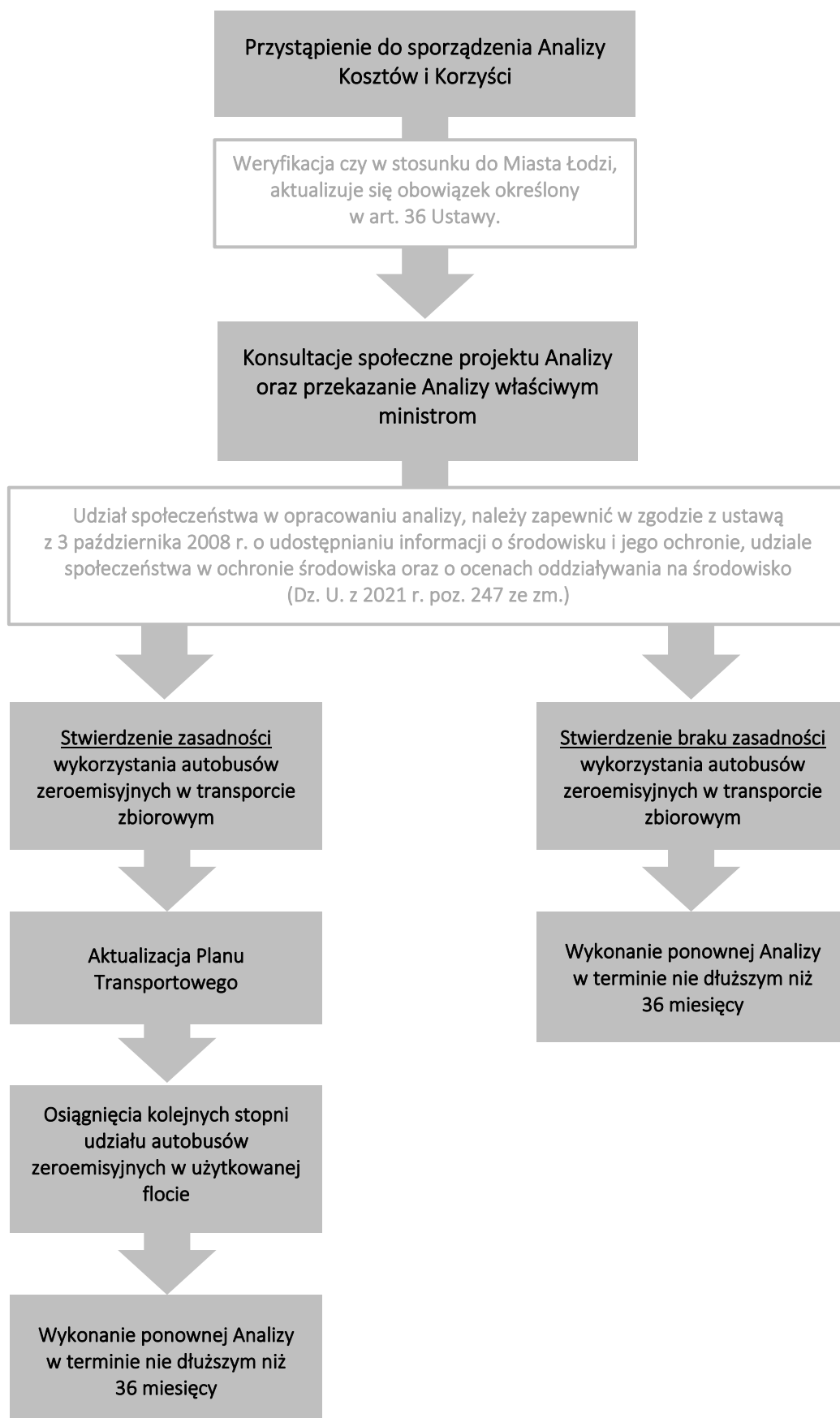
Ramowy harmonogram przeprowadzenia Analizy zgodnie z zapisami ustawy o elektromobilności przedstawiono na rysunku zamieszczonym poniżej.

⁴ Art. 72 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 t.j.)

⁵ Art. 12 ust. 2a Ustawy o publicznym transporcie zbiorowym z dnia 16 grudnia 2010 r. (Dz. U. z 2021 r. poz. 1371)

⁶ Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 110 t.j.)





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



II. METODYKA PRZEPROWADZENIA ANALIZY

Określony w art. 37 ust. 2 ustawy o elektromobilności minimalny zakres Analizy, nie determinuje wiążącego 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 współfinansowanych 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 udostępnione przez Zarząd Dróg i Transportu w Łodzi (ZDiT w Łodzi) obejmują:

- 1) Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Łodzi do roku 2025;
- 2) Studium wykonalności dla projektu pn. Program Niskoemisyjnego Transportu Miejskiego – zakup 17 autobusów elektrycznych wraz z wybudowaniem infrastruktury niezbędnej do ich obsługi;
- 3) Rozkład jazdy linii autobusowych;
- 4) Schematy linii autobusowych;
- 5) Mapa komunikacji Miejskiej.

Pozostałe podstawy 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 (Dz. Urz. UE z dnia 28 października 2014 r. poz. L 307/1);
- 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 (Dz. Urz. UE z dnia 14 czerwca 2018 r. poz. L 151/1);
- 3) Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2021 r. poz. 1371 t.j.);
- 4) Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r. poz. 1077 t.j.).



Organizatorem publicznego transportu zbiorowego na zdefiniowanym wyżej obszarze jest Zarząd Dróg i Transportu w Łodzi (ZDiT), będący jednostką budżetową Miasta Łódź, natomiast operatorem spółka MPK – Łódź Sp. z o.o.

MPK – Łódź Sp. z o.o., świadczy usługi na podstawie umowy o świadczenie usług publicznych w ramach organizacji lokalnego transportu zbiorowego. Umowę zawarto w celu wykonania Uchwały Nr C/1834/10 Rady Miejskiej w Łodzi z dnia 3 listopada 2010 r. w sprawie powierzenia Miejskiemu Przedsiębiorstwu Komunikacyjnemu – Łódź Spółka z o.o. wykonywania zadania własnego Miasta Łódź z zakresu lokalnego transportu zbiorowego z uwzględnieniem przepisów Rozporządzenia Nr 1370/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie usług publicznych w zakresie kolejowego i drogowego transportu pasażerskiego.

Zakres powierzonego zadania obejmuje:

- 1) świadczenie usług przewozowych:
 - a) tramwajowych,
 - b) autobusowych, na które składają się:
 - komunikacja dzienna i nocna,
 - przewozy rekreacyjne i okazjonalne,
 - przewozy wykonywane komunikacją zastępczą,
- 2) przewozów osób niepełnosprawnych,
- 3) publikowanie rozkładów jazdy, całodobową organizację i nadzór ruchu,
- 4) utrzymanie konserwację i remonty bieżące infrastruktury torowo- sieciowej na obszarze Miasta Łódź,
- 5) dystrybucję i kontrolę biletów wraz ze świadczeniem usług w zakresie obsługi pasażera.

Zarząd Dróg i Transportu jest jednostką organizacyjną Miasta Łódź utworzoną na podstawie uchwały Nr VIII/104/03 Rady Miejskiej w Łodzi z dnia 5 marca 2003 r. w sprawie utworzenia jednostki budżetowej o nazwie „Zarząd Dróg i Transportu”. Zgodnie ze statutem Zarządu Dróg i Transportu stanowiącym załącznik do uchwały Nr LVIII/1218/13 Rady Miejskiej w Łodzi z dnia 6 marca 2013 r.



w sprawie nadania statutu jednostce budżetowej o nazwie Zarząd Dróg i Transportu przedmiotem jego działalności jest:

- 1) wykonywanie w imieniu Prezydenta Miasta Łodzi obowiązków zarządcy dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych, gminnych, zwanych dalej drogami publicznymi w granicach administracyjnych miasta Łodzi oraz zarządcy terenu w zakresie dróg wewnętrznych zlokalizowanych na terenach zarządzanych przez Miasto Łódź, przekazanych do zarządu jednostce, w szczególności: planowanie, budowa, przebudowa i remonty dróg oraz utrzymanie i ochrona dróg i drogowych obiektów inżynierskich w rozumieniu ustawy z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych, z wyłączeniem obowiązków utrzymania czystości i porządku na drogach, utrzymania zieleni przydrożnej oraz zadań zarządcy dróg związanych z ochroną środowiska;
- 2) wykonywanie, w imieniu Prezydenta Miasta Łodzi, zadań zarządcy dróg publicznych i wewnętrznych, o których mowa w pkt 1, wynikających z ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym;
- 3) wykonywanie, w imieniu Prezydenta Miasta Łodzi, zadań organizatora publicznego transportu zbiorowego, w szczególności: planowanie, zlecanie i kontrola jakości usług przewozowych, dystrybucja biletów obowiązujących w lokalnym transporcie zbiorowym oraz zapewnienie odpowiednich warunków funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego, w rozumieniu ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym;
- 4) wydawanie, w imieniu Prezydenta Miasta Łodzi, zezwoleń na wykonywanie przewozów regularnych i przewozów regularnych specjalnych w krajowym transporcie drogowym; inicjowanie i realizacja, w imieniu Prezydenta Miasta Łodzi, zadań własnych gminy w zakresie publicznego transportu zbiorowego obejmujących budowę, przebudowę, rozbudowę, modernizację i remonty obiektów i urządzeń związanych z funkcjonowaniem publicznego transportu zbiorowego.

Na obszarze transportowym funkcjonują również sieci komunikacyjne kolejowe, a także międzymiastowe linie przewoźników prywatnych, jednakże jako nieobjęte Analizą nie przedstawiono ich wykazu oraz charakterystyki.

Celem analizy kosztów i korzyści nie jest jednak wytyczenie nowych, modyfikacja istniejących tras komunikacyjnych, bądź analiza potoków pasażerskich. Elementy te podlegają pogłębionej



charakterystyce w ramach planu transportowego. Analiza kosztów i korzyści, skupia się przede wszystkim na aspektach dotyczących taboru. Poniżej zatem 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) Przystanki krańcowe i węzłowe – 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 wariantach analizującym zasadność zakupu autobusów elektrycznych konieczne jest wytypowanie miejsc w których montaż stacji ładowania byłby najbardziej uzasadniony;



Ad. 1 Charakterystyka taboru

Za obsługę linii komunikacyjnych odpowiedzialny jest operator (MPK - Łódź) realizujący obsługę linii z wykorzystaniem własnego taboru autobusowego. Szczegółowe zestawienie taboru będącego w posiadaniu MPK Łódź, według stanu na koniec 1 czerwca 2021 roku, zamieszczono w tabeli.

Fotografia	Typ	Liczba pojazdów	Klasa
	Solaris nUrbino 18	20	MEGA
	Solaris nUrbino 12	26	MAXI
	Isuzu NovoCiti Life	42	MIDI
	Mercedes-Benz 628G B02 Conecto	45	MEGA

Fotografia	Typ	Liczba pojazdów	Klasa
	Mercedes-Benz 628G B01 Conecto	46	MAXI
	Solaris Urbino 18 EEV	15	MEGA
	Solaris Urbino 12 EEV	31	MAXI
	Solaris Urbino 18 E6	20	MEGA
	Solaris Urbino 12 E6	20	MAXI

Fotografia	Typ	Liczba pojazdów	Klasa
	Solaris Urbino 18	62	MEGA
	Mercedes-Benz 628 Conecto G	10	MEGA
	Mercedes-Benz 628 Conecto LF	15	MEGA
	Mercede-Benz O530 Citaro	12	MAXI
	Mercedes-Benz O345G Conecto	12	MEGA

Fotografia	Typ	Liczba pojazdów	Klasa
	Volvo 7700A	12	MEGA
	Volvo 7700	5	MAXI
	Volvo 7000	2	MAXI
	Jelcz M121MB/3	18	MAXI

Zgodnie z zamieszczonym powyżej danymi, łączny wykorzystywany w przewozach tabor liczy 414 pojazdy, z czego:

- 42 pojazdy stanowią autobusy klasy MIDI (długość pojazdu 8-10 metrów),
- 161 pojazdów stanowi autobusy klasy MAXI (długość pojazdu ok. 12 metrów),
- 211 pojazdów stanowi pojazdy klasy MEGA (długość pojazdu 15-18 metrów),

MPK, jest w trakcie znaczącej modernizacji posiadanej floty pojazdów. W ramach dziesięcioletniego wynajmu 51 pojazdów hybrydowych, dostarczonych zostanie 29 jednoczęłonowych i 22 przegubowych autobusów, które zostaną rozdysponowane między zajezdniami na



Limanowskiego i na Nowych Sadach. W I kw. 2022 jest również oczekiwana dostawa 17 autobusów elektrycznych.

Ad. 2 Przystanki węzłowe i końcowe

Plan transportowy klasyfikuje przystanki węzłowe według kilku kategorii:

1. Węzeł główny – zlokalizowany w centrum miasta odpowiada za integrację przewozów wojewódzkich i krajowych z przewozami miejskimi;
2. Węzeł aglomeracyjny – węzeł przesiadkowy, znajdujący się w ścisłym centrum miasta, integrujący linie magistralne zapewniające sprawny dojazd do odległych dzielnic i innych punktów przesiadkowych;
3. Węzeł miejskie – węzeł integrujący przewozy wojewódzkie i aglomeracyjne z przewozami miejskimi;
4. Węzeł osiedlowy – węzeł przesiadkowy z linii dowozowych na linie magistralne zapewniające dojazd do centrum miasta.

Lista węzłów w podziale na kategorie zamieszczono w tabeli zamieszczonej poniżej:

LP.	Rodzaj węzła	Nazwa
1	Węzeł główny	Łódź Fabryczna
2	Węzeł aglomeracyjny	Piotrkowska Centrum
3	Węzeł aglomeracyjny	Dworzec Łódź Kaliska
4	Węzeł aglomeracyjny	Dworzec Łódź Widzew
5	Węzeł miejski	Cmentarz Radogoszcz
6	Węzeł miejski	Dworzec Łódź Żabinec
7	Węzeł miejski	Kurczaki
8	Węzeł miejski	Legionów
9	Węzeł miejski	Plac Niepodległości
10	Węzeł miejski	Rondo Lotników Lwowskich
11	Węzeł miejski	Rondo Powstańców 1863 r.
12	Węzeł miejski	Dworzec Łódź Dąbrowa
13	Węzeł miejski	Dworzec Łódź Retkinia
14	Węzeł miejski	Piłsudskiego
15	Węzeł miejski	Strykowska
16	Węzeł miejski	Zachodnia - Limanowskiego
17	Węzeł osiedlowy	Aleksandrowska - Traktorowa
18	Węzeł osiedlowy	Chocianowice IKEA
19	Węzeł osiedlowy	Dworzec Łódź Chojny
20	Węzeł osiedlowy	Janów
21	Węzeł osiedlowy	Narutowicza - Kopcińskiego
22	Węzeł osiedlowy	Pabianicka - Rudzka



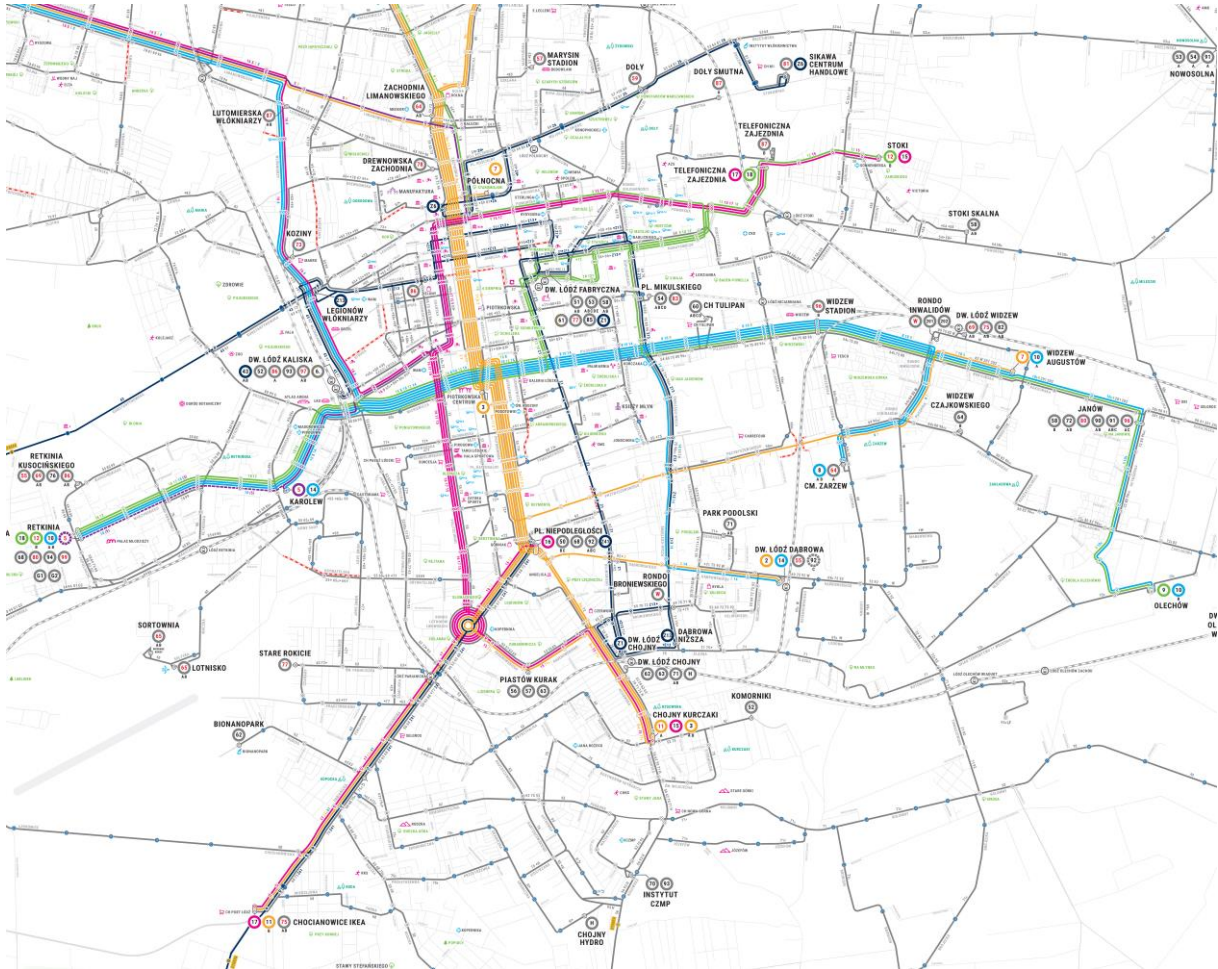
LP.	Rodzaj węzła	Nazwa
23	Węzeł osiedlowy	Plac Barlickiego
24	Węzeł osiedlowy	Plac Pamięci Narodowej
25	Węzeł osiedlowy	Plac Wolności
26	Węzeł osiedlowy	Przybyszewskiego - Niciarnia
27	Węzeł osiedlowy	Rokicińska - Gogola
28	Węzeł osiedlowy	Zgierska - Sikorskiego
29	Węzeł osiedlowy	Rondo Solidarności
30	Węzeł osiedlowy	Inflancka
31	Węzeł osiedlowy	Dworzec Łódź Pabianicka
32	Węzeł osiedlowy	Dworzec Łódź Radogoszcz Zachód
33	Węzeł osiedlowy	Dworzec Łódź Stoki
34	Węzeł osiedlowy	Śmigłego - Rydza - Przybyszewskiego
35	Węzeł osiedlowy	Świtezianki
36	Węzeł osiedlowy	Widzew Stadion
37	Węzeł osiedlowy	Plac Mikulskiego
38	Węzeł osiedlowy	Wyszyńskiego - Retkińska
39	Węzeł osiedlowy	Zachodnia - Legionów
40	Węzeł osiedlowy	Zachodnia - Lutomierska
41	Węzeł osiedlowy	Zachodnia - Zielona

„Program Niskoemisyjnego Transportu Miejskiego – Zakup 17 autobusów elektrycznych wraz z wybudowaniem infrastruktury niezbędnej do ich obsługi” określa rekomendowane lokalizacje infrastruktury szybkiego ładowania (stacji pantografowych), która będzie mogła zostać wykorzystana do ładowania autobusów elektrycznych w czasie postojów technicznych i są to:

1. Pętla „Mikulskiego – ul. Tuwima”
2. Pętla „Retkinia Kusocińskiego”
3. Pętla „Łódź Fabryczna – ul. Rodziny Poznańskich”
4. Pętla „Janów - Hetmańska”
5. Pętla „Retkinia Wyszyńskiego”
6. Pętla „Cmentarz Szczecińska”



Lokalizację najważniejszych węzłów przesiadkowych w centralnej części Miasta, przedstawia mapa zamieszczona poniżej.



Rysunek 3 Węzły przesiadkowe: <https://dzienniklodzki.pl/wezly-przesiadkowe-zacheca-lodzian-do-powrotu-do-transportu-zbiorowego/ar/9413449>

IV. MOŻLIWE SCENARIUSZE INWESTYCYJNE

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

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

Definicja pojazdu zeroemisyjnego, nie jest 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 do napędu:

- 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);

Zasadniczo, zamierzeniem ustawodawcy jest dążenie do zwiększenia udziału pojazdów zeroemisyjnych w miejskich taborach autobusowych, jednakże mając na uwadze wysokie koszty takiej transformacji i podjęte już przez liczne samorządy inwestycje z zakresu zakupu autobusów napędzanych gazem ziemnym, przeanalizowano ekonomiczne efekty wprowadzenia do miks taborowego pojazdów napędzanych gazem CNG.

Spełniając wymogi Ustawy, w ramach analizy odniesiono się zatem do możliwości modernizacji aktualnej floty pojazdami uznawanymi za spełniające wymogi art. 35-36 Ustawy o elektromobilności. Analizowane warianty inwestycyjne przedstawiają się zatem 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 – tabor zasilany energią elektryczną** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem elektrycznym, dla których zasilanie zapewniają pokładowe magazyny bateryjne.
- 3) **Wariant II – tabor zasilony sprężonym gazem ziemnym (CNG)** - wariant modernizacji floty autobusowej, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym.
- 4) **Wariant III – tabor zasilanych paliwem wodorowym** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym.

W każdym z analizowanych wariantów aktualna flota przewozowa zostałaby uzupełniona o autobusy w zakresie pozwalającym spełnić minimalne wymogi ustawowe, a więc zgodnie z tabelą:

Tabela 1 Planowany udział zmodernizowanych pojazdów w całkowitym taborze miejskim

Termin	Wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie	Liczba pojazdów we flocie	Liczba pojazdów zeroemisyjnych	Faktyczny udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie
1 stycznia 2018	0%	414	0	0
1 stycznia 2021	5%	414	21	5,07%
1 stycznia 2023	10%	414	42	10,14%
1 stycznia 2025	20%	414	84	20,29%
1 stycznia 2028	30%	414	125	30,19%

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;
- 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;



V. ANALIZA TECHNICZNA

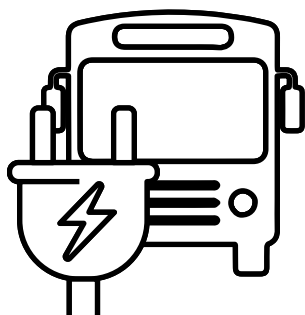
Dokonując oceny wytypowanych wariantów inwestycyjnych z perspektywy technicznej, uwzględniono następujące uwarunkowania:

- 1) Aktualny stan wiedzy oraz dostępne na rynku rozwiązania techniczne;
- 2) Uwarunkowania lokalne;

Ad. 1 Dostępne rozwiązania techniczne

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, zaostrożona do normy EURO 6D) 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 37-38 l/100km, natomiast autobusu klasy MEGA 55 l/100km. Przy cenie 5,72 zł/litr brutto oleju napędowego, koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosi 212,00 zł, a autobusem klasy mega 315,00 zł. Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 l, zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 650 km.

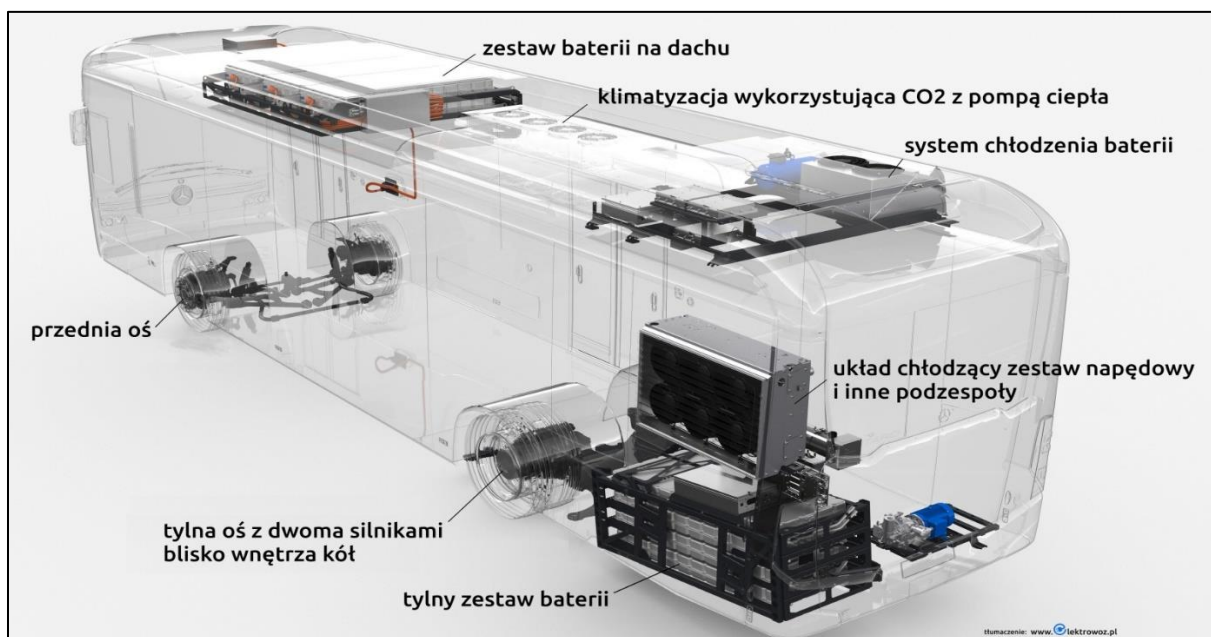
Wykorzystanie autobusów z napędem konwencjonalnym nie wiąże się z koniecznością ponoszenia dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych. W zakresie zaopatrzenia w paliwo autobusy mogą korzystać bowiem z istniejącej na terenie miasta infrastruktury stacji paliw.



Pierwszym wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego energią elektryczną z baterii akumulatorowych. Autobusy elektryczne dostępne są w wariantach hybrydowych (z dodatkowym silnikiem spalinowym) oraz w wariantach całkowicie elektrycznych. 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. Zużycie energii w eksploatacji autobusu wynosi 1,3 kWh/km w przypadku autobusów klasy MAXI oraz 1,6 kWh/km w przypadku autobusów klasy MEGA, co przy koszcie 1 kWh energii elektrycznej wynoszącym ok. 0,42 zł/kWh brutto, daje koszt (wyłącznie w zakresie kosztów energii) ok. 54,6 zł/100 km dla autobusu klasy MAXI 67,2 zł/100 km dla autobusu klasy MEGA. Deklarowany przez producentów zasięg autobusów elektrycznych przy pełnym naładowaniu baterii wynosi ok. 150-200 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.



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 – opadów 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 dla systemów ładowania nocnego (z czasem pełnego ładowania wynoszącym ok. 8-10 h) oraz od 200 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. 30 000 zł, dla stacji o mocy 50 kW – 100 kW to koszt ok. 100 000 zł, natomiast stacji pantografowej o mocy pow. 200 kW – 750 000 zł (przy założeniu, iż nie jest wymagana budowa stacji transformatorowej). W przypadku takiej konieczności, łączną inwestycję w stację ładowania pantografowego należy szacować na 1 mln zł i to nie doliczając prac dodatkowych związanych np. z przebudową zatok. Trwają również prace nad rozwinięciem technologii PowerSwap, która na pętlach postojowych bądź w zajezdni

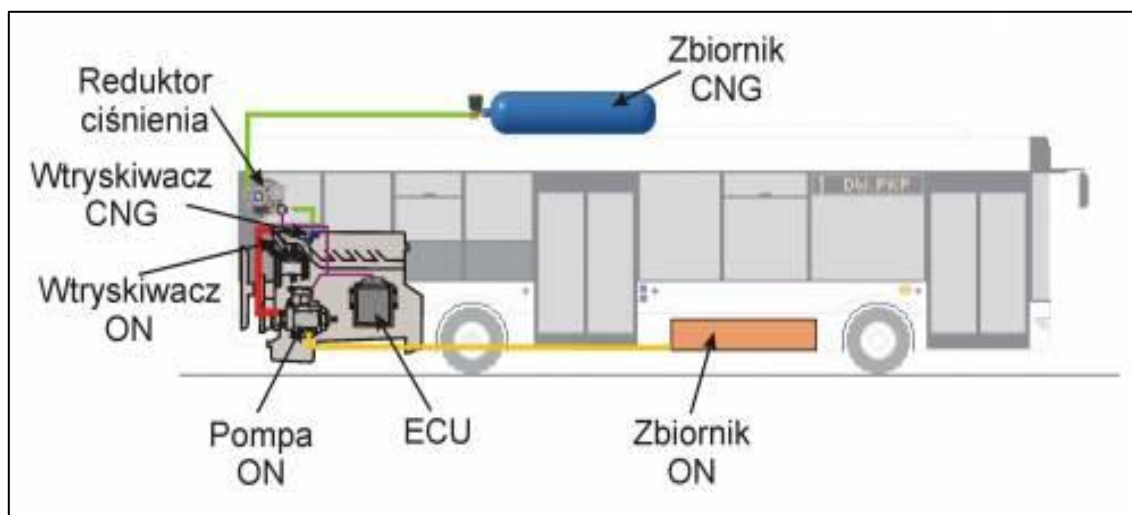


umożliwiałaby szybką wymianę baterii rozładowanych na naładowane. Autobus z naładowanymi bateriami w ciągu kilku minut poświęconych na wymianę mógłby ruszać na trasę, natomiast baterie trafiły by do stacji ładowania⁹. Na dzień sporządzania analizy jednak żaden z producentów autobusów nie posiada w swojej ofercie pojazdów wyposażonych w taką funkcjonalność. Brak również informacji, o ewentualnym komercyjnym wprowadzeniu w życie mechanizmu szybkiej wymiany baterii.

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 to ok. 2,5 mln zł.



Drugim wariantem alternatywnym jest zakup autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG). Wartość energetyczna 1 m³ CNG jest niższa niż 1 litra oleju napędowego, co oznacza że choć CNG może być wykorzystywane jako wysokooktanowe paliwo w silnikach spalinowych, bądź w układzie hybrydowym (modyfikacja istniejącego w pojeździe silnika spalinowego) bądź jako dedykowana jednostka napędowa, to realne spalanie paliwa jest wyższe niż w pojazdach zasilanych paliwem konwencjonalnym.



Rysunek 5 Autobus z napędem hybrydowym ON i CNG, źródło: <https://cng-lng.pl/wiadomosci/Wspolpraca-z-gazem-w-tle,wiadomosc,374.htm>

Sprężanie gazu ziemnego w stacji tankowania odbywa się za pomocą wielostopniowych sprężarek do ciśnienia 20-35 MPa. Gaz może być dostarczany do nich za pomocą tradycyjnych sieci dystrybucji

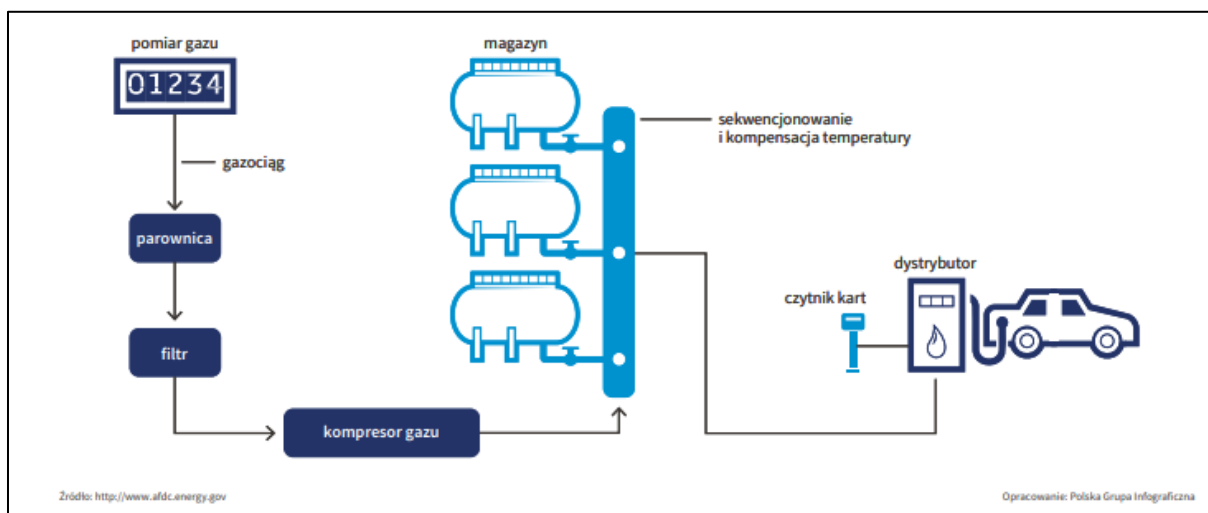
⁹<http://elektrowoz.pl/transport/szwedzki-powerswap-chce-wymieniac-baterie-na-stacjach-benzynowych/>



surowca, co minimalizuje koszty logistyki (paliwo nie musi być dostarczane do stacji cysternami) i magazynowania (dzięki stałemu podłączeniu do sieci gazowej nie jest konieczna budowa dużych magazynów paliwa bezpośrednio na stacji tankowania). CNG jest niskoemisyjnym paliwem, które stanowi alternatywę dla konwencjonalnych paliw samochodowych.

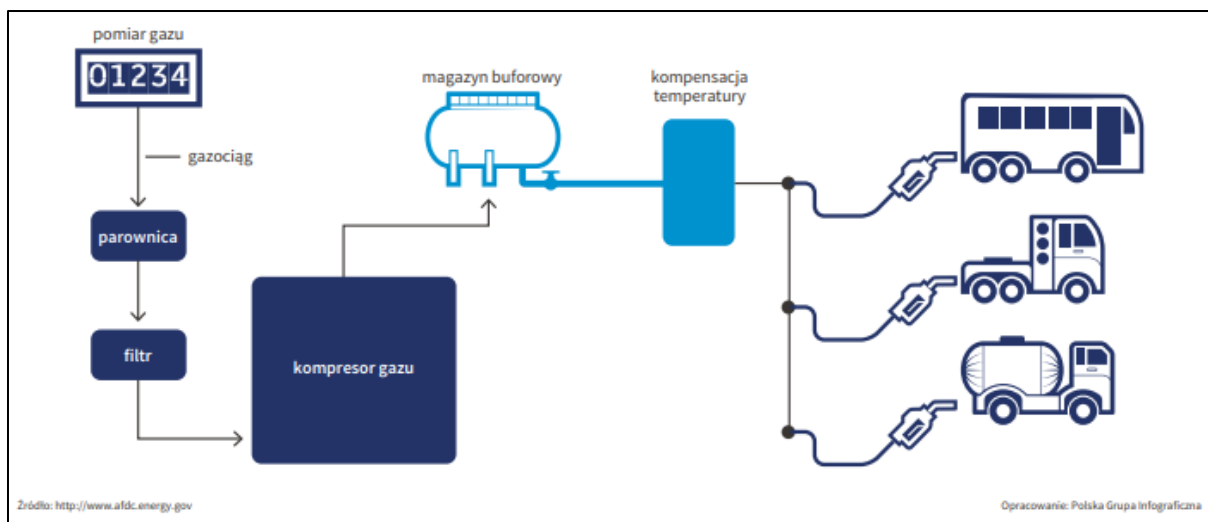
Wadą zastosowania CNG jest relatywnie długi czas tankowania zajmujący nawet do kilku godzin w stacji wolnego ładowania. W stacji szybkiego ładowania, kluczową rolę pełni kompresor gazu podnoszący ciśnienie gazu, w przedziale 20–35MPa. Wpływ na wydajność danego modelu kompresora ma model silnika napędowego i ciśnienie zasilania. Kompresor napędzany silnikiem o mocy 37kW przy ciśnieniu zasilania 0,02 Mpa może osiągnąć wydajność włączania gazu na poziomie 75Nm³/h, a napędzany silnikiem 75kW przy tym samym ciśnieniu zasilania osiąga wydajność 193 Nm³/h. Przy zwiększonym ciśnieniu zasilania z 0,02 Mpa do 0,1 Mpa, Możliwe jest zwiększenie wydajności włączania gazu do 283 Nm³/h gazu.

Standardowe zbiorniki gazu w autobusach posiadają pojemność 250-340 Nm³. Tym samym w przypadku stacji szybkiego tankowania CNG, czas całkowitego napełnienia zbiornika gazu wynosiłby do 60 minut. Realnie jednak sytuacja w której zbiornik gazu przed przystąpieniem do procesu tankowania byłby całkowicie opróżniony jest w zasadzie niespotykana.



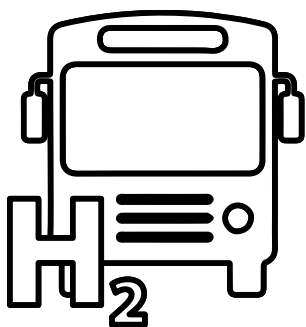
Rysunek 6 Schemat "wolnej" stacji tankowania CNG, źródło: www.afdc.energy.gov





Rysunek 7 Schemat "szybkiej" stacji tankowania CNG, źródło: www.afdc.energy.gov

Wartość energetyczna 1 kg CNG i LNG jest niższa niż 1 litra oleju napędowego, co jak pokazuje faktyczna eksploatacja pojazdów, przekłada się na wyższe spalanie wynoszące (w przypadku autobusów MAXI) 44,5 kg CNG/100km, a w przypadku autobusu typu MEGA 57,2 kg CNG/100 km. Aktualna cena gazu ziemnego na stacjach PGNiG wynosi 3,89 zł¹⁰. Cena ta jest niższa niż benzyny czy oleju napędowego, dzięki zwolnieniu z akcyzy, które wprowadziła przyjęta 1 czerwca 2018 r. nowelizacja o podatku akcyzowym¹¹. Przy obniżonej cenie gazu koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosiłby 173,10 zł, a autobusem klasy MEGA 225,51 zł. Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 Nm³ zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 750 km.



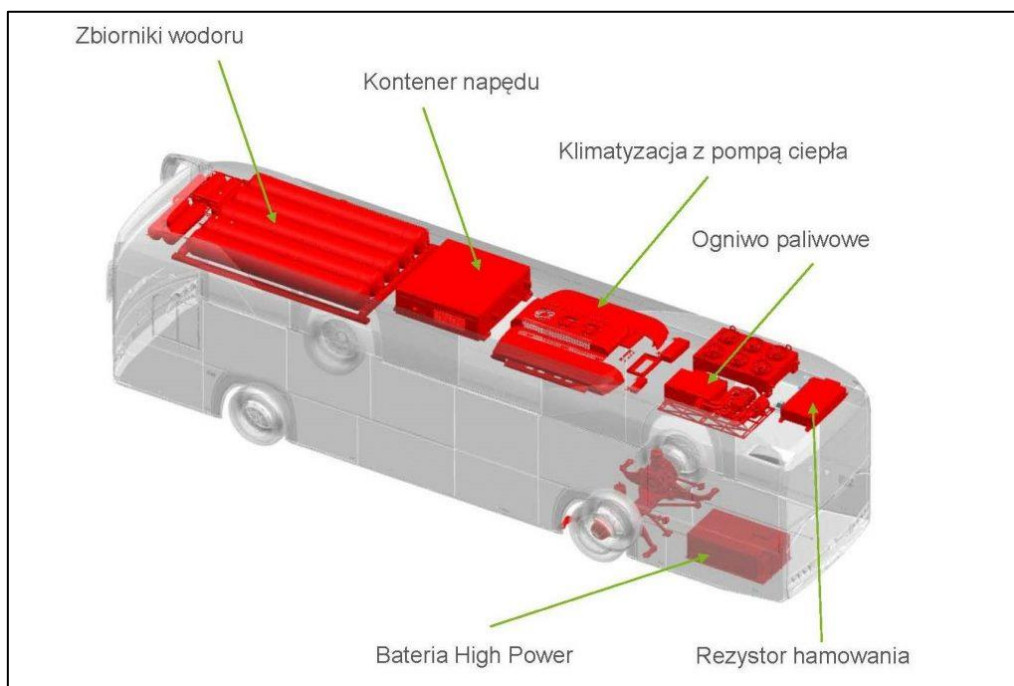
Perspektywą na przyszłość, jest wybór taboru napędzanego paliwem wodorowym. Choć na dzień sporządzania analizy na polskich drogach (za wyjątkiem projektów badawczych bądź testowych) nie kursują regularne linie autobusów z napędem wodorowym, to istnieją na rynku sprawdzone rozwiązania techniczne stosowane 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.

¹⁰ <http://pgnig.pl/cng/cennik-cng>

¹¹ <https://cng.auto.pl/15554/zerowa-stawka-akcyzy-na-gaz-ziemny-cng-i-lng-od-1-czerwca-2018-r/>



łącznie na europejskich drogach kursuje już ponad 50 autobusów wodorowych tej marki¹². 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.



Rysunek 8 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen, źródło: Solaris Bus&Coach

Zakup autobusów z napędem wodorowym, jest więc możliwy, jednakże, aktualnie na terenie kraju brak jakiegokolwiek infrastruktury tankowania pojazdów wodorowych. Rynkowa cena wodoru 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 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 przeciwybuchowych oraz legalizacją urządzeń przez Urząd Dozoru Technicznego). Rozważanie zasadności zakupu taboru wodorowego jest dlatego zasadne dopiero z perspektywy kolejnej AKK sporządzanej za kolejne 3 lata.

¹² http://infobus.pl/autobusy-wodorowe-w-praktyce-niemcy-film-_more_106351.html

Ad. 2 Uwarunkowania lokalne

MPK w Łodzi, posiada dwie zajezdnie autobusowe: Nowe Sady oraz Limanowskiego.

Ma to szczególnie istotne znaczenie z perspektywy analizowanych wariantów alternatywnych: gazowego, wodorowego oraz elektrycznego, w których oprócz zakupu autobusów konieczne jest stworzenie odpowiedniej infrastruktury ładowania/tankowania.

Dla wariantu zakupu autobusów elektrycznych, montaż stacji nocnego ładowania możliwy jest na terenie zajezdni autobusowej nr 1, przy ul. Limanowskiego 147/149. Dla każdego z autobusów elektrycznych, należałoby przewidzieć odrębne gniazdo ładowania, celem równoczesnego ładowania wszystkich pojazdów w godzinach nocnego postoju.

Z uwagi jednak na ograniczony zasięg autobusów, konieczne jest uzupełnienie systemu ładowania nocnego, pantografowymi stacjami ładowania. Potencjalną ich lokalizacją, zgodnie z analizą przeprowadzoną w rozdziale III, stanowią:

7. Pętla „Mikulskiego – ul. Tuwima”
8. Pętla „Retkinia Kusocińskiego”
9. Pętla „Łódź Fabryczna – ul. Rodziny Poznańskich”
10. Pętla „Janów - Hetmańska”
11. Pętla „Retkinia Wyszyńskiego”
12. Pętla „Cmentarz Szczecińska”

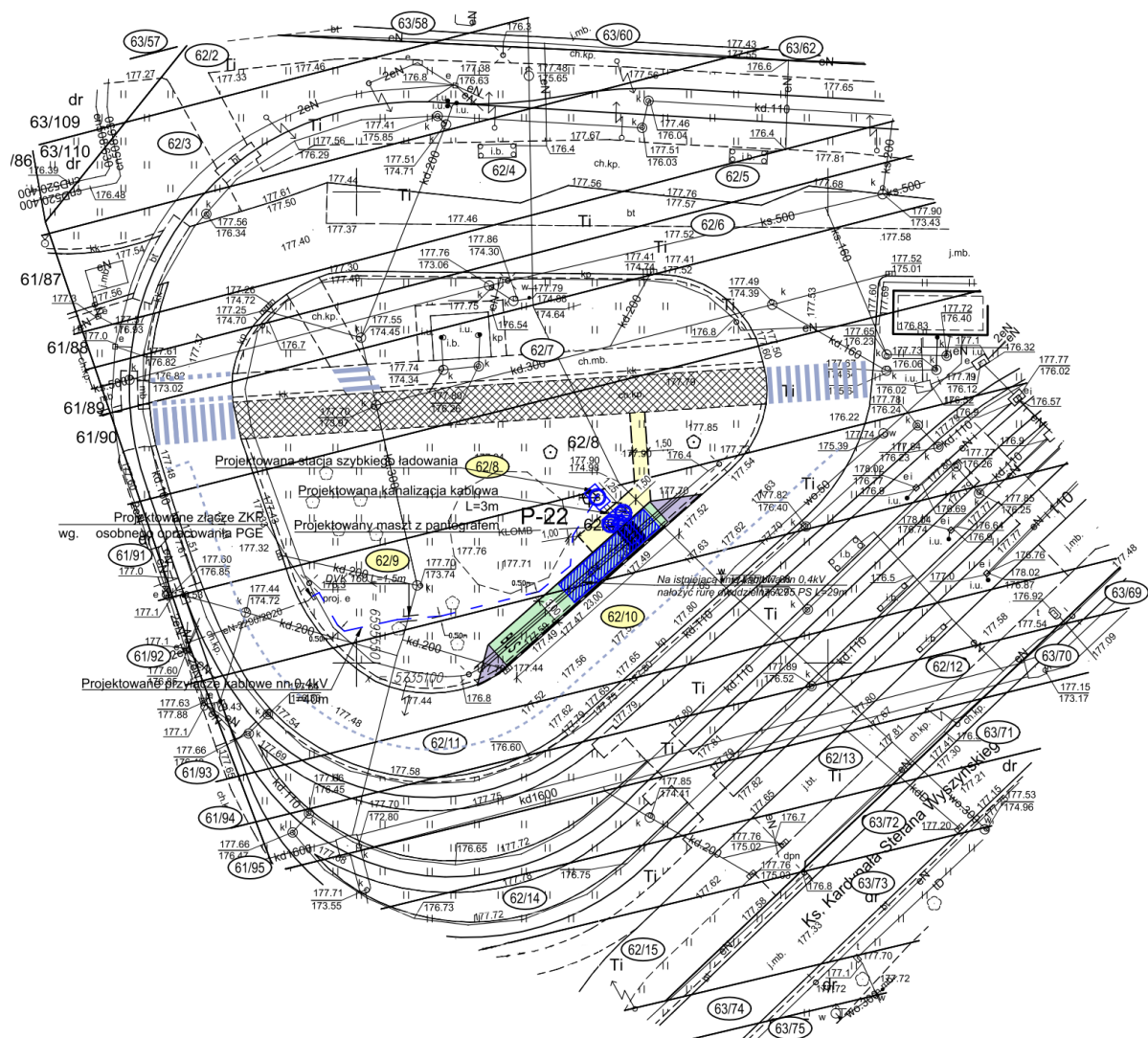
Lokalizację poszczególnych stacji ładowania, przedstawiono na rysunkach zamieszczonych poniżej.





Rysunek 9 Pętla „Mikulskiego – ul. Tuwima” – lokalizacja stanowiska ładowania, szkic projektowy





Rysunek 12 Pętla „Retkinia Wyszyńskiego” – lokalizacja stanowiska ładowania, szkic projektowy

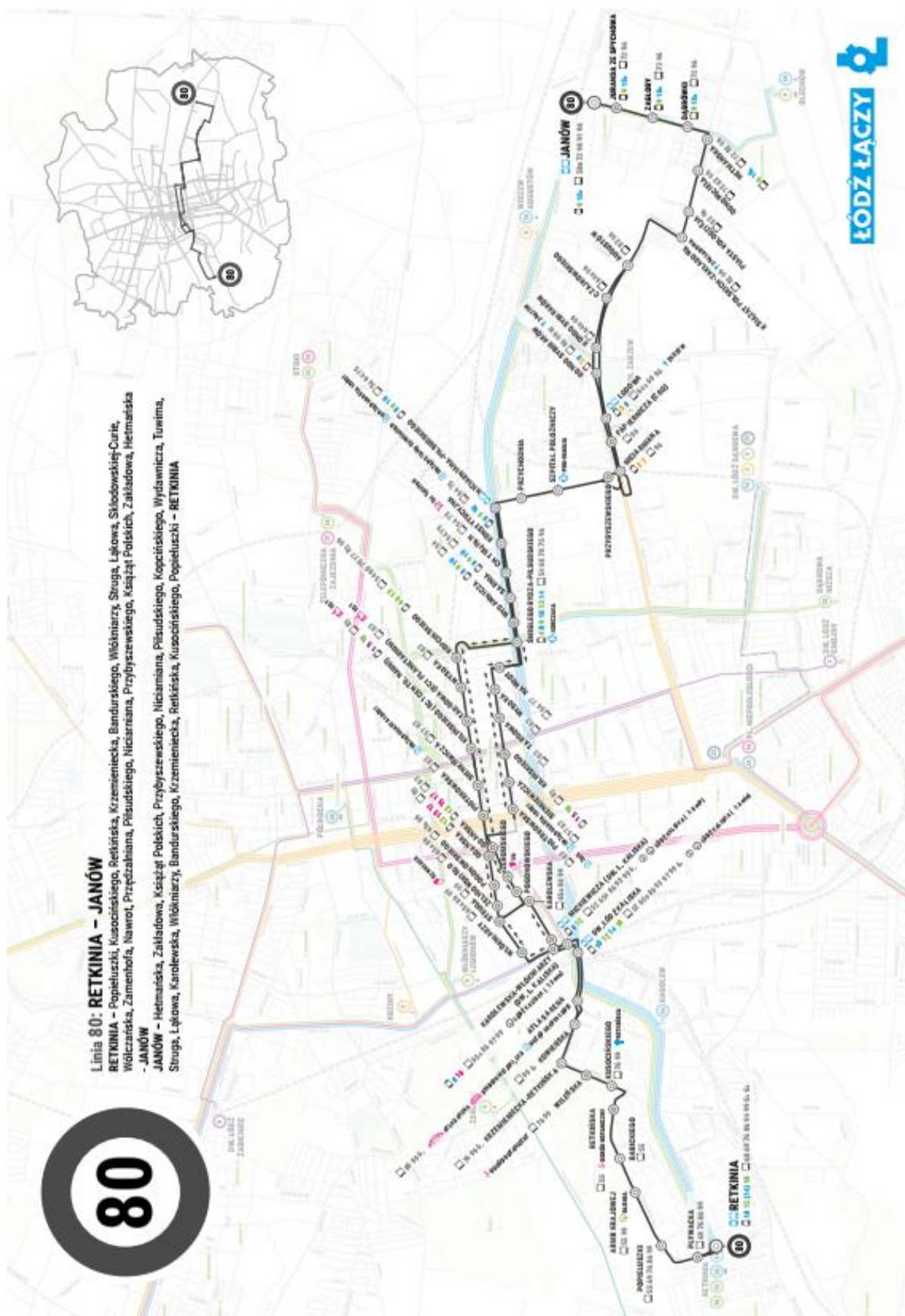
Pantografowa stacja ładowania pojazdów elektrycznych nie jest urządzeniem o dużych gabarytach. Instalacja posiada (w zależności od producenta) około 5 metrów wysokości, zajmuje przy podstawie około 2-3 m², a jej eksploatacja przebiega w zasadzie w sposób bezobsługowy. Warunkiem koniecznym inwestycji jest jednak zapewnienie przyłącza energetycznego na średnim napięciu wraz z możliwością podpięcia do stacji transformatorowej.

Czas doładowania baterii przez stację pantografową wynosić powinien przynajmniej 15 minut (energia dostarczona w tym czasie powinna wystarczyć na dodatkowe 45 km jazdy autobusu). Cykl ten wymusza przeanalizowanie rozkładów jazdy pod kątem zmienionych (wydłużonych) czasów przejazdu).

Z pętli autobusowych wskazanych jako potencjalne lokalizacje stacji pantografowych do obsługi taborem autobusowym wytypowano następujące linie:

80 (Retkinia – Janów), 83 (Wydawnicza – Cmentarz Szczecińska) oraz 86 (Retkinia Kusocińskiego – Dworzec Łódź Fabryczna). Schemat przebiegu wskazanych linii przedstawiono na grafikach zamieszczonych poniżej.

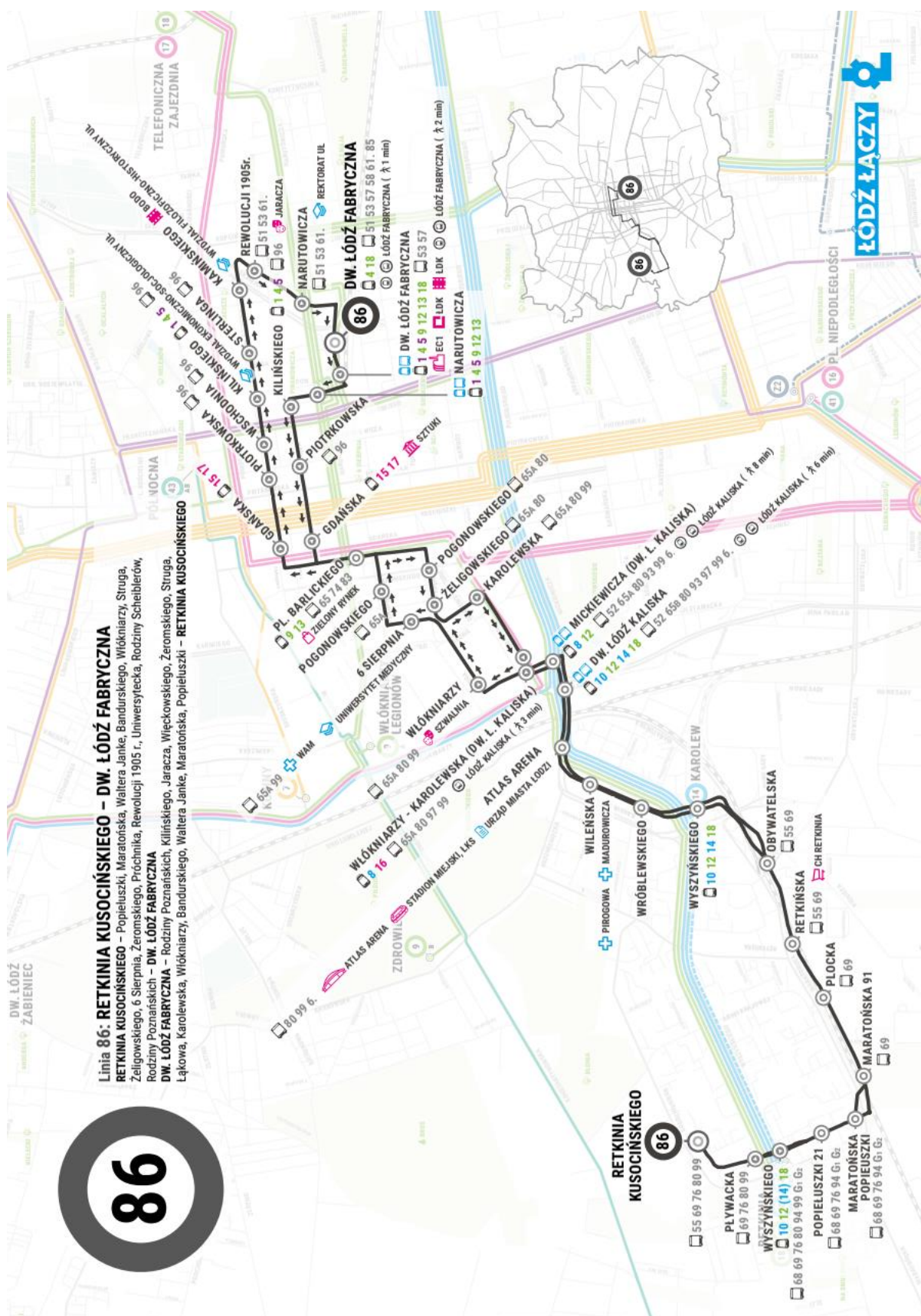




Rysunek 15 Przebieg linii nr 80, materiały ZDiT Łódź







Rysunek 17 Przebieg linii nr 86, materiały ZDiT Łódź



Powyższe linie przeanalizowano pod kątem charakterystyki i możliwości obsłużenia autobusami elektrycznymi. Analizę oparto bazując na prędkościach technicznych przejazdów oraz obowiązujących rozkładach jazdy. W analizie nie przeprowadzono pełnej analizy prędkości eksploatacyjnych pojazdu oraz rozkładu jazdy kierowców (brygad). Sformułowane poniżej wnioski mają zatem charakter wyłącznie rekomendacyjny – przed przystąpieniem do wydzielenia linii do obsługi pojazdami z napędem elektrycznym, konieczne będzie bowiem przeprowadzenie pogłębionej analizy uwzględniającej:

- wydłużenie czasu postojów na pętlach, przeznaczonych na ładowanie baterii przez stacje pantografowe;
- wydłużenie czasu pracy brygad o dodatkowe postoje.

Powyższe skutkować może obniżeniem prędkości eksploatacyjnych, a tym samym koniecznością przydzielenia do obsługi połączeń komunikacyjnych dodatkowych brygad, bądź pojazdów celem utrzymania obecnej częstotliwości odjazdów.

Celem określenia czasu niezbędnego na doładowanie baterii, ilość doładowań w ciągu dnia, ilości energii w baterii oraz zużycia energii na trasie przejazdu, przy planowaniu zmian w rozkładzie, posłużyć się należy matrycą zamieszczoną poniżej. Skład się ona z następujących elementów:

- 1) określenia stanu początkowego naładowania baterii oraz odległości dojazdowej od miejsca postoju do przystanku początkowego;
- 2) zużycia energii w ramach przejazdu „TAM” i przejazdu „POWRÓT” w ramach narastających kursów w ciągu dnia;
- 3) energii doładowanej z pantografowych stacji ładowania, w czasie postojów między kursami (doładowanie nie musi następować po każdym kursie, w praktyce wystarczającego są 3-4 cykle ładowania w ciągu dnia;

Wzór matrycy, z uzupełnionymi danymi dla linii nr 80, 83 oraz 86, uwzględniającej doładowywanie baterii autobusów poza godzinami szczytowymi zamieszczono poniżej.



Tabela 2 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym - linia 80

Zużycie energii	1,3 kWh/km
Wydajność ładowania baterii	3 kWh/min

Zdarzenie	Parametr	Dojazd	Kolejne kursy										Powrót
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Przejazd na przystanek końcowy	Odległość	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii początkowy	200	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Zmiana	5,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii końcowy	194,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Doładowanie na przystanku początkowym/końcowym	Czas ładowania	x	0	15	15	15	0	15	15	15	0	0	x
	Stan energii początkowy	x	194,5	155,912	162,324	168,736	175,148	136,56	142,972	149,384	155,796	117,208	x
	Zmiana	x	0	45	45	45	0	45	45	45	0	0	x
	Stan energii końcowy	x	194,5	200,912	207,324	213,736	175,148	181,56	187,972	194,384	155,796	117,208	x
Przejazd "tam"	Odległość	x	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	x
	Stan energii początkowy	x	194,5	200,912	207,324	213,736	175,148	181,56	187,972	194,384	155,796	117,208	x
	Zmiana	x	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	x
	Stan energii końcowy	x	175,206	181,618	188,03	194,442	155,854	162,266	168,678	175,09	136,502	97,914	x
Przejazd "powrót"	Odległość	x	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	x
	Stan energii początkowy	x	175,206	181,618	188,03	194,442	155,854	162,266	168,678	175,09	136,502	97,914	x
	Zmiana	x	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	19,294	x
	Stan energii końcowy	x	155,912	162,324	168,736	175,148	136,56	142,972	149,384	155,796	117,208	78,62	x
Powrót do zajezdni	Odległość	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5
	Stan energii początkowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	78,62
	Zmiana	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,5
	Stan energii końcowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	73,12

Łącznie pokonany dystans	360,80 km
Zużyta energia	396,88 kWh
Doładowana energia	270,00 kWh



Tabela 3 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym - linia 83

Zużycie energii	1,3 kWh/km
Wydajność ładowania baterii	3 kWh/min

Zdarzenie	Parametr	Dojazd	Kolejne kursy										Powrót
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Przejazd na przystanek końcowy	Odległość	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii początkowy	200	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Zmiana	5,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii końcowy	194,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Doładowanie na przystanku początkowym/końcowym	Czas ładowania	x	0	15	0	15	0	15	0	15	0	0	x
	Stan energii początkowy	x	194,5	161,808	174,116	141,424	153,732	121,04	133,348	100,656	112,964	80,272	x
	Zmiana	x	0	45	0	45	0	45	0	45	0	0	x
	Stan energii końcowy	x	194,5	206,808	174,116	186,424	153,732	166,04	133,348	145,656	112,964	80,272	x
Przejazd "tam"	Odległość	x	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	x
	Stan energii początkowy	x	194,5	206,808	174,116	186,424	153,732	166,04	133,348	145,656	112,964	80,272	x
	Zmiana	x	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	x
	Stan energii końcowy	x	178,154	190,462	157,77	170,078	137,386	149,694	117,002	129,31	96,618	63,926	x
Przejazd "powrót"	Odległość	x	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	x
	Stan energii początkowy	x	178,154	190,462	157,77	170,078	137,386	149,694	117,002	129,31	96,618	63,926	x
	Zmiana	x	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	16,346	x
	Stan energii końcowy	x	161,808	174,116	141,424	153,732	121,04	133,348	100,656	112,964	80,272	47,58	x
Powrót do zajezdni	Odległość	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5
	Stan energii początkowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	47,58
	Zmiana	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,5
	Stan energii końcowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	42,08

Łącznie pokonany dystans	307,20 km
Zużyta energia	337,92 kWh
Doładowana energia	180,00 kWh



Tabela 4 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym - linia 86

Zużycie energii	1,3 kWh/km
Wydajność ładowania baterii	3 kWh/min

Zdarzenie	Parametr	Dojazd	Kolejne kursy										
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Przejazd na przystanek końcowy	Odległość	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii początkowy	200	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Zmiana	5,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii końcowy	194,5	0	15	0	15	0	15	0	15	0	0	x
Doładowanie na przystanku początkowym/końcowym	Czas ładowania	x	194,5	169,772	190,044	165,316	185,588	160,86	181,132	156,404	176,676	151,948	x
	Stan energii początkowy	x	0	45	0	45	0	45	0	45	0	0	x
	Zmiana	x	194,5	214,772	190,044	210,316	185,588	205,86	181,132	201,404	176,676	151,948	x
	Stan energii końcowy	x	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	x
Przejazd "tam"	Odległość	x	194,5	214,772	190,044	210,316	185,588	205,86	181,132	201,404	176,676	151,948	x
	Stan energii początkowy	x	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	x
	Zmiana	x	182,136	202,408	177,68	197,952	173,224	193,496	168,768	189,04	164,312	139,584	x
	Stan energii końcowy	x	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	11,24	x
Przejazd "powrót"	Odległość	x	182,136	202,408	177,68	197,952	173,224	193,496	168,768	189,04	164,312	139,584	x
	Stan energii początkowy	x	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	12,364	x
	Zmiana	x	169,772	190,044	165,316	185,588	160,86	181,132	156,404	176,676	151,948	127,22	x
	Stan energii końcowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5
Powrót do zajezdni	Odległość	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	127,22
	Stan energii początkowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,5
	Zmiana	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	121,72
	Stan energii końcowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Łącznie pokonany dystans	234,80 km
Zużyta energia	258,28 kWh
Doładowana energia	180,00 kWh



W przypadku drugiego wariantu alternatywnego, zasięg autobusów napędzanych paliwem CNG, porównywalny jest z zasięgiem autobusów z napędem konwencjonalnym, tym samym uzupełniające tankowanie pojazdów w czasie pracy przewozowej, nie jest konieczne. Jedynym ograniczeniem w stosunku do pojazdów spalających CNG, jest czas włączania gazu do zbiorników. Standardowe zbiorniki gazu w autobusach posiadają pojemność od 250 Nm³ (dla autobusów klasy maxi) do 320 Nm³ (dla autobusów klasy mega) i w przypadku stacji wolnego ładowania, czas tankowania pustego zbiornika może trwać nawet kilka godzin (stacje wolnego ładowania posiadają wydajność tłoczenia gazu wynoszącą od 3,4 Nm³/h do 60 Nm³/h). Zaznaczenia wymaga, iż popularne w transporcie paliwo gazowe – LPG, posiada zupełnie odrębną charakterystykę technologiczną. LPG jest paliwem ciekłym, dostarczany cysternami. Natomiast CNG to gaz ziemny pobierany bezpośrednio z sieci dystrybucyjnej, którego sprężenie do parametrów użytkowych następuje bezpośrednio na stacji paliw. Uprzednie wyposażenie więc stacji paliw w moduł tankowania LPG nie zmniejsza kosztów inwestycyjnych stacji CNG.

Budowa własnej stacji CNG z dwustanowiskowym dystrybutorem szybkiego tankowania oraz dodatkowymi stanowiskami wolnego ładowania to wydatek rzędu 2-3,5 mln zł¹³. Ze stacji tankowania CNG, korzystać mogą jednak nie tylko miejskie autobusy ale również użytkownicy prywatni – właściciele samochodów osobowych oraz dostawczych zasilanych CNG - w przeciwieństwie do stacji pantografowych, z których mogą korzystać wyłącznie autobusy elektryczne. Ponadto niski koszt paliwa w porównaniu do ceny oleju napędowego, zachęca do rozwoju transportu opartego o gazowe źródła energii.

¹³ https://afdc.energy.gov/files/u/publication/cng_infrastructure_costs.pdf





Rysunek 18 Kompresory oraz magazyny buforowe stacji CNG,
źródło: <http://cngcenter.com/services/cng-station-installation/cngfillstation/>

W przypadku trzeciego wariantu alternatywnego, na potrzeby zasilania autobusów wodorowych konieczna byłaby budowa stacji tankowania pojazdów wodorowych, wyposażona w agregaty tankujące ciśnieniowe zbiorniki gazu (wodór w przeciwieństwie do gazu ziemnego do stacji tankowania jest przywożony przystosowanymi do tego przewozu cysternami).

Budowa stacji ładowania pojazdów wodorowych, w warunkach polskich jest przedsięwzięciem nie tylko znaczącym, ale również pionierskim – na terenie kraju nie funkcjonuje na dzień sporządzania analizy żadna stacja dystrybucyjna umożliwiająca tankowanie pojazdów wodorowych.



Rysunek 19 Stanowisko tankowania wodoru w miejscowości Lesce w Słowenii, źródło: <https://fuelcellsworld.com/archives/2013/09/12/petrol-opens-first-hydrogen-filling-station-in-slovenia/>

Choć polscy producenci autobusów zapowiadają wdrożenie do produkcji pierwszych modeli z napędem wodorowym¹⁴, a technologia budowy samych stacji funkcjonuje choć nie w Polsce, to na terenie Unii Europejskiej, to jednak podstawową przeszkodą dla zakupu autobusów z napędem wodorowym, jest brak możliwości zakupu na terenie kraju paliwa wodorowego na cele transportowe. Na dzień sporządzania analizy nie znaleziono żadnych podmiotów zajmujących się sprzedażą, dystrybucją czy transportem wodoru na terenie kraju. Tym samym budowa własnej stacji tankowania wodoru, której koszt oszacować na kwotę ok. 2,5 mln zł, nie rozwiązuje podstawowego problemu technicznego jakim jest zakup samego paliwa.

¹⁴ <https://forsal.pl/artykuly/1142863,autobus-wodorowy-od-solarisa-w-2019-roku-premiera-pojazdu-nowej-generacji.html>



VI. ANALIZA FINANSOWA

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 zmieniają 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. 35 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.

Stosowane założenia stanowią odzwierciedlenie prognoz makroekonomicznych oraz analiz branżowych.

Dane źródłowe wykorzystane w obliczeniach pochodzą zarówno z opracowań branżowych, jak i źródeł własnych: analizy rynku oraz zachodzących na nim zjawisk.

Koszty eksploatacji i utrzymania przyjęto na bazie aktualnie posiadanej wiedzy technicznej autorów niniejszej analizy i opracowań branżowych. W analizie uwzględniono również konieczność ponoszenia nakładów odtworzeniowych związanych z okresową wymianą baterii w autobusach elektrycznych.

Analizę sporządzono w cenach stałych, według roku bazowego – bez uwzględnienia wpływu inflacji.

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 414 pojazdów.

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



Tabela 5 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%	414	21	5,07%
1 stycznia 2023	10%	414	42	10,14%
1 stycznia 2025	20%	414	84	20,29%
1 stycznia 2028	30%	414	125	30,19%

Jak wskazują powyższe dane, dla zapewnienia wymaganego udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie (na dzień 1 stycznia 2028 r.) konieczna jest dostarczenie, co najmniej 125 pojazdów zeroemisyjnych w przeciągu 6 lat (od stycznia 2022 do grudnia 2027).

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).

Założenia dotyczące zużycia paliwa przedstawiono w tabeli.

Tabela 6 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów

Rodzaj i typ autobusu		Wartość	Jednostka
10 m	ON	38,0	l/100 km
	CNG/LNG	44,0	kg/100 km
	Wodór	7,0	kg/100 km
	BEV	130,0	kWh/100 km
12 m	ON	38,0	l/100 km
	CNG/LNG	34,0	kg/100 km
	Wodór	8,0	kg/100 km
	BEV	130,0	kWh/100 km
18 m	ON	52,0	l/100 km
	CNG/LNG	57,0	kg/100 km
	Wodór	9,0	kg/100 km
	BEV	160,0	kWh/100 km



Średnią pracę przewozową taboru autobusowego przyjęto na poziomie 70 tys. km rocznie,

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** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem gazowym.
- 4) **Wariant III – wodorowy** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym.

W obliczeniach uwzględniono zakup autobusów w ramach zadania pn. „Program niskoemisyjnego transportu miejskiego – zakup 17 autobusów elektrycznych wraz z wybudowaniem infrastruktury niezbędnej do ich obsługi”.

Rzeczowy zakres projektu obejmuje:

- Zadanie 1: Zakup 17 autobusów elektrycznych wraz z ładowarkami oraz budowę infrastruktury elektroenergetycznej i teletechnicznej na pętlach autobusowych służących zasilaniu stacji ładowania autobusów.
- Zadanie 2: Budowa infrastruktury zajezdniowej niezbędnej do eksploatacji autobusów elektrycznych w skład, której wchodzi budowa części nadziemnej wiaty dla autobusów elektrycznych wraz z instalacjami.
- Zadanie 3: Budowa kontenerowej stacji transformatorowej wraz z elektroenergetyczną siecią kablową.
- Zadanie 4: Nadzór inwestorski.
- Zadanie 5: Informacja i promocja.



Koszt autobusów to ok. 47,6 mln zł brutto. Łącznie z budową wiaty postojowej na terenie zajezdni przy ul. Limanowskiego i dostawą stacji ładowania, inwestycja wyniesie 65 mln zł brutto. Unijne dofinansowanie dla projektu wynosi 84%, wkład własny MPK-Łódź to 16%.

Realizacja projektu stanowić będzie istotny krok w kierunku rozwoju elektromobilności na terenie Miasta, jednakże niewystarczającym z perspektywy wymogów ustawowych, tym samym w wariantcie zakupu autobusów z napędem elektrycznym przeanalizowana dwa scenariusze realizowanej inwestycji:

1. przy wsparciu ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (pokrycie 85% kosztów inwestycyjnych);
2. wyłącznie ze źródeł własnych.

Wyniki analizy finansowo-ekonomicznej, wskazują, że najkorzystniejszym ekonomicznie wariantem, jest oparcie się o tabor spalinowy – zasilany olejem napędowym.

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

Tabela 7 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy	Wariant III - wodorowy
Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne	300 744 199,55 zł	369 937 934,26 zł	311 455 775,53 zł	565 515 764,07 zł

Zdyskontowane koszty finansowe ujęto również w formie wozokilometra¹⁵:

Tabela 8 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm
Wariant bazowy	4,21 zł
Wariant I - elektryczny	5,18 zł
Wariant II - gazowy	4,36 zł
Wariant III - wodorowy	7,92 zł

Efektywność finansową wariantów porównać można również na bazie wskaźników ekonomicznych.

Dla każdego z wariantów zostały dwa wskaźniki:

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.



- FNPV/C - odzwierciedlającą 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 9 Wskaźniki ekonomiczne w wariantach

Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy	Wariant III - wodorowy
FNPV/C	- 312 773 967,54 zł	- 384 735 451,63 zł	- 323 914 006,55 zł	- 588 136 394,63 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 oraz gazu ziemnego urosły na przestrzeni ostatnich kilkunastu miesięcy o kilkadziesiąt procent – znacząco bardziej niż ceny oleju napędowego.

Zrównoważenie wyższych kosztów inwestycyjnych rozwiązań zeroemisyjnych zapewnić mogą zewnętrzne źródła finansowania. Ustawa z dnia 14 sierpnia 2020 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2020 r. poz. 1565) zlikwidowała Fundusz Niskoemisyjnego Transportu, w ramach którego część środków z opłaty paliwowej trafiała na dofinansowanie zakupu pojazdów elektrycznych. Likwidacja funduszu nie zniósła wsparcia w obszarze elektromobilności a stanowi jedynie włączenie środków na ten cel do budżetu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. 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 od 20% (w przypadku największych miast) do 80% (w przypadku miast małych i średnich) dofinansowania na zakup lub leasing autobusów i szkolenie



kierowców oraz do 25% wsparcia na rozwój infrastruktury ładowania na własne potrzeby – budowę nowych lub modernizację istniejących stacji ładowania..

Wnioski o dofinansowanie w formie dotacji i w formie pożyczki można składać w trybie konkursowym, w okresie 01.09.2021 – 20.12.2021 r.

Budżet na realizację konkursu wynosi do 2 000 000 zł, w tym:

- dla bezzwrotnych form dofinansowania – do 1 600 000 000 zł,
- dla zwrotnych form dofinansowania – do 400 000 000 zł.

Przewidziany dla dużych miast podstawowy poziom dofinansowania wynoszący 20% nie jest wystarczający dla zrównoważenia kosztów wariantu elektrycznego i bazowego. Sytuacja taka, mogłaby nastąpić w przypadku podwyższenia dofinansowania do 35% (jest to tzw. próg opłacalności), co przewiduje regulamin konkursu w sytuacji realizacji przedsięwzięcia na terenie aglomeracji, w której w ostatnich pięciu latach odnotowano ciągle przekraczanie rocznej wartości dopuszczalnej dla NO₂ (intensywność podstawowego poziomu dofinansowania zwiększa się o 15 % kosztów kwalifikowanych)¹⁶.

Zestawienie wskaźników finansowych przy założeniu 35% dofinansowania dla zakupu autobusów zeroemisyjnych (elektrycznych) tj. wariantu I analizy, przedstawiono w tabeli.

Tabela 10 Porównanie wariantów z uwzględnieniem dofinansowania do zakupu autobusów elektrycznych i infrastruktury towarzyszącej wynoszącej 35%

Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant I – elektryczny z dofinansowaniem 35%
FNPV/C	- 312 773 967,54 zł	- 384 735 451,63 zł	- 305 796 464,62 zł
FRR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

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

¹⁶ <https://www.gov.pl/web/elektromobilnosc/aktualne-ogloszenia-o-naborach2>



Tabela 11 Wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łącznie	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	zł	km	zł	km	
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	19 550 000,00	2 586 584,00	345 100,00	1 190 000,00	21 617 003,85	1 144 230,77	
2023	3	0,92	28 750 000,00	6 390 384,00	852 600,00	2 940 000,00	33 277 536,98	2 718 195,27	
2024	4	0,89	24 150 000,00	9 585 576,00	1 278 900,00	4 410 000,00	31 127 741,66	3 920 473,94	
2025	5	0,85	24 150 000,00	12 780 768,00	1 705 200,00	5 880 000,00	33 026 187,37	5 026 248,64	
2026	6	0,82	17 250 000,00	15 063 048,00	2 009 700,00	6 930 000,00	28 210 796,96	5 695 954,85	
2027	7	0,79	17 250 000,00	17 345 328,00	2 314 200,00	7 980 000,00	29 170 136,12	6 306 709,92	
2028	8	0,76	12 650 000,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	25 994 128,68	6 649 280,87	
2029	9	0,73	0,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	15 751 123,40	6 393 539,29	
2030	10	0,70	0,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	15 145 310,97	6 147 633,94	
2031	11	0,68	0,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	14 562 799,01	5 911 186,48	
2032	12	0,65	0,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	14 002 691,35	5 683 833,15	
2033	13	0,62	0,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	13 464 126,30	5 465 224,18	
2034	14	0,60	0,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	12 946 275,29	5 255 023,25	
2035	15	0,58	0,00	19 019 000,00	2 537 500,00	8 750 000,00	12 448 341,62	5 052 906,97	
RAZEM			143 750 000,00	215 903 688,00	28 805 700,00	99 330 000,00	300 744 199,55	71 370 441,52	4,21



Tabela 12 Wariant I - elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	zł	km	zł	km	
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	10 400 000,00	1 299 480,00	375 903,52	1 190 000,00	11 610 945,69	1 144 230,77	
2023	3	0,92	59 250 000,00	3 210 480,00	932 993,52	2 940 000,00	58 610 829,81	2 718 195,27	
2024	4	0,89	49 380 000,00	4 815 720,00	1 363 019,28	4 410 000,00	49 391 516,91	3 920 473,94	
2025	5	0,85	49 380 000,00	6 420 960,00	1 793 045,04	5 880 000,00	49 231 596,89	5 026 248,64	
2026	6	0,82	34 950 000,00	7 567 560,00	2 068 945,44	6 930 000,00	36 646 857,42	5 695 954,85	
2027	7	0,79	34 950 000,00	8 714 160,00	2 344 845,84	7 980 000,00	36 361 585,63	6 306 709,92	
2028	8	0,76	25 830 000,00	9 555 000,00	2 566 624,00	8 750 000,00	28 840 115,12	6 649 280,87	
2029	9	0,73	0,00	9 555 000,00	2 566 624,00	8 750 000,00	8 857 151,93	6 393 539,29	
2030	10	0,70	0,00	9 555 000,00	12 766 624,00	8 750 000,00	15 682 876,94	6 147 633,94	
2031	11	0,68	0,00	9 555 000,00	17 566 624,00	8 750 000,00	18 322 397,37	5 911 186,48	
2032	12	0,65	0,00	9 555 000,00	15 166 624,00	8 750 000,00	16 058 695,55	5 683 833,15	
2033	13	0,62	0,00	9 555 000,00	15 166 624,00	8 750 000,00	15 441 053,41	5 465 224,18	
2034	14	0,60	0,00	9 555 000,00	11 566 624,00	8 750 000,00	12 685 100,03	5 255 023,25	
2035	15	0,58	0,00	9 555 000,00	11 566 624,00	8 750 000,00	12 197 211,57	5 052 906,97	
RAZEM			264 140 000,00	108 468 360,00	97 811 744,64	99 330 000,00	369 937 934,26	71 370 441,52	5,18



Tabela 13 Wariant II - gazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	zł	km	zł	km	
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	25 500 000,00	2 107 490,00	368 900,00	1 190 000,00	26 900 375,00	1 144 230,77	
2023	3	0,92	37 500 000,00	5 206 740,00	911 400,00	2 940 000,00	40 327 422,34	2 718 195,27	
2024	4	0,89	31 500 000,00	7 810 110,00	1 367 100,00	4 410 000,00	36 161 891,57	3 920 473,94	
2025	5	0,85	31 500 000,00	10 413 480,00	1 822 800,00	5 880 000,00	37 385 955,44	5 026 248,64	
2026	6	0,82	22 500 000,00	12 273 030,00	2 148 300,00	6 930 000,00	30 346 641,94	5 695 954,85	
2027	7	0,79	22 500 000,00	14 132 580,00	2 473 800,00	7 980 000,00	30 906 340,16	6 306 709,92	
2028	8	0,76	16 500 000,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	26 375 797,40	6 649 280,87	
2029	9	0,73	0,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	13 304 955,27	6 393 539,29	
2030	10	0,70	0,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	12 793 226,22	6 147 633,94	
2031	11	0,68	0,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	12 301 179,06	5 911 186,48	
2032	12	0,65	0,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	11 828 056,79	5 683 833,15	
2033	13	0,62	0,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	11 373 131,53	5 465 224,18	
2034	14	0,60	0,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	10 935 703,39	5 255 023,25	
2035	15	0,58	0,00	15 496 250,00	2 712 500,00	8 750 000,00	10 515 099,41	5 052 906,97	
RAZEM			187 500 000,00	175 913 430,00	30 792 300,00	99 330 000,00	311 455 775,53	71 370 441,52	4,36



Tabela 14 Wariant III - wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łącznie	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	zł	km	zł	km	
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	49 300 000,00	3 808 000,00	368 900,00	1 190 000,00	51 420 096,15	1 144 230,77	
2023	3	0,92	72 500 000,00	9 408 000,00	911 400,00	2 940 000,00	76 571 190,83	2 718 195,27	
2024	4	0,89	60 900 000,00	14 112 000,00	1 367 100,00	4 410 000,00	67 900 741,78	3 920 473,94	
2025	5	0,85	60 900 000,00	18 816 000,00	1 822 800,00	5 880 000,00	69 699 707,97	5 026 248,64	
2026	6	0,82	43 500 000,00	22 176 000,00	2 148 300,00	6 930 000,00	55 746 630,67	5 695 954,85	
2027	7	0,79	43 500 000,00	25 536 000,00	2 473 800,00	7 980 000,00	56 515 233,67	6 306 709,92	
2028	8	0,76	31 900 000,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	47 580 354,08	6 649 280,87	
2029	9	0,73	0,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	22 441 322,92	6 393 539,29	
2030	10	0,70	0,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	21 578 195,12	6 147 633,94	
2031	11	0,68	0,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	20 748 264,54	5 911 186,48	
2032	12	0,65	0,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	19 950 254,36	5 683 833,15	
2033	13	0,62	0,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	19 182 936,89	5 465 224,18	
2034	14	0,60	0,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	18 445 131,62	5 255 023,25	
2035	15	0,58	0,00	28 000 000,00	2 712 500,00	8 750 000,00	17 735 703,48	5 052 906,97	
RAZEM			362 500 000,00	317 856 000,00	30 792 300,00	99 330 000,00	565 515 764,07	71 370 441,52	7,92



VII. OSZACOWANIE EFEKTÓW ŚRODOWISKOWYCH WARIANTÓW INWESTYCYJNYCH

Efektom 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 kłosek 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 15 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 – liczba przejechanych kilometrów oraz ilość spalonego paliwa.

Tabela 16 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 17 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

Wartość emisji autobusu napędzanego CNG, przyjęto zgodnie z raportem „Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej” oraz opracowaniami naukowymi w zakresie emisyjności autobusów¹⁷.

Tabela 18 Wskaźniki emisyjności - autobus CNG

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,00119	g/km
PM10	0,00331	g/km
NO2	0,06000	g/km
SO2	0,18000	g/km
NMLZO	0,23000	g/km
Emisja pozaspalinowa	0,00600	g/km
CO2	2,50000	kgCO2/kg
Hałas	75,000	db

¹⁷Porównanie kosztów cyklu życia autobusów miejskich z napędami konwencjonalnym i alternatywnymi, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, zeszyt 120, marzec 2018



Autobus wodorowy jest obecnie najczystszy środkiem transportu, z uwagi na bezemisyjną możliwość produkcji wodoru. Jedynym więc oddziaływaniem na środowisko, jest w tym przypadku hałas.

Tabela 19 Wskaźniki emisyjności - autobus wodorowy

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,00000	g/km
PM10	0,00000	g/km
NO2	0,00000	g/km
SO2	0,00000	g/km
NMLZO	0,00000	g/km
Emisja pozaspalinowa	0,00000	g/km
CO2	0,00000	kgCO2/kg
Hałas	69,000	db

Obliczone emisje zanieczyszczeń zostały zmonetyzowane z wykorzystaniem danych nt. jednostkowych kosztów emisji poszczególnych zanieczyszczeń (NO_x, NMLZO, PM_{2,5}), opracowanych przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych¹⁸.

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 produkcji energii elektrycznej w polskim systemie elektroenergetycznym.

Wyniki obliczeń monetyzacyjnych przedstawiono w analizie społeczno-ekonomicznej.

¹⁸ CUPT: Tablice kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści



VIII. 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, umożliwiając tablice kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści Centrum Unijnych Projektów Transportowych CUPT¹⁹. 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 2014 r.;

¹⁹ 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 20 Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych)

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy	Wariant III - wodorowy
Koszty społeczno-ekonomiczne	41 791 334,18 zł	37 555 552,80 zł	36 273 829,49 zł	16 415 201,55 zł

Zdyskontowane koszty ekonomiczne ujęto również w formie wozokilometra²⁰:

Tabela 21 Zdyskontowane koszty ekonomiczne w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm (środowiskowy)
Wariant bazowy	0,59 zł
Wariant I - elektryczny	0,53 zł
Wariant II - gazowy	0,51 zł
Wariant III - wodorowy	0,23 zł

Efektywność finansową wariantów porównać można również na bazie wskaźników ekonomicznych.

Dla każdego z wariantów zostały 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;

²⁰ Przedstawiony koszt wozokilometra nie uwzględnia kosztów stałych świadczenia usług przewozowych (niezależnych od struktury taboru) do których należą m.in. koszty wynagrodzeń, zarządu i administracji.



- 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).

Tabela 22 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach

Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy	Wariant III - wodorowy
ENPV/C	- 43 462 987,55 zł	- 39 057 774,91 zł	- 37 724 782,67 zł	- 17 071 809,61 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 gazowy i wodorowy. Ten wydawałoby się nieoczywisty wynik jest pochodną tzw. polskiego miks 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. Ujmując w łącznej kalkulacji wpływ tej emisji na środowisko, autobus elektryczny generuje większe emisje niż pojazd z napędem gazowym.

Szczegółowe wyniki analizy społeczno-ekonomicznej przedstawiono w tabelach zbiorczych.



Tabela 23 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr w zł)
			zł	zł	km	zł	km	
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	336 240,71	360 570,00	1 190 000,00	670 010,29	1 144 230,77	
2023	3	0,92	830 712,33	890 820,00	2 940 000,00	1 591 653,41	2 718 195,27	
2024	4	0,89	1 246 068,50	1 336 230,00	4 410 000,00	2 295 653,96	3 920 473,94	
2025	5	0,85	1 661 424,66	1 781 640,00	5 880 000,00	2 943 146,10	5 026 248,64	
2026	6	0,82	1 958 107,64	2 099 790,00	6 930 000,00	3 335 296,06	5 695 954,85	
2027	7	0,79	2 254 790,61	2 417 940,00	7 980 000,00	3 692 926,88	6 306 709,92	
2028	8	0,76	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	3 893 521,08	6 649 280,87	
2029	9	0,73	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	3 743 770,27	6 393 539,29	
2030	10	0,70	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	3 599 779,11	6 147 633,94	
2031	11	0,68	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	3 461 326,06	5 911 186,48	
2032	12	0,65	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	3 328 198,14	5 683 833,15	
2033	13	0,62	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	3 200 190,52	5 465 224,18	
2034	14	0,60	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	3 077 106,27	5 255 023,25	
2035	15	0,58	2 472 358,13	2 651 250,00	8 750 000,00	2 958 756,03	5 052 906,97	
RAZEM			28 066 209,44	30 096 990,00	99 330 000,00	41 791 334,18	71 370 441,52	0,59



Tabela 24 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant I elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	km	zł	km	
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	352 485,11	273 700,00	1 190 000,00	602 101,07	1 144 230,77	
2023	3	0,92	870 845,57	676 200,00	2 940 000,00	1 430 330,59	2 718 195,27	
2024	4	0,89	1 306 268,35	1 014 300,00	4 410 000,00	2 062 976,81	3 920 473,94	
2025	5	0,85	1 741 691,14	1 352 400,00	5 880 000,00	2 644 842,07	5 026 248,64	
2026	6	0,82	2 052 707,41	1 593 900,00	6 930 000,00	2 997 245,48	5 695 954,85	
2027	7	0,79	2 363 723,68	1 835 400,00	7 980 000,00	3 318 628,44	6 306 709,92	
2028	8	0,76	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	3 498 891,32	6 649 280,87	
2029	9	0,73	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	3 364 318,58	6 393 539,29	
2030	10	0,70	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	3 234 921,71	6 147 633,94	
2031	11	0,68	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	3 110 501,65	5 911 186,48	
2032	12	0,65	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	2 990 866,97	5 683 833,15	
2033	13	0,62	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	2 875 833,62	5 465 224,18	
2034	14	0,60	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	2 765 224,64	5 255 023,25	
2035	15	0,58	2 591 802,28	2 012 500,00	8 750 000,00	2 658 869,84	5 052 906,97	
RAZEM			29 422 139,54	22 845 900,00	99 330 000,00	37 555 552,80	71 370 441,52	0,53



Tabela 25 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant II - gazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilomter) w zł
			zł	zł	km	zł	km	
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	271 614,21	333 200,00	1 190 000,00	581 552,12	1 144 230,77	
2023	3	0,92	671 046,87	823 200,00	2 940 000,00	1 381 515,23	2 718 195,27	
2024	4	0,89	1 006 570,30	1 234 800,00	4 410 000,00	1 992 570,04	3 920 473,94	
2025	5	0,85	1 342 093,74	1 646 400,00	5 880 000,00	2 554 576,97	5 026 248,64	
2026	6	0,82	1 581 753,33	1 940 400,00	6 930 000,00	2 894 953,30	5 695 954,85	
2027	7	0,79	1 821 412,93	2 234 400,00	7 980 000,00	3 205 367,87	6 306 709,92	
2028	8	0,76	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	3 379 478,61	6 649 280,87	
2029	9	0,73	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	3 249 498,66	6 393 539,29	
2030	10	0,70	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	3 124 517,94	6 147 633,94	
2031	11	0,68	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	3 004 344,18	5 911 186,48	
2032	12	0,65	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	2 888 792,48	5 683 833,15	
2033	13	0,62	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	2 777 685,07	5 465 224,18	
2034	14	0,60	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	2 670 851,03	5 255 023,25	
2035	15	0,58	1 997 163,30	2 450 000,00	8 750 000,00	2 568 125,99	5 052 906,97	
RAZEM			22 671 797,75	27 812 400,00	99 330 000,00	36 273 829,49	71 370 441,52	0,51



Tabela 26 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant III - wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilomter) w zł
			zł	zł	km	zł	km	
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	273 700,00	1 190 000,00	263 173,08	1 144 230,77	
2023	3	0,92	0,00	676 200,00	2 940 000,00	625 184,91	2 718 195,27	
2024	4	0,89	0,00	1 014 300,00	4 410 000,00	901 709,01	3 920 473,94	
2025	5	0,85	0,00	1 352 400,00	5 880 000,00	1 156 037,19	5 026 248,64	
2026	6	0,82	0,00	1 593 900,00	6 930 000,00	1 310 069,62	5 695 954,85	
2027	7	0,79	0,00	1 835 400,00	7 980 000,00	1 450 543,28	6 306 709,92	
2028	8	0,76	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 529 334,60	6 649 280,87	
2029	9	0,73	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 470 514,04	6 393 539,29	
2030	10	0,70	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 413 955,81	6 147 633,94	
2031	11	0,68	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 359 572,89	5 911 186,48	
2032	12	0,65	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 307 281,62	5 683 833,15	
2033	13	0,62	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 257 001,56	5 465 224,18	
2034	14	0,60	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 208 655,35	5 255 023,25	
2035	15	0,58	0,00	2 012 500,00	8 750 000,00	1 162 168,60	5 052 906,97	
RAZEM			0,00	22 845 900,00	99 330 000,00	16 415 201,55	71 370 441,52	0,23



IX. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI I RYZYKA

Ostatnim elementem analizy jest odniesienie się do potencjalnych ryzyk mogących wpłynąć na realizację projektu (analiza ryzyka) oraz ich ewentualnego wpływu na wynik inwestycji (analiza wrażliwości).

Ryzyka występujące w projekcie, mogą mieć skutek zarówno pozytywny dla rezultatu inwestycji, jak i negatywny. W tabelach wskazano wyłącznie ryzyka mając wpływ na finansowy efekt inwestycji.

Punktem wyjścia do korekt związanych z analizą wrażliwości jest koszt wozokilometra w poszczególnych założonych wariantach.

Tabela 27 Koszt wozokilometra w wariantach

Pozycja	koszt paliwa + eksploatacji	Koszt społeczno-środowiskowy	RAZEM
Wariant bazowy	4,21 zł	0,59 zł	4,80 zł
Wariant I - elektryczny	5,18 zł	0,53 zł	5,71 zł
Wariant II - gazowy	4,36 zł	0,51 zł	4,87 zł
Wariant III - wodorowy	7,92 zł	0,23 zł	8,15 zł

Tabela 28 Tabela ryzyk - wariant alternatywny - zakup autobusów elektrycznych

LP	Ryzyko	Skutek	Wpływ na cenę wozokilometra
1	Spadek cen energii	Spadek hurtowych ceny energii	+ 12 gr/wzkm
2	Wzrost cen energii	Wzrost hurtowych ceny energii	- 12 gr/wzkm
3	Żywotności zakupu baterii	Brak konieczności wymiany baterii w autobusach w okresie eksploatacji autobusu	- 61 gr/wzkm

Wariant związany z zakupem pojazdów elektrycznych, w zakresie ryzyk związany jest przede wszystkim z niestabilną sytuacją na hurtowym rynku energii elektrycznej, a odnotowany – o kilkadziesiąt procent – wzrost hurtowych cen energii może mieć zarówno charakter krótkotrwały, jak też okazać się stałym trendem wzrostowym. Dodatkowo sama technologia autobusów zasilanych energią elektryczną z bateryjnych magazynów energii jest technologią stosunkowo nową,



obecną na rynkach zaledwie od kilku lat, tym samym deklarowane przez producentów założenia dotyczące trwałości zastosowanych komponentów będą dopiero zweryfikowane przez rzeczywistą eksploatację. Podstawowym ryzykiem w tym obszarze jest krótsza niż zakładana żywotność baterii, która spowoduje dodatkowe wydatki związane z ich wymianą i jak pokazuje analiza wrażliwości jest to kluczowy czynnik mający wpływ na jednostkową cenę wozokilometra.



X. WNIOSKI I REKOMENDACJE

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

- 1) Wariantie bazowym – z wykorzystaniem autobusów o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy EURO6;
- 2) Wariantie alternatywnym I – z wykorzystaniem autobusów o napędzie elektrycznym;
- 3) Wariantie alternatywnym II – z wykorzystaniem autobusów zasilanych CNG;
- 4) Wariantie alternatywnym III – z wykorzystaniem autobusów o napędzie wodorowym;

Pierwszym elementem analizy była ocena techniczna wdrożenia każdego z ww. rozwiązań. Analiza wykazała konieczność dodatkowych nakładów infrastrukturalnych (w przypadku zakupu pojazdów elektrycznych i gazowych) związanych z ładowaniem/tankowaniem 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 mniej opłacalny od zakupu autobusów zasilanych olejem napędowym bądź zasilanych gazem ziemnym.

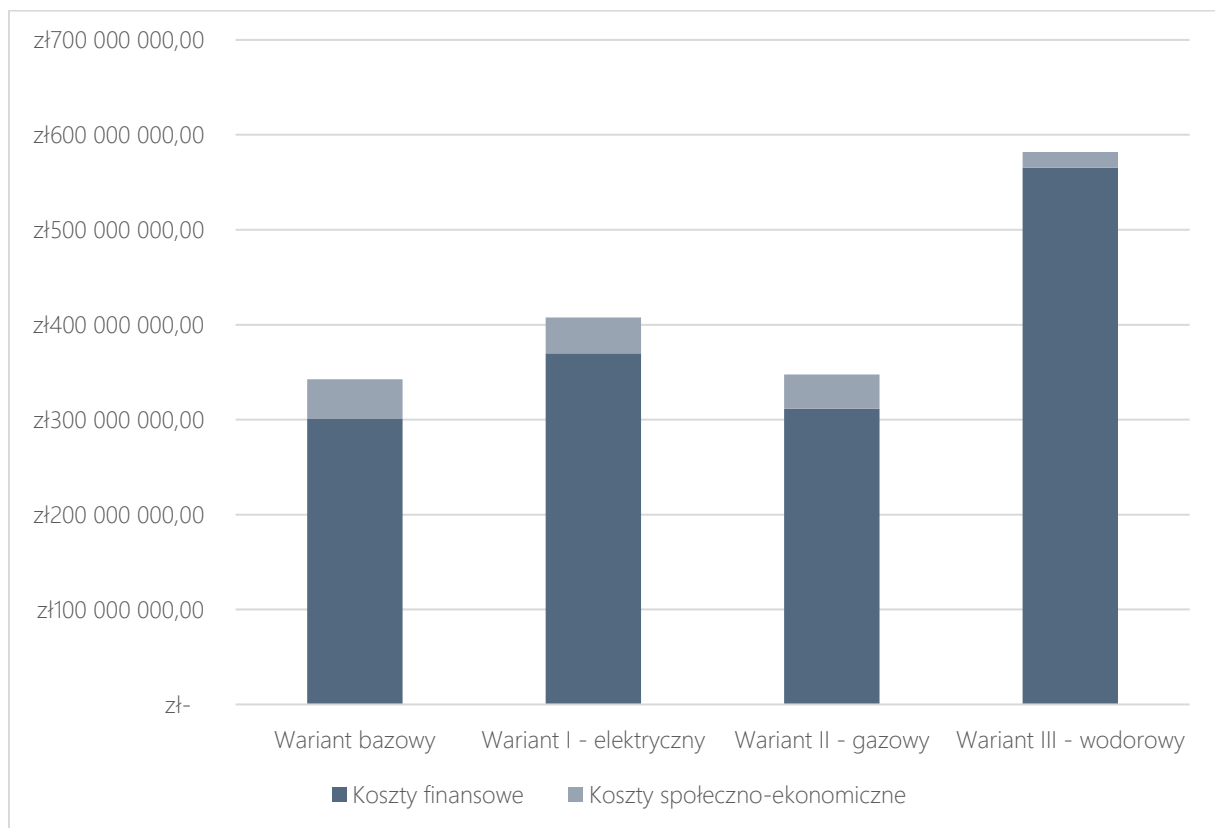
W trzecim elemencie analizy podjęto problematykę efektów środowiskowych inwestycji, szacując wpływ inwestycji na emisję substancji szkodliwych do atmosfery. Z uwagi na trudności porównywania emisji odmiennych substancji (m.in. dwutlenku węgla, czy związków azotu), wielkości emisji substancji zostały 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 29 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy	Wariant III - wodorowy
Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne	300 744 199,55 zł	369 937 934,26 zł	311 455 775,53 zł	565 515 764,07 zł
Koszty społeczno-ekonomiczne	41 791 334,18 zł	37 555 552,80 zł	36 273 829,49 zł	16 415 201,55 zł
SUMA	342 535 533,74 zł	407 493 487,06 zł	347 729 605,02 zł	581 930 965,62 zł



Rysunek 20 Wyniki AKK - porównanie



Najmniej korzystne parametry pod względem społecznym (koszty emisji i zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska), wykazuje wariant zakupu autobusów zeroemisyjnych zasilanych olejem napędowym.

W przypadku wariantu zakupu autobusów zasilanych CNG, efekt zastosowania czystszej paliwa i mniejszej jednostkowej emisji na jednostkę zużytego paliwa, kompensowany jest przez znacząco wyższym spalaniem na 100 km, a tym samym faktyczna korzyść środowiskowa wynikająca z przejścia z autobusów ON na autobusy CNG nie jest znacząca. Ponadto wysokie spalanie negatywnie rzutuje na koszt eksploatacyjny wozokilometra, który jest wyższy niż w autobusie ON. W przypadku autobusu elektrycznego, na efekt środowiskowy inwestycji rzutują niekorzystne wskaźniki emisji zanieczyszczeń emitowanych przy produkcji energii elektrycznej w Polsce, z uwagi na produkcję w elektrowniach węglowych.

Rekomendacje końcowe:

Koszt inwestycji w tabor zeroemisyjny jest praktycznie dwukrotnie wyższy niż w tabor konwencjonalny i chociaż koszt energii (paliwa) w autobusie elektrycznym wynosi zaledwie 1/3 kosztów zużycia paliwa w pojeździe spalinowym, to jednak z uwagi na gwałtowny wzrost cen energii elektrycznej (w latach 2020-2021) oraz gazu (w I półroczu 2021 r.), różnica ta zmniejsza się na niekorzyść wariantów alternatywnych. Dalsza przyszłość rozwoju elektromobilności uwarunkowana jest stabilnym zachowaniem cen energii.

Zakup pojazdów elektrycznych wiąże się również z okresową koniecznością wymiany baterii pokładowych pojazdów. Koszt ten sięgać może nawet 1/3 wartości pojazdu (ok. 600 000 zł). Żywotność baterii szacować można aktualnie na ok. 8-10 lat, choć w zależności od rodzaju baterii oraz sposobu ich eksploatacji może być krótsza, skutkiem czego bez dofinansowania zewnętrznego, bilansując koszty i korzyści wykorzystania taboru zeroemisyjnego, określić należy, że przeprowadzona analiza wskazuje na brak korzyści z wykorzystywania autobusów zeroemisyjnych, a zatem Miasto Łódź, może nie realizować obowiązku osiągnięcia poziomu udziałów autobusów zeroemisyjnych, o których mowa w art. 36 oraz art. 68 ust 4, ustawy o elektromobilności.



Tabor zeroemisyjny w perspektywie nowelizacji Ustawy o elektromobilności

Wskazana rekomendacja, która wykazuje brak zasadności zakupu pojazdów elektrycznych nie oznacza jednak, że Miasto Łódź nie powinno realizować dalszych inwestycji w tabor zeroemisyjny. Jak wykazuje przeprowadzona analiza, już dofinansowanie na poziomie 35% kosztów inwestycji, sprawia, że autobus elektryczny staje się bardziej opłacalną opcją od zakupu pojazdu spalinowego czy gazowego. Opłacalność tą może zapewnić również poprawa technologii związanej z magazynowaniem energii. Aktualnie żywotność akumulatorów wynosi 6-8 lat. W przypadku, gdyby dostępna technologia pozwalała na żywotność wynoszącą 10-12 lat, opłacalność zakupu autobusu elektrycznego poprawiłaby się o ok. 12%, a więc byłaby już bardzo zbliżona do kosztów eksploatacji autobusu spalinowego.

Wskazana rekomendacja, nie określa więc, że autobusy elektryczne nie są właściwym rozwiązaniem dla łódzkiej komunikacji, tylko wskazuje, że określenie progów wyznaczonych przez ustawodawcę nie jest ekonomicznie uzasadnione w tak krótkim czasie, i MPK-Łódź powinno modernizować flotę we własnym tempie – w miarę pozyskiwania zewnętrznych środków finansowych na ten cel, bądź wykorzystywania rozwiązań pośrednich (np. autobusów z napędem hybrydowym) do czasu usprawnienia aktualnie dostępnych rozwiązań technologicznych.

Wskazana w Analizie rekomendacja nie będzie również zwalniała Miasta, z realizacji obowiązku, który wprowadzi procedowania aktualnie a parlamencie, nowelizacja ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych²¹.

Wg. projektu ustawy skierowanego do Senatu (stan prawny na 29 października 2021 r.), dodany do Ustawy, zostanie art. 68a i 68b, który nakazuje 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

²¹ <https://www.sejm.gov.pl/sejm9.nsf/agent.xsp?symbol=RPL&Id=RM-0610-123-21>



zakup autobusów gazowym, spalinowych lub hybrydowych, zawsze konieczny będzie zakup autobusów zeroemisyjnych w wyznaczonej ustawą proporcji.

Od wskazanego wyżej obowiązku nie będą zwalniać zapisy rekomendacji Analizy Kosztów i Korzyści, a więc, jeżeli nowelizowana ustawa wejdzie w życie, w wyniku przeprowadzonej Analizy:

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

Istotny wpływ na kolejną analizę, może być postulowana również od dłuższego czasu zmiana pozwalająca na możliwość uwzględniania w Analizie Kosztów i Korzyści nowopowstających linii tramwajowych, linii metra lub zelektryfikowanej kolei miejskiej, których utworzenie spowoduje wycofanie z tej samej trasy autobusów napędzanych silnikiem spalinowym.

W obecnym stanie prawnym, mimo że ponad połowa posiadanego przez MPK taboru to wagony tramwaje (na dzień 8.02.2021 są to 475 wagony tramwajowe, podczas gdy liczba przyjętych autobusów w analizie wynosi 414 szt.), z perspektywy obecnych regulacji, nie ma możliwości uwzględniania tramwajów jako pojazdów zeroemisyjnych – odnosi się ona wyłącznie do autobusów. Po nowelizacji, utworzenie nowej linii tramwajowej, w miejsce istniejącej linii autobusowej, będzie traktowane jako działanie wdrażania transportu elektromobilnego i zeroemisyjnego.



XI. SPIS TABEL

Tabela 1 Planowany udział zmodernizowanych pojazdów w całkowitym taborze miejskim	23
Tabela 2 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym - linia 80	43
Tabela 3 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym - linia 83	44
Tabela 4 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym - linia 86	45
Tabela 5 Wymogi ustawowe w zakresie taboru zeroemisyjnego - zestawienie	50
Tabela 6 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów	50
Tabela 7 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych	52
Tabela 8 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm	52
Tabela 9 Wskaźniki ekonomiczne w wariantach	53
Tabela 10 Porównanie wariantów z uwzględnieniem dofinansowania do zakupu autobusów elektrycznych i infrastruktury towarzyszącej wynoszącej 35%	54
Tabela 11 Wariant bazowy	55
Tabela 12 Wariant I - elektryczny	56
Tabela 13 Wariant II - gazowy	57
Tabela 14 Wariant III - wodorowy	58
Tabela 15 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EUROVI	59
Tabela 16 Wskaźniki emisyjności – autobus spalinowy w normie EURO6	59
Tabela 17 Wskaźniki emisyjności – autobus elektryczny	60
Tabela 18 Wskaźniki emisyjności - autobus CNG	60
Tabela 18 Wskaźniki emisyjności - autobus wodorowy	61
Tabela 20 Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych)	63
Tabela 21 Zdyskontowane koszty ekonomiczne w ujęciu na wzkm	63
Tabela 22 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach	64
Tabela 23 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy	65
Tabela 24 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant I elektryczny	66
Tabela 25 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant II - gazowy	67
Tabela 26 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant III - wodorowy	68
Tabela 27 Koszt wozokilometra w wariantach	69
Tabela 28 Tabela ryzyk - wariant alternatywny - zakup autobusów elektrycznych	69
Tabela 31 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane	72



XII. SPIS ILUSTRACJI

Rysunek 1 Graficzny schemat wykonania obowiązku ustawowego w zakresie sporządzenia Analizy Kosztów i Korzyści....	8
Rysunek 2 Łódzki Obszar Metropolitalny	11
Rysunek 3 Węzły przesiadkowe: https://dzienniklodzki.pl/wezly-przesiadkowe-zacheca-lodzian-do-powrotu-do-transportu-zbiorowego/ar/9413449	21
Rysunek 4 Schemat budowy autobusu elektrycznego, źródło: https://elektrowoz.pl/wp-content/uploads/2018/07/Schemat-budowy-elektrycznego-autobusu-eCitaro.jpg	26
Rysunek 5 Autobus z napędem hybrydowym ON i CNG, źródło: https://cng-Ing.pl/wiadomosci/Wspolpraca-z-gazem-w-tle,wiadomosc,374.htm	28
Rysunek 6 Schemat "wolnej" stacji tankowania CNG, źródło: www.afdc.energy.gov	29
Rysunek 7 Schemat "szybkiej" stacji tankowania CNG, źródło: www.afdc.energy.gov	30
Rysunek 8 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen, źródło: Solaris Bus&Coach	31
Rysunek 9 Nowoprojektowana pętla autobusowa „Wydawnicza” – lokalizacja stanowiska ładowania.....	33
Rysunek 10 Pętla „Cmentarz – Szczecińska” – lokalizacja stanowiska ładowania	34
Rysunek 11 Pętla „Janów” – lokalizacja stanowiska ładowania	35
Rysunek 12 Pętla „Retkinia” – lokalizacja stanowiska ładowania.....	36
Rysunek 13 Pętla „Dworzec Łódź Fabryczna” – lokalizacja stanowiska ładowania.....	37
Rysunek 14 Pętla „Retkinia Kusocińskiego” – lokalizacja stanowiska ładowania.....	37
Rysunek 15 Przebieg linii nr 80, materiały ZDiT Łódź	39
Rysunek 16 Przebieg linii nr 83, materiały ZDiT Łódź	40
Rysunek 17 Przebieg linii nr 86, materiały ZDiT Łódź	41
Rysunek 18 Kompresory oraz magazyny buforowe stacji CNG, źródło: http://cngcenter.com/services/cng-station-installation/cngfillstation/	47
Rysunek 19 Stanowisko tankowania wodoru w miejscowości Lesce w Słowenii, źródło: https://fuelcellworks.com/archives/2013/09/12/petrol-opens-first-hydrogen-filling-station-in-slovenia/	47
Rysunek 20 Wyniki AKK - porównanie	72

