

# Analiza kosztów i korzyści wykorzystania autobusów zeroemisyjnych

Projekt do konsultacji społecznych



# 2018



**M P K**  
***SIEDLCE***

Miasto Siedlce

Autorami analizy kosztów i korzyści dla Miasta Siedlce są członkowie zespołu specjalistów ds. transportu zbiorowego REFUNDA Sp. z o.o. z Wrocławia.



[www.refunda.pl](http://www.refunda.pl)

## SPIS TREŚCI

SKRÓTY I AKRONIMY.....	5
SŁOWNIK.....	6
1. PODSTAWY PRZEPROWADZONEJ ANALIZY.....	7
1.1. Uwarunkowania prawne.....	7
1.2. Cel opracowania.....	8
1.3. Przedmiot opracowania.....	8
1.4. Podmiot opracowania.....	9
1.4.1. Wymogi wynikające z zawartych umów.....	9
1.4.2. Istniejąca sieć komunikacyjna.....	11
1.4.3. Charakterystyka floty operatora.....	13
1.4.4. Charakterystyka parametrów sieci linii komunikacji miejskiej.....	20
2.1. Dane.....	23
2.2. Zastosowane metody.....	24
2.2.1. Analiza finansowa.....	24
2.2.2. Analiza społeczno-ekonomiczna.....	27
2.2.3. Analiza wrażliwości.....	29
2.2.4. Analiza ryzyka.....	30
2.3. Procedura analizy.....	32
3. ANALIZA OPCJI INWESTYCYJNYCH.....	33
3.1. Analiza opcji inwestycyjnych.....	40
3.1.1. Wariant „0”.....	40
3.1.2. Wariant „1”.....	40
3.1.3. Wariant „2”.....	43
3.1.4. Porównanie alternatywnych wariantów inwestycyjnych.....	44
4. WYNIKI.....	46
4.1. Analiza finansowo-ekonomiczna.....	46
4.2. Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi.....	52
4.2.1. Koszty społeczne emisji gazów cieplarnianych (CO <sub>2</sub> ).....	52
4.2.2. Koszty zmiany klimatu.....	55
4.2.3. Koszty społeczne emisji hałasu.....	56
4.2.4. Efektywność ekonomiczno-społeczna inwestycji.....	57
4.3. Analiza społeczno-ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji.....	58

5. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI.....	64
5.1. Kluczowe zmienne krytyczne .....	64
5.2. Wartości progowe zmiennych krytycznych .....	65
6. ANALIZA RYZYKA.....	66
6.1. Czynniki ryzyka w projekcie.....	66
6.2. Matryca ryzyka.....	67
7. WNIOSKI I REKOMENDACJE .....	68
SPIS TABEL .....	69
SPIS WYKRESÓW .....	71
SPIS SCHEMATÓW .....	72
SPIS RYSUNKÓW .....	73

## SKRÓTY I AKRONIMY

AKK	Analiza kosztów i korzyści
CUPT	Centrum Unijnych Projektów Transportowych
MPK	Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Siedlcach Sp. z o.o.
PTZ	Publiczny Transport Zbiorowy
MINI	autobus jednoczłonowy o długości ok. 6 - 8 metrów
MID	autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 - 10 metrów
MAXI	autobus jednoczłonowy o długości ok. 12 metrów
MEGA	autobus przegubowy o długości ok. 15 - 18 metrów
ENPV	ang. Economic Net Present Value - Ekonomiczna wartość bieżąca netto
ERR	ang. EconomicRate of Return - Ekonomiczna stopa zwrotu
NPV	ang. Net presentvalue - Wartość bieżąca netto
IRR	ang. InternalRate of Return - Wewnętrzna stopa zwrotu
kWh	Kilowatogodzina
MWh	Megawatogodzina
wzkm	Wozokilometr
kW	Kilowat

## SŁOWNIK

Inwestycja	Zakup taboru zeroemisyjnego
Organizator publicznego transportu zbiorowego	Miasto Siedlce
Operator publicznego transportu zbiorowego	Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Siedlcach Sp. z o.o.
Tabor zeroemisyjny	pojazd, który podczas jazdy nie emituje żadnych zanieczyszczeń. Pojazdami zeroemisyjnymi są np. autobusy o napędzie elektrycznym, ale też zasilane ogniwami wodorowymi, w których podczas generowania energii powstaje tylko woda
Linia komunikacyjna	połączenie komunikacyjne na sieci dróg publicznych albo liniach kolejowych, innych szynowych, linowych, linowo-terenowych, albo akwenach morskich lub wodach śródlądowych wraz z oznaczonymi miejscami do wsiadania i wysiadania pasażerów na liniach komunikacyjnych, po których odbywa się publiczny transport zbiorowy
Sieć komunikacyjna	układ linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora publicznego transportu zbiorowego lub część tego obszaru

# 1. PODSTAWY PRZEPROWADZONEJ ANALIZY

## 1.1. Uwarunkowania prawne

W ramach opracowania AKK uwzględniono zapisy ramach opracowania AKK zapisy w szczególności:

- obowiązujące przepisy prawa:
  - ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2018 r., poz. 317);
  - ustawę z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2017 r. poz. 286, z późn. zm.);
  - ustawę z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2017 r., poz. 2136 z późn. zm.);
  - ustawę z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (Dz. U. 2001 Nr 142, poz. 1591 z późn. zm.);
  - rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/207 z dnia 20 stycznia 2015 r. ustanawiające szczegółowe zasady wykonania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1303/2013 w odniesieniu do wzoru sprawozdania z postępów, formatu dokumentu służącego przekazywaniu informacji na temat dużych projektów, wzorów wspólnego planu działania, sprawozdań z wdrażania w ramach celu „Inwestycje na rzecz wzrostu i zatrudnienia”, deklaracji zarządczej, strategii audytu, opinii audytowej i rocznego sprawozdania z kontroli oraz metodyki przeprowadzania analizy kosztów i korzyści, a także zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1299/2013 w odniesieniu do wzoru sprawozdań z wdrażania w ramach celu „Europejska współpraca terytorialna” (Dz. Urz. UE z dn. 13.02.2015 r., poz. L 38/1);
- opracowania dotyczące analizy kosztów i korzyści:
  - „Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach”; Nowa edycja, opracowanie JASPERS, sierpień 2015 r.
  - „Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020”, opracowanie Komisja Europejska, grudzień 2014 r. (<https://www.mos.gov.pl>,
  - „Najlepsze praktyki w analizach kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków unijnych”, opracowanie CUPT grudzień 2014 r.,

- „Zasady opracowania analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych - wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych”, autor: M. Gromadzki, wydanie 1, Warszawa, czerwiec 2018, wydawca Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej.

## 1.2. Cel opracowania

Głównym celem opracowania jest ocena efektywności finansowej i społeczno-ekonomicznej Inwestycji polegającej na zakupie taboru zeroemisyjnego - poprzez przeprowadzenie analizy kosztów i korzyści.

Cel zostanie osiągnięty poprzez realizację celów szczegółowych, w tym:

- wytypowanie oraz kwantyfikację kosztów finansowych i społeczno-ekonomicznych taboru istniejącego oraz będącego przedmiotem Inwestycji,
- wskazanie i wycenę korzyści finansowych i społeczno-ekonomicznych płynących z zastosowania taboru zeroemisyjnego.

## 1.3. Przedmiot opracowania

Niniejsza analiza została sporządzona na zlecenie Miasta Siedlce będącego Organizatorem w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2017 r. poz. 2136). Przedmiotem opracowania jest analiza kosztów i korzyści związanych 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.

W niniejszym opracowaniu zostanie przeanalizowany obecny stan taboru autobusowego operatora, różne warianty wprowadzania taboru zeroemisyjnego wraz z infrastrukturą, zakres działalności przedsiębiorstwa oraz wpływ na środowisko w wariantach bezinwestycyjnych i inwestycyjnych.



## **1.4. Podmiot opracowania**

Miasto Siedlce wypełnia funkcje organizatorskie dla zadań z zakresu PTZ na sieci miejskich przewozów pasażerskich obejmujących linie komunikacyjne na obszarze Miasta Siedlce oraz sąsiednich gmin zapewniając komunikację na terenach gmin, z którymi miasto podpisało porozumienia międzygminne do realizacji zadań publicznych w zakresie lokalnego transportu zbiorowego.

PTZ organizowany przez Miasto Siedlce jest jednym z elementów systemu transportowego obszaru opracowania. Operatorem PTZ na sieci komunikacyjnej organizowanej przez Miasto Siedlce jest MPK. Podstawową działalnością MPK jest świadczenie usług przewozu osób na terenie Miasta Siedlce, powiatu siedleckiego i okolicznych miejscowości.

### **1.4.1. Wymogi wynikające z zawartych umów**

Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym zdefiniowała pojęcie organizatora PTZ jako właściwą jednostkę samorządu terytorialnego, albo ministra właściwego do spraw transportu zapewniającego funkcjonowanie PTZ na danym obszarze. Miasto Siedlce jako organizator PTZ na sieci komunikacyjnej w przewozach pasażerskich, obejmuje linie komunikacyjne na terenie Miasta Siedlce oraz poszczególne linie na obszarze gmin, z którymi zawarte zostały stosowne porozumienia międzygminne. Na dzień zawarcia umowy Miasto Siedlce pozostaje stroną porozumień międzygminnych zawartych z: Gminą Siedlce, Gminą Kotuń, Gminą Mokobody, Miastem i Gminą Mordy, Gminą Skórzec, Gminą Suchożebry, Gminą Wiśniew oraz Gminą Zbuczyn. Do zadań organizatora należy między innymi planowanie, organizowanie i zarządzanie PTZ.



**Rysunek 1. Wykaz porozumień międzygminnych Miasta Siedlce**  
*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

#### 1.4.2. Istniejąca sieć komunikacyjna

Sieć komunikacyjna zgodnie z ustawą o PTZ, jest układem linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora PTZ lub część tego obszaru. Obecnie MPK obsługuje 14 linii autobusowych świadcząc usługi na terenie Miasta Siedlce oraz 23 linie świadcząc usługi na terenie pozamiejskim. Jednostki te podpisały porozumienia międzygminne na wykonywanie przez miasto zadań publicznych gmin na podstawie (Dz. U. 2001 Nr 142, poz. 1591 z późn. zm.) Roz. 7, art. 64. „Gminy mogą zawierać porozumienia międzygminne w sprawie powierzenia jednej z nich określonych przez nie zadań publicznych”. Na mocy tych porozumień gminy, z którymi zostały one podpisane powierzają Miastu Siedlce prowadzenie zadania publicznego, polegającego na świadczeniu usług lokalnego transportu zbiorowego na ich terenie, a także zobowiązują się do częściowego ponoszenia kosztów realizacji powierzonego miastu zadania.

Poniżej w tabeli zaprezentowano przebieg wszystkich linii komunikacyjnych obsługiwanych przez MPK. Linie te tworzą aktualną sieć komunikacyjną obsługiwaną przez transport autobusowy na terenie Organizatora.

Tabela 1. Przebieg linii komunikacyjnych obsługiwanych przez MPK

Linia	Trasa Przebiegu
1	Siedlce Dworzec PKP-Siedlce Zalew-Stare Opole-Kościół
2	Siedlce Dworzec PKP - Żelków Kolonia - Żelków-Pętla
3	Siedlce Kalinowa Leśna - Siedlce Rynkowa - Siedlce Kalinowa Leśna
4	Siedlce Kurpiowska pętla-Siedlce Park Wodny-Siedlce Kurpiowska pętla
5	Siedlce Szkoła-Siedlce Dworzec PKP-Żabokliki-Kwiatowa-Golice-Pętla
6	Siedlce Dworzec PKP-Stok Lacki-Osiny-Pętla
7	Siedlce Dworzec PKP-Mościbrody, Zachojniak-Wólka Wiśniewska
8	Siedlce Dworzec PKP-Wołyńce-Żelków III-skrzyżowanie z drogą wojewódzką nr 803
9	Siedlce Dworzec PKP 02-Siedlce St.Konarskiego 02-Siedlce J.Mireckiego Jagiello
10	Siedlce Kurpiowska pętla-Strzała-Pierwsza - Chodów-Spokojna
11	Siedlce Dworzec PKP-Ługi Rętki-Bzów
12	Siedlce MPK-Siedlce Urząd Miasta-Siedlce Piaski Zamiejskie V
13	Siedlce Dworzec PKP-Ostrówek-Niwiski
14	Siedlce Dworzec PKP-Stok Lacki-Radzików Stopki
15	Siedlce Dworzec PKP-Żabokliki-Kwiatowa-Pruszyń-Pętla
16	Siedlce Szkoła-Siedlce Kino-Siedlce Terespolska pętla
17	Siedlce Dworzec PKP-Siedlce Kurpiowska pętla-Borki Siedleckie-Suchożebry Kościół
18	Siedlce Zajezdnia MPK-Siedlce Urząd Miasta-Siedlce Ogródki działkowe
19	Siedlce Dworzec PKP-Nowe Iganie-Szkoła-Gręzów-Pętla
20	Siedlce Dworzec PKP-Siedlce Nowy Świat-Siedlce Park Wodny
21	Siedlce Dworzec PKP-Borki Wyrki-Zbuczyn Stadion
22	Siedlce DworzecPKP02-Siedlce Torowa Sulimów02-Siedlce Unitow Podlaskich pętla04
23	Siedlce Dworzec PKP-Siedlce Kino-Stok Lacki-Folwark-Majowa
24	Siedlce MPK 08-Siedlce Świętojańska 02-Grabianów-Pętla 09
25	Siedlce Wł.Broniewskiego 02-Siedlce Świętojańska 02-Grabianów-Pętla 09
26	Siedlce Dworzec PKP-Stok Lacki-Czuryły-Bzów
27	Siedlce Starowiejska Grabowa-Siedlce Rynkowa-Siedlce Ogródki działkowe
28	Siedlce Ogródki działkowe-Siedlce Warszawska Mazowiecka-Siedlce Kalinowa Leśna
30	Siedlce MPK-Siedlce Terespolska H.Sucharskiego-Nowe Opole-Seminarium
31	Siedlce Szkoła 06-Siedlce "Budowlanka" 08-Siedlce Terespolska H.Sucharskiego 01
32	Siedlce Terespolska H.Sucharskiego-Siedlce Urząd Miasta-Siedlce Sokółowska pętla
33	Siedlce Terespolska H.Sucharskiego-Siedlce Ratusz-Siedlce Piaski Zamiejskie V
35	Siedlce Kalinowa Leśna 02-Siedlce WORD 08-Siedlce Sokółowska pętla 14
37	Siedlce MPK-Ujrzanów-Wieś I-Mościbrody, Zachojniak
38	Siedlce MPK-Siedlce Terespolska H.Sucharskiego-Purzec-Suchożebry Kościół
42	Siedlce Sokółowska pętla-Siedlce Świętojańska-Żelków-pętla
43	Siedlce Sokółowska pętla-Nowe Iganie-Szkoła-Gręzów-Pętla

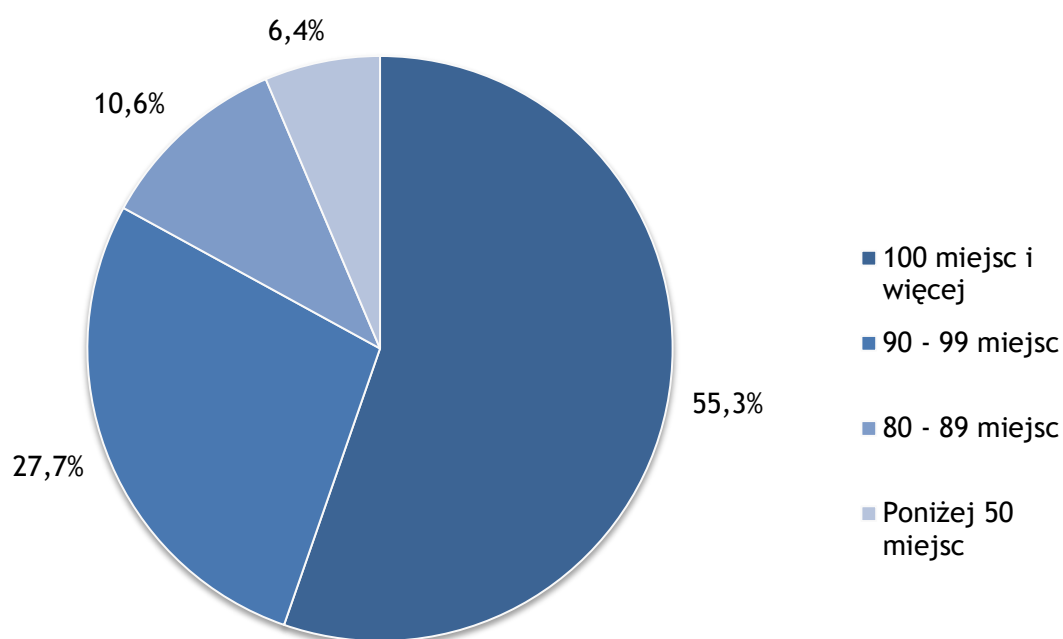
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.

### 1.4.3. Charakterystyka floty operatora

Według stanu z początku roku 2018 roku MPK dysponuje 47 pojazdami - autobusami dedykowanymi przewozom typowo miejskim oraz podmiejskim.

#### *Podział taboru ze względu na pojemność*

Tabor eksploatowany przez MPK na sieci komunikacyjnej Miasta Siedlce cechuje się zróżnicowaną wielkością, a co za tym idzie - pojemnością. Na poniższym wykresie przedstawiono podział autobusów ze względu na liczbę miejsc (zarówno siedzących, jak i stojących).



**Wykres 1. Procentowy udział autobusów w zależności od pojemności eksploatowanych przez MPK**

*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

Ponad 55% pojazdów eksploatowanych przez MPK jest w stanie pomieścić ponad 100 pasażerów. 27,7% autobusów pomieści od 90 do 99 pasażerów. Ponad 10,5% pojazdów charakteryzuje się pojemnością na poziomie 80 - 89 miejsc. Autobusy mieszczące poniżej 50 miejsc zajmują 6,4% całego taboru MPK.

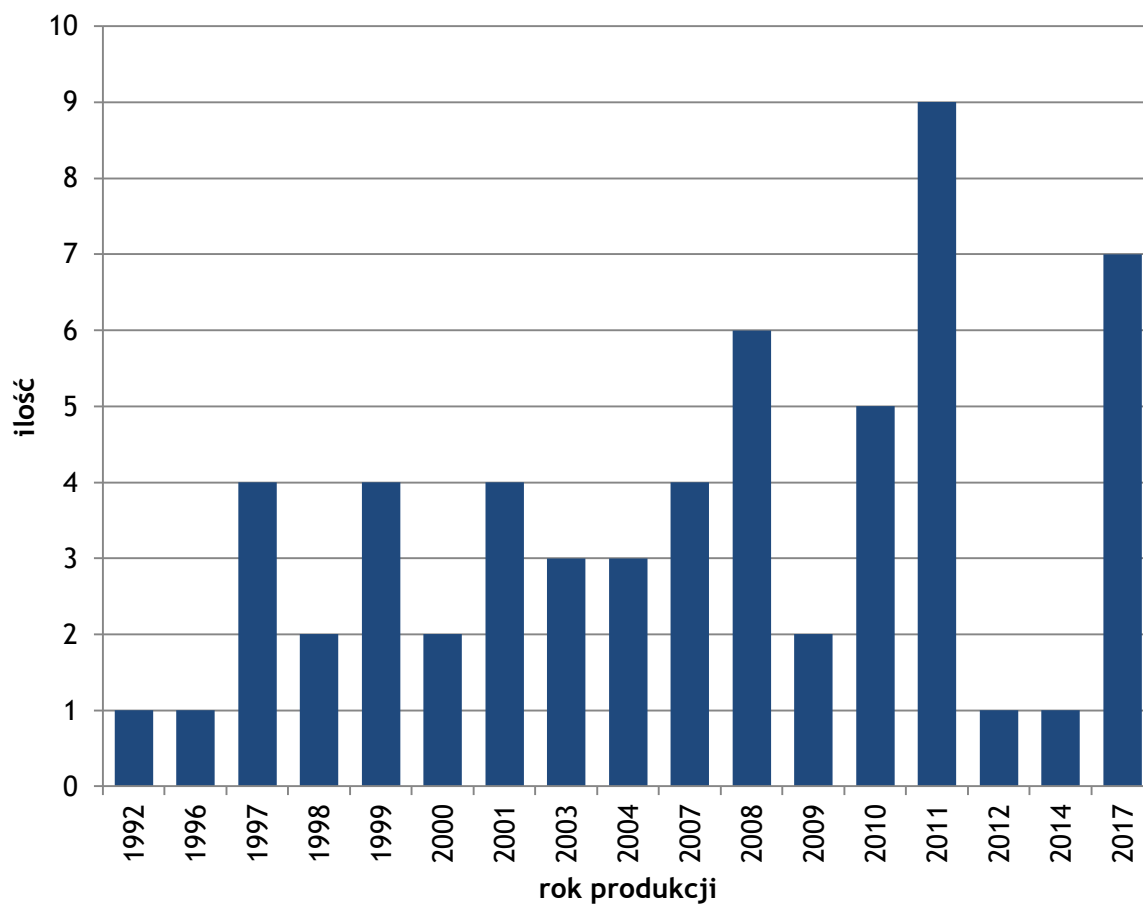
### ***Podział taboru ze względu na wiek***

W poniższej tabeli przedstawiono wiek pojazdów eksploatowanych przez MPK.

**Tabela 2. Wiek taboru MPK**

<b>Rok produkcji</b>	<b>Ilość</b>
1992	1
1998	3
1999	3
2000	3
2001	3
2002	2
2003	2
2004	4
2005	3
2007	4
2011	1
2012	11
2014	4
2015	1
2017	2

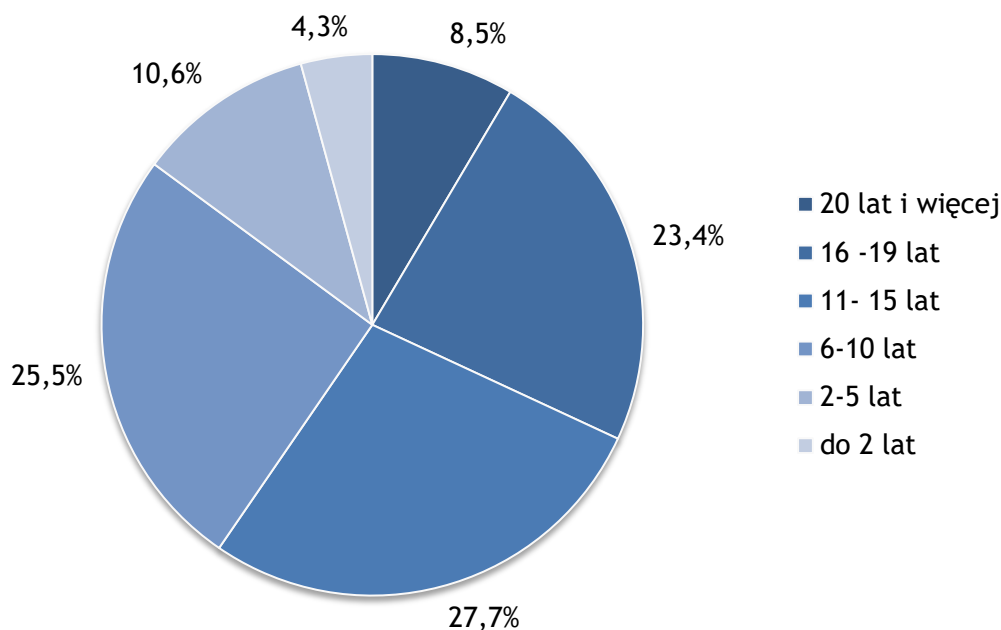
*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*



**Wykres 2. Rok produkcji pojazdów MPK**

*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

Średni wiek eksploatowanego taboru wynosi 12 lat. Najwięcej jest pojazdów w wieku 11-15 lat - 13 sztuk. Kolejnymi najliczniejszymi grupami są pojazdy mające 6-10 lat oraz 16-19 lat, które liczą 12 oraz 11 sztuk. MPK posiada pojazdy wyprodukowane w 2017 r. w ilości 2 sztuk. W Mieście Siedlce eksploatowane są również pojazdy, których wiek przekracza powyżej 20 lat - 4 sztuki. Przedziałowo uszeregowana struktura wiekowa taboru przedstawiona jest w formie graficznej na poniższym wykresie.



**Wykres 3. Procentowy udział pojazdów w poszczególnych przedziałach wiekowych w całości taboru eksploatowanego przez MPK**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.

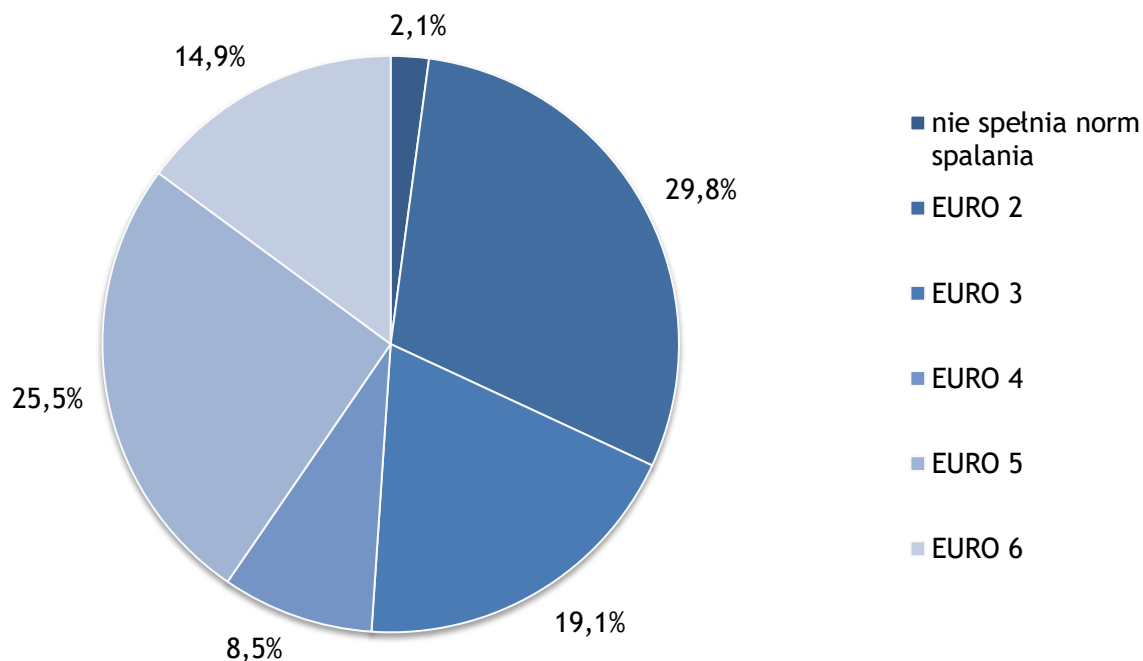
Planowana jest sukcesywna wymiana taboru na nowszy, którego standard będzie również uwzględniać potrzeby osób niepełnosprawnych i osób o ograniczonej zdolności ruchowej oraz aspekty związane z ochroną środowiska naturalnego.

### **Podział taboru ze względu na spełniane normy emisji spalin**

Stan techniczny środków transportu zbiorowego ma zasadniczy wpływ na bezpieczeństwo, zanieczyszczenie powietrza oraz poziom hałasu w Mieście Siedlce. Poprawę w tych obszarach Miasto osiągnęło poprzez sukcesywną realizację planu modernizacji taboru autobusowego, w tym zakupy najnowszych, ekologicznych pojazdów, których silniki spełniają wymagania normy emisji spalin EURO 6 obowiązującej od początku 2014 roku. Ponadto, równie istotne jest wycofywanie z eksploatacji autobusów przestarzałych technologicznie, spełniających wymagania najmniej restrykcyjnych norm, tj. EURO 1 z 1993 i EURO 2 z 1996 roku.

Na poniższym diagramie zaprezentowano podział taboru eksploatowanego przez MPK ze względu na spełnianą normę emisji spalin.



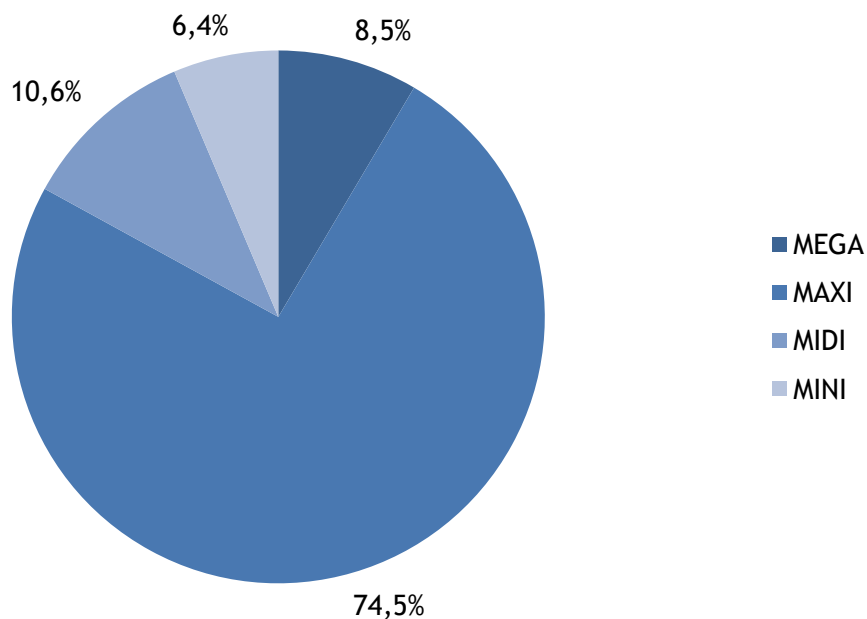


**Wykres 4. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin w całości taboru eksploatowanego przez MPK**

Źródło: Opracowanie własne

#### **Podział taboru ze względu na klasę pojazdów**

Tabor eksploatowany przez MPK jest zróżnicowany pod względem klasy, większość wykorzystywanych autobusów przez MPK to pojazdy klasy MAXI (11 - 13 [m]) - 74,5% mierzące 12 metrów długości. Kolejnymi pojazdami wykorzystywanymi w Mieście Siedlce są pojazdy klasy MIDI (9-11 [m]) oraz MINI (6 - 9 [m]) łącznie stanowią ponad 17% całego taboru. MPK posiada również autobusy klasy MEGA przegubowe (15 - 18 [m]) - 8,5%, ponieważ występuje potrzeba kursowania pojazdów o większej pojemności pasażerskiej na sieci komunikacyjnej.



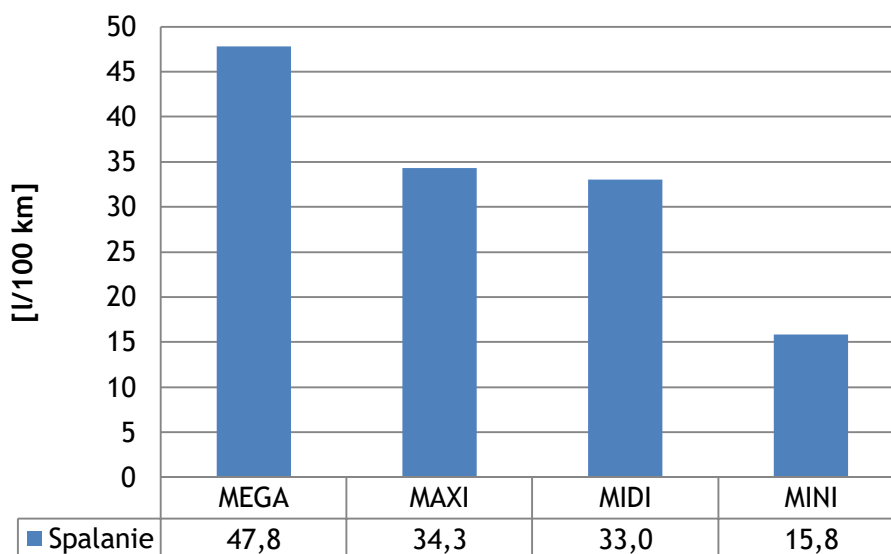
**Wykres 5. Procentowy udział pojazdów obsługiwanych przez MPK ze względu na klasę**  
*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

#### **Podział taboru ze względu na rodzaj napędu**

Całość taboru wykorzystywanego przez MPK stanowią autobusy o napędzie konwencjonalnym, które są najczęściej wykorzystywanym rodzajem napędu w pojazdach wykorzystywanych do przewozu osób w transporcie zbiorowym.

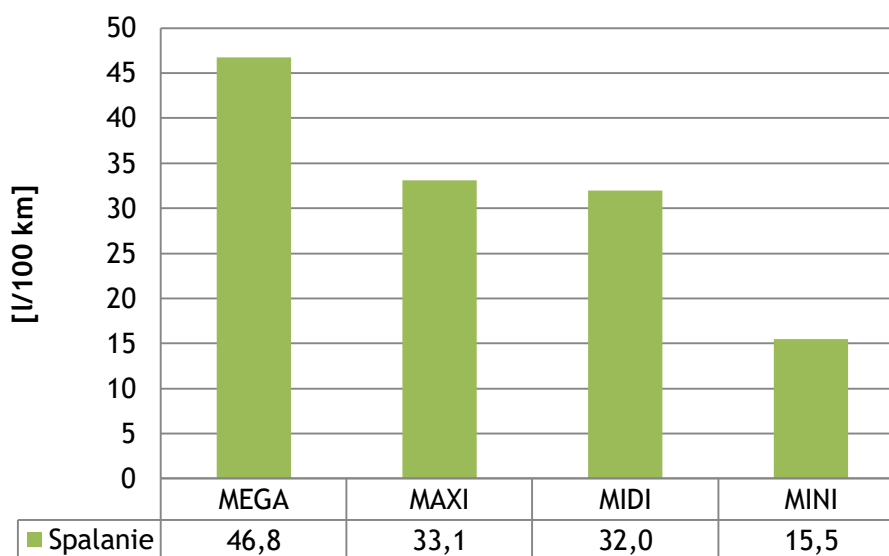
#### **Średnie spalanie pojazdów o różnych klasach**

**Tabela 3. Średnie spalanie w okresie zimowy w rozróżnieniu na klasę pojazdów**



*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

Tabela 4. Średnie spalanie w okresie letnim w rozróżnieniu na klasę pojazdów



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.

### Podsumowanie

Stan taboru na dzień 30 czerwca 2018 ukazuje, że MPK eksploatuje ponad 40% pojazdów spełniających normy spalania EURO 5 oraz EURO 6. Ponad 40% pojazdów ma mniej niż 10 lat, który to wiek jest uznawany za graniczny w okresie eksploatacji. Pojazdy najmłodsze, zostały wyprodukowane w 2017 roku. Ze względu na zużycie techniczne do wycofania z eksploatacji kwalifikują się pojazdy posiadające powyżej 15 lat - 15 pojazdów czyli ponad 30% taboru autobusowego. Normę EURO 6 spełnia 14,9% eksploatowanego taboru. Podsumowując, stan taboru autobusowego w Mieście Siedlce wymaga wymiany przestarzałego taboru posiadającego ponad 15 lat oraz spełniającego najniższe normy emisji spalin oraz zakup pojazdów niskoemisyjnych, które przyczyniają się do wspierania przedsięwzięć proekologicznych.

#### 1.4.4. Charakterystyka parametrów sieci linii komunikacji miejskiej

Głównym przedmiotem działalności MPK jest świadczenie usług pasażerskiego transportu publicznego. Na 2018 r. Spółka zaplanowała wykonanie pracy przewozowej w ilości 2 363 032 wzkm. Dokładną pracę przewozową z podziałem na poszczególne jednostki administracyjne wskazano w tabeli.

Tabela 5. Planowane łączne wzkm ze świadczenia usług pasażerskiego transportu publicznego w 2018 roku

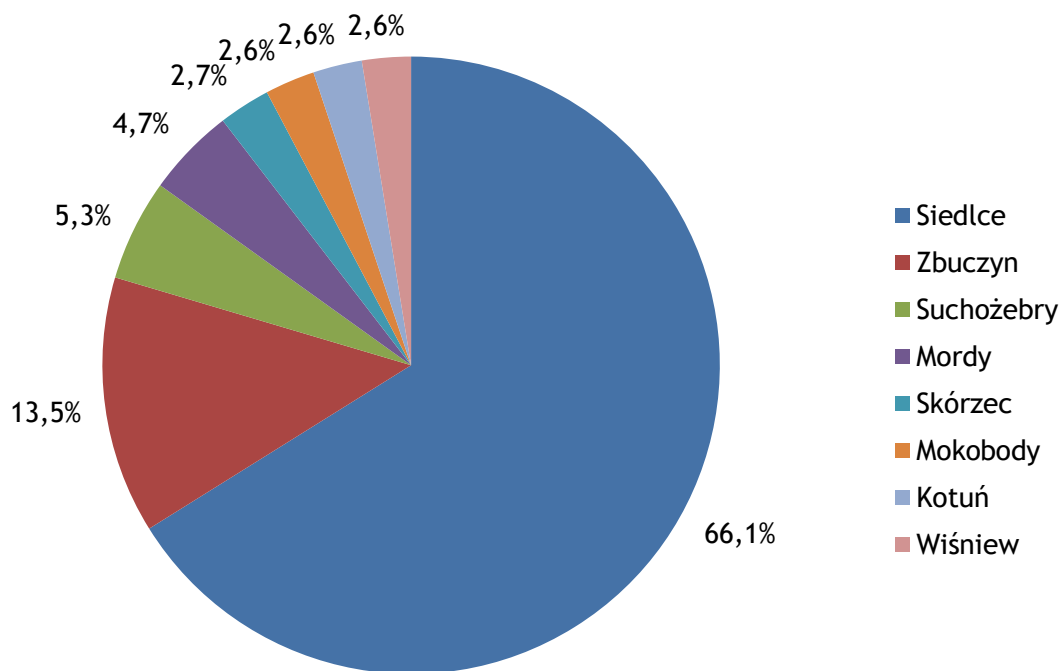
Lp.	Okres eksploatacji	Kilometry w Mieście Siedlce	Kilometry poza miastem	Kilometry ogółem
1	Dni robocze 1.01 -24.06. i 1.09 - 31.12	1 137 576	530 798	1 668 374
2	Dni robocze 27.06 - 31.08	220 206	94 227	314 433
3	Soboty 1.01 - 31.12	121 482	61 149	182 631
4	Niedziele i dni świąteczne 1.01 - 31.12	130 014	67 580	197 594
<b>Łącznie</b>		<b>1 609 278</b>	<b>753 754</b>	<b>2 363 032</b>

*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

Tabela 6. Planowane wzkm na obszarze pozamiejskim ze świadczenia usług pasażerskiego transportu publicznego w 2018 roku

Lp.	Gmina	Dni robocze - okres szkolny		Dni robocze - okres wakacyjny		Soboty		Dni świąteczne		Razem w Gminach
		Ilość km dziennie	Łącznie km	Ilość km dziennie	Łącznie km	Ilość km dziennie	Łącznie km	Ilość km dziennie	Łącznie km	
1	Siedlce	1 743	351 143	1 195	58 555	826	42 126	751	46 562	<b>498 386</b>
2	Zbuczyn	359	72 877	259	12 691	148	7 548	136	8 432	<b>101 548</b>
3	Suchożebry	136	72 608	115	5 635	60	3 060	60	3 720	<b>40 023</b>
4	Mordy	127	25 781	113	5 537	39	1 989	29	1 798	<b>35 105</b>
5	Skórzec	65	13 195	54	2 646	43	2 193	38	2 356	<b>20 390</b>
6	Mokobody	70	14 210	63	3 087	26	1 326	17	1 054	<b>19 677</b>
7	Kotuń	69	14 007	65	3 185	18	918	20	1 240	<b>19 350</b>
8	Wiśniew	59	11 977	59	2 891	39	1 989	39	2 418	<b>19 275</b>
<b>Razem</b>		<b>2 628</b>	<b>530 798</b>	<b>1 923</b>	<b>94 227</b>	<b>1 119</b>	<b>61 149</b>	<b>1 090</b>	<b>67 580</b>	<b>753 754</b>

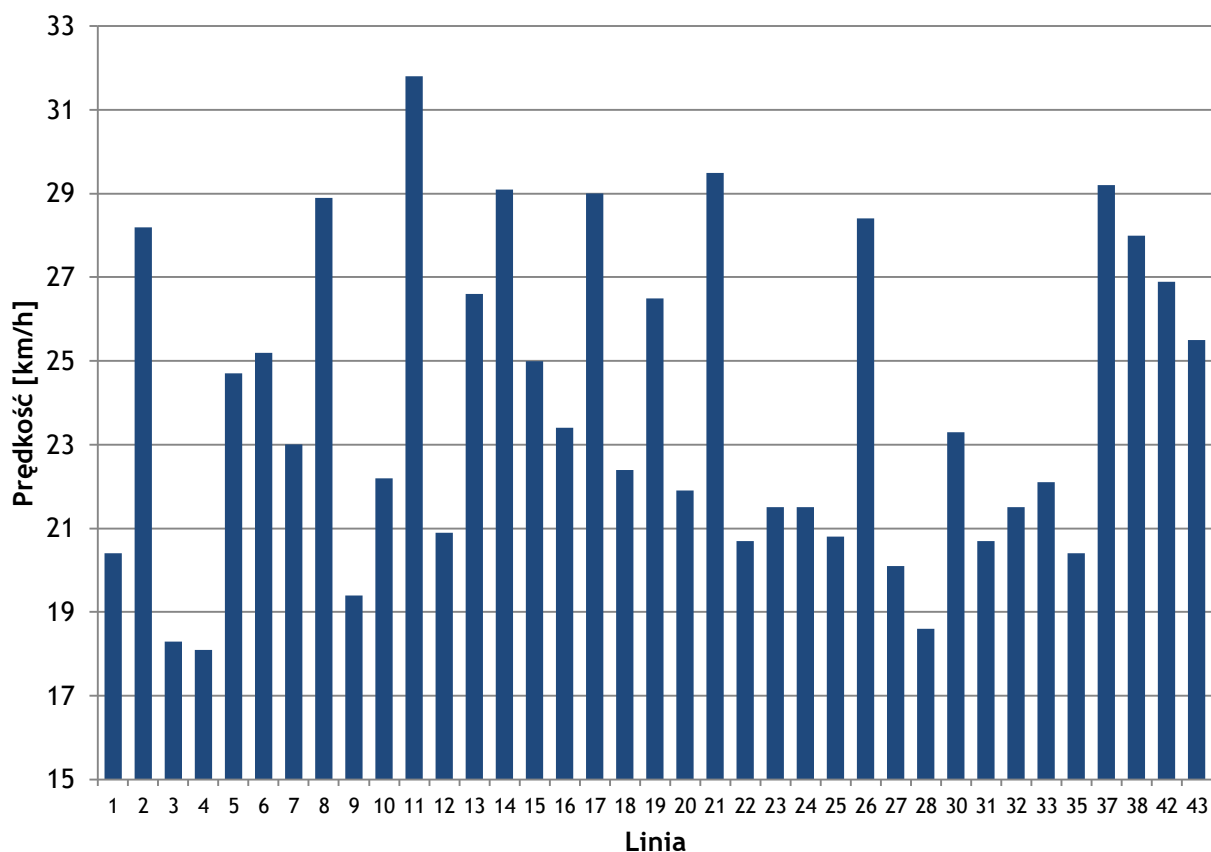
*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*



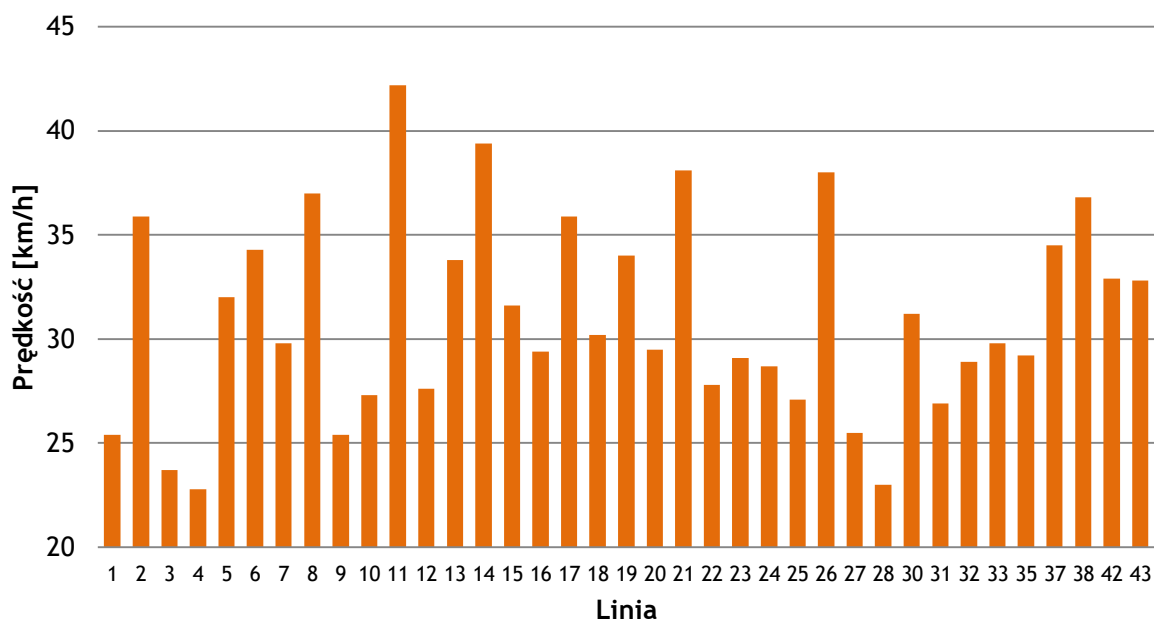
**Wykres 6. Procentowy udział poszczególnych gmin obsługiwanych przez MPK**  
*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

### ***Prędkości komunikacyjne na liniach komunikacji miejskiej***

Średnia prędkość komunikacyjna na wszystkich liniach w dzień roboczy wynosi 23,9 [km/h]. Na wszystkich liniach prędkości komunikacyjne wynoszą od 18,1 nawet do 31,8 km/h. Linie, które osiągają najwyższą prędkość komunikacyjną to linie: 11, 21 oraz 37. Linie, które kursują z najniższą prędkością to linie : 3, 4 oraz 28. Poniżej znajdują się wykresy z prędkościami komunikacyjnymi oraz prędkościami technicznymi wszystkich linii obsługiwanych przez operatora. Średnia prędkość komunikacyjna dla całej komunikacji w MPK w Siedlcach za rok 2017 wyniosła 15 km/h.



**Wykres 7. Prędkość komunikacyjna na poszczególnych liniach**  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.



**Wykres 8. Prędkość techniczna na poszczególnych liniach**  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.

## 2. METODYKA ANALIZY

Zastosowana w niniejszym opracowaniu analiza kosztów i korzyści stanowi system oceny efektywności inwestycji w tabor zeroemisyjny. Analiza kosztów i korzyści swój początek powzięła z ekonomii dobrobytu - nurtu teorii ekonomii, która powstała na początku XX wieku. Celowość analizy oparto na zmodyfikowanej zasadzie optimum Pareto - kryterium efektywności Kaldora-Hicksa. Według przytoczonego kryterium projekt otrzyma rekomendację wdrożenia w przypadku, gdy możliwe jest, aby jednostki gospodarcze, które zyskują na jego realizacji inwestycji, wypłaciły pełną rekompensatę pozostałym podmiotom, które ponoszą koszty. Konkluzją analizy kosztów i korzyści jest zależność, która stanowi, że poprzez projekty generujące korzyści netto (nadwyżkę korzyści nad kosztami) możliwa jest maksymalizacja dobrobytu społecznego<sup>1</sup>.

### 2.1. Dane

Dane do analizy pozyskano od przedsiębiorstwa oraz innych podmiotów - producentów taboru zeroemisyjnego - w zakresie:

- bieżących kosztów funkcjonowania transportu publicznego opartego na konwencjonalnych paliwach,
- potencjalnych - przewidywanych kosztów funkcjonowania transportu zeroemisyjnego, w tym bieżącego serwisu i utrzymania autobusów o napędzie zeroemisyjnym,
- informacji producentów dot. odtworzenia, np. baterii (np. pojemność, cena jednostkowa, czas życia; pozostałe odtworzenie),
- charakterystyki obecnej sieci publicznej komunikacji zbiorowej (wykaz linii komunikacyjnych, rozkładach jazdy, liczba wykonywanych wozokilometrów na poszczególnych liniach, długość linii autobusowych, czas przejazdu danej trasy, średnia prędkość na poszczególnych liniach, liczba przystanków na trasie, odległość od przystanków na trasie, liczba zatrzymań na trasie),
- szczegółowego wykazu taboru: rok produkcji, rodzaj napędu, norma emisji spalin, liczba miejsc, długość autobusu, dodatkowe wyposażenie, zużycie paliwa [l/100km],
- zasad organizacji rynku przewozów (obowiązujące porozumienia międzygminne oraz zasady rozliczania się z gminami, umowa zawarta z operatorem),
- informacji o realizowanych i planowanych inwestycjach zakupów taborowych oraz modernizacji infrastruktury technicznej zbiorowej komunikacji publicznej,
- struktury popytu (przychody całkowite z biletów z podziałem na poszczególne linie, rodzaje biletów, cennik biletowy, istniejące rozwiązanie integracji biletów).

---

<sup>1</sup> Ligus M., Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii. Analiza kosztów i korzyści, CeDeWu Sp. z .o.o., Warszawa 2010.

## 2.2. Zastosowane metody

W ramach analizy kosztów i korzyści projekt inwestycji w tabor zeroemisyjny zostanie zweryfikowany pod względem finansowych (analiza finansowa), ekonomiczno-społecznym (analiza ekonomiczno-społeczna), a tak że wrażliwości i ryzyka otrzymanych parametrów oceny.

### 2.2.1. Analiza finansowa

Głównym założeniem analizy finansowej przeprowadzonej w niniejszym opracowaniu jest ocena efektywności inwestycji. Rachunek opłacalności inwestycji obejmować będzie tylko wpływy i wydatki występujące w związku inwestycją, nie będzie on uwzględniał wpływu inwestycji na wynik finansowy przedsiębiorstwa inwestującego i inne uwarunkowania jego działalności.

Do oceny opłacalności inwestycji wykorzystano:

- metodę wartości bieżącej netto (NPV),
- metodę wewnętrznej stopy zwrotu (IRR).

Obliczenia będą odnosiły się do wpływów osiągniętych dzięki inwestycji i wydatków z nią związanych (nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacji i odtworzenia). Analiza nie uwzględnia ewentualnych negatywnych skutków, jakie mogą wystąpić w związku z inwestycją w dotychczasowej działalności przedsiębiorstwa (np. podwyższenie poziomu ryzyka, negatywne zmiany w strukturze kosztów, itp.).

**Wartość bieżąca netto (wartość zaktualizowana netto) NPV (ang. net present value)**, opiera się na zdyskontowanych przepływach gotówkowych netto (ang. net cash flow) w prognozowanych latach. Miernik NPV bazuje na różnicach między przewidywanymi wpływami pieniężnymi i wydatkami pieniężnymi poniesionymi na nakłady inwestycyjne.

Strumienie pieniężne netto w poszczególnych okresach można obliczyć jako różnicę dodatnich i ujemnych przepływów pieniężnych. Do dodatnich przepływów zalicza się, np.: zysk netto, amortyzację, nakłady na kapitał obrotowy.

W ramach ujemnych przepływów pieniężnych zalicza się: nakłady inwestycyjne finansowane kapitałem własnym, nakłady na kapitał obrotowy finansowane kapitałami własnymi podczas realizacji inwestycji, a także koszty z eksploatacji inwestycji i inne o podobnym charakterze.

Miernik NPV przedstawia się wówczas za pomocą wzoru:



### Bieżąca wartość netto (NPV)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{FCF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

gdzie:

$NPV$  - wartość bieżąca netto

$FCF_t$  - przepływy gotówkowe w okresie  $t$

$r$  - stopa dyskonta

$I_0$  - nakłady początkowe

$t$  - kolejne okresy (najczęściej lata) eksploatacji inwestycji

### Składniki NPV - FCF (free cash flow)

$$FCFF = EBIT * (1 - T) + A - CAPEX - \Delta NWC$$

gdzie:

$FCF$  - wolne przepływy pieniężne,

$EBIT$  - zysk operacyjny

$T$  - stopa opodatkowana,

$A$  - amortyzacja,

$CAPEX$  - nakłady odtworzeniowe,

$\Delta NWC$  - wydatki na sfinansowanie wzrostu zapotrzebowania na KON.

### Składniki NPV - WACC

$$WACC = w_e * k_e + w_d * k_d (1 - T),$$

gdzie:

$WACC$  - średni ważony koszt kapitału

$w_e$  - udział kapitału własnego

$k_e$  - koszt kapitału własnego

$w_d$  - udział kapitału obcego

$k_d$  - koszt kapitału obcego

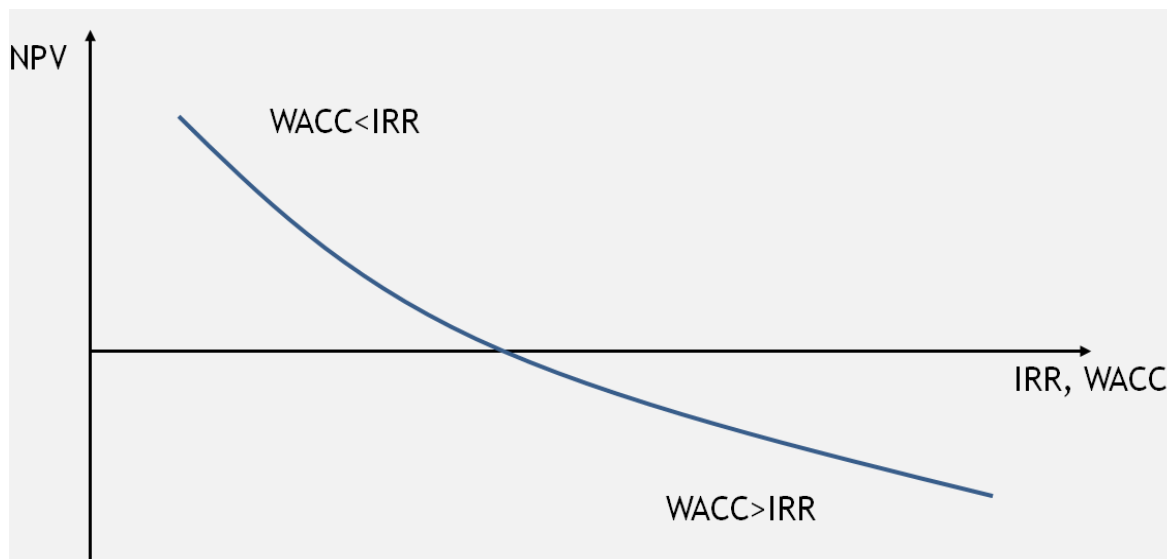
$T$  - stopa opodatkowana

NPV jako kryterium opłacalności inwestycji może przybierać wartości:

- $NPV < 0$  - inwestycja jest nieopłacalna z punktu widzenia wartości firmy,
- $NPV = 0$  - inwestycja znajduje się na granicy opłacalności,
- $NPV > 0$  - inwestycja jest opłacalna, tym bardziej im większa jest wartość współczynnika.

Inwestycja jest więc opłacalna, gdy  $NPV \geq 0$ , co oznacza, iż stopa rentowności inwestycji jest wyższa od stopy granicznej, określonej przez przyjętą do rachunku stopę dyskontową. Każda inwestycja o NPV większym od zera może być zrealizowana, ponieważ przyniesie przedsiębiorstwu wyższe korzyści finansowe niż wymagane przez inwestora, a tym samym podniesie wartość firmy. Natomiast ujemna wartość NPV świadczy o niższej od granicznej stopie rentowności przedsięwzięcia. Z punktu widzenia wartości firmy realizacja takiego przedsięwzięcia będzie nieopłacalna.

Wartość NPV zależy, z jednej strony, od wartości i rozłożenia w czasie przepływów pieniężnych netto, z drugiej zaś od przyjętej do obliczeń stopy dyskontowej. Podniesienie poziomu stopy dyskontowej prowadzi do obniżenia zdyskontowanej wartości przepływów pieniężnych netto w kolejnych latach okresu obliczeniowego. Zależność między stopą dyskontową, a wartością NPV przedstawiono na wykresie.



Schemat 1. Zależność między stopą dyskontową, a wartością NPV

Źródło: Opracowanie własne.

Drugą metodą zastosowaną do oceny efektywności inwestycji jest **wewnętrzna stopa zwrotu (IRR)**. IRR jest miarą rzeczywistej efektywności przedsięwzięcia inwestycyjnego, rentowności dla danego przedsięwzięcia. IRR jest taką stopą dyskontową, przy której NPV=0 (wartość zaktualizowana wpływów pieniężnych równa się wartości zaktualizowanej wydatków pieniężnych). Opłacalny będzie ten projekt, dla którego wewnętrzna stopa zwrotu jest nie mniejsza niż stopa dyskontowa przyjęta do obliczania NPV projektu inwestycyjnego.

**W przypadku wyboru spośród kilku alternatywnych projektów za najlepszy uważa się ten, dla którego IRR ma najwyższą wartość.**

Poziom wewnętrznej stopy zwrotu badanej inwestycji wykorzystując formułę interpolacji liniowej przyjmuje postać:

$$\sum_{t=0}^n \frac{FCF_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

gdzie:

$NPV$  - wartość bieżąca netto,

$FCF_t$  - przepływy gotówkowe w okresie  $t$ ,

$r$  - stopa dyskonta,

$I_0$  - nakłady początkowe,

$t$  - kolejne okresy (najczęściej lata) eksploatacji inwestycji.

Analiza finansowa obejmuje czas ekonomicznej użyteczności taboru - cały okres funkcjonowania inwestycji, tj. okres jej realizacji, jak i pełny przewidywany okres eksploatacji inwestycji.

Analiza została przeprowadzona w cenach stałych oraz z pominięciem podatku VAT (netto).

### 2.2.2. Analiza społeczno-ekonomiczna

Założenia analizy ekonomiczno-społecznej:

- analiza koncentruje się na efektach inwestycji z perspektywy dobrobytu społecznego
- analiza efektów ekologicznych
- analiza obejmuje tylko efekty bezpośrednio wynikające z projektu
- analiza koncentruje się na:
  - zgeneralizowanych kosztach transportu i
  - dających się zmonetyzować kosztach zewnętrznych transportu

**Zgeneralizowane koszty transportu** oznaczają wartości, które można zdefiniować jako:

- koszty czasu (straty czasu) - różnicowe koszty czasu podróży pasażerów, którzy zrezygnowali z podróży samochodami na rzecz transportu publicznego
- różnicowe koszty podróży - oszczędności na kosztach eksploatacji pojazdów (pomniejszone o koszt zakupu biletów).

**Zmonetyzowane koszty zewnętrzne** stanowią:

- koszty wypadków - niższe koszty wypadków na drogach dzięki zmniejszeniu ruchu drogowego,
- koszty społeczne emisji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>) - różnicowe koszty zmian klimatycznych (emisja CO<sub>2</sub>),
- koszty społeczne emisji gazów innych niż cieplarniane (tj. lokalnych skutków zanieczyszczenia powietrza) - niższe koszty zanieczyszczenia środowiska, dzięki zmniejszeniu ruchu drogowego,
- koszty społeczne emisji hałasu - różnicowe koszty hałasu.

Rezultatami analizy ekonomiczno-społecznej są miary:

- ENPV - (economic net present value) ekonomiczna wartość bieżąca netto
- ERR - (economic rate of return) ekonomiczna stopa zwrotu

**ENPV** Ekonomiczna bieżąca wartość netto

$$ENPV = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} - I_0$$

gdzie:

$S_t$  - salda strumieni ekonomicznych kosztów i korzyści generowanych przez projekt w poszczególnych latach przyjętego okresu odniesienia analizy

$I_0$  - nakłady początkowe

$r$  - stopa dyskonta

$t$  - kolejne okresy (najczęściej lata) eksploatacji inwestycji

## ERR ekonomiczna stopa zwrotu

$$\sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

gdzie:

$S_t$  - salda strumieni ekonomicznych kosztów i korzyści generowanych przez projekt w poszczególnych latach przyjętego okresu odniesienia analizy

$I_0$  - nakłady początkowe

$r$  - stopa dyskonta

$t$  - kolejne okresy (najczęściej lata) eksploatacji inwestycji

### 2.2.3. Analiza wrażliwości

Analiza wrażliwości polega na badaniu wpływu przyszłych zmian w kształtowaniu się podstawowych zmiennych inwestycji na poziom jej opłacalności, tj. mierniki NPV, IRR, ENPV i ERR. Technika ta służy do określenia zmienności wyników oceny opłacalności na wahania wartości różnych zmiennych. Analiza polega na określeniu wpływu zmiany pojedynczych zmiennych krytycznych o określoną procentowo wartość, na poziom finansowych i ekonomicznych wskaźników efektywności projektu. Modyfikacji poddaje się tylko jedną zmienną, podczas gdy inne parametry powinny pozostać niezmienione.

W opracowaniu bada się wpływ zmian wartości takich zmiennych jak: wysokość wpływów pieniężnych będących efektem inwestycji, wysokość wydatków pieniężnych o charakterze bieżącym (eksploatacyjnym), a także wysokość nakładów inwestycyjnych oraz stopy dyskontowej, na zmiany w wysokości miar NPV, IRR, ENPV i ERR.

Dokonano symulacji parametrów analizy wrażliwości związanych bezpośrednio z projektem (zmiennie kluczowe), w tym:

- nakładów inwestycyjnych,
- kosztów operacyjnych,
- pracy przewozowej oraz wynikających z niej wartości jednostkowych monetyzowanych efektów.

## Rezultaty analizy wrażliwości

- wyłonienie kluczowych zmiennych AKK jako krytycznych dla analizy. Za zmienną krytyczną uważa się tę zmienną kluczową, której zmiana o  $\pm 1$ pp. wywołuje zmianę NPV o co najmniej 1pp.
- wartości progowe (switching values) kluczowych założeń, w tym przede wszystkim zmiennych krytycznych. Zmienna przyjmuje wartość progową, kiedy jej zmiana powoduje osiągnięcie NPV=0.

### 2.2.4. Analiza ryzyka

Analizy ryzyka polega na opisaniu rodzajów ryzyka związanych z realizacją projektu i jego późniejszym funkcjonowaniem w podziale na grupy ryzyka oraz ocenie prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych rodzajów ryzyka i ich wpływu na projekt.

#### Matryca ryzyka - klasyfikacja prawdopodobieństwa

- A. Bardzo mało prawdopodobne (0-10% prawdopodobieństwa).
- B. Mało prawdopodobne (10-33% prawdopodobieństwa).
- C. Mniej więcej tak samo prawdopodobne, jak nie (33-66% prawdopodobieństwa).
- D. Prawdopodobne (66-90% prawdopodobieństwa).
- E. Bardzo prawdopodobne (90-100% prawdopodobieństwa).

#### Matryca ryzyka - klasyfikacja stopnia zagrożenia

1. Brak istotnego wpływu, bez działań naprawczych.
2. Drobne straty w zakresie dobrobytu społecznego generowane przez projekt, mogą być wymagane działania naprawcze.
3. Umiarkowane straty społeczne spowodowane przez projekt, działania zaradcze wymagane i skuteczne na tym poziomie.
4. Wysoka strata społeczna wygenerowana przez projekt. Działania zaradcze, nawet o dużym zasięgu, nie wystarczą.
5. Niepowodzenie projektu, które może spowodować poważną lub całkowitą utratę funkcji projektu.

Prawdopodobieństwo	Stopień zagrożenia				
	1	2	3	4	5
A	niskie	niskie	niskie	niskie	umiarkowane
B	niskie	niskie	umiarkowane	umiarkowane	wysokie
C	niskie	umiarkowane	umiarkowane	wysokie	bardzo wysokie
D	niskie	umiarkowane	wysokie	bardzo wysokie	bardzo wysokie
E	umiarkowane	wysokie	bardzo wysokie	bardzo wysokie	bardzo wysokie

**Schemat 2. Matryca ryzyka - klasyfikacja poziomu ryzyka**

Źródło: Opracowane własne.

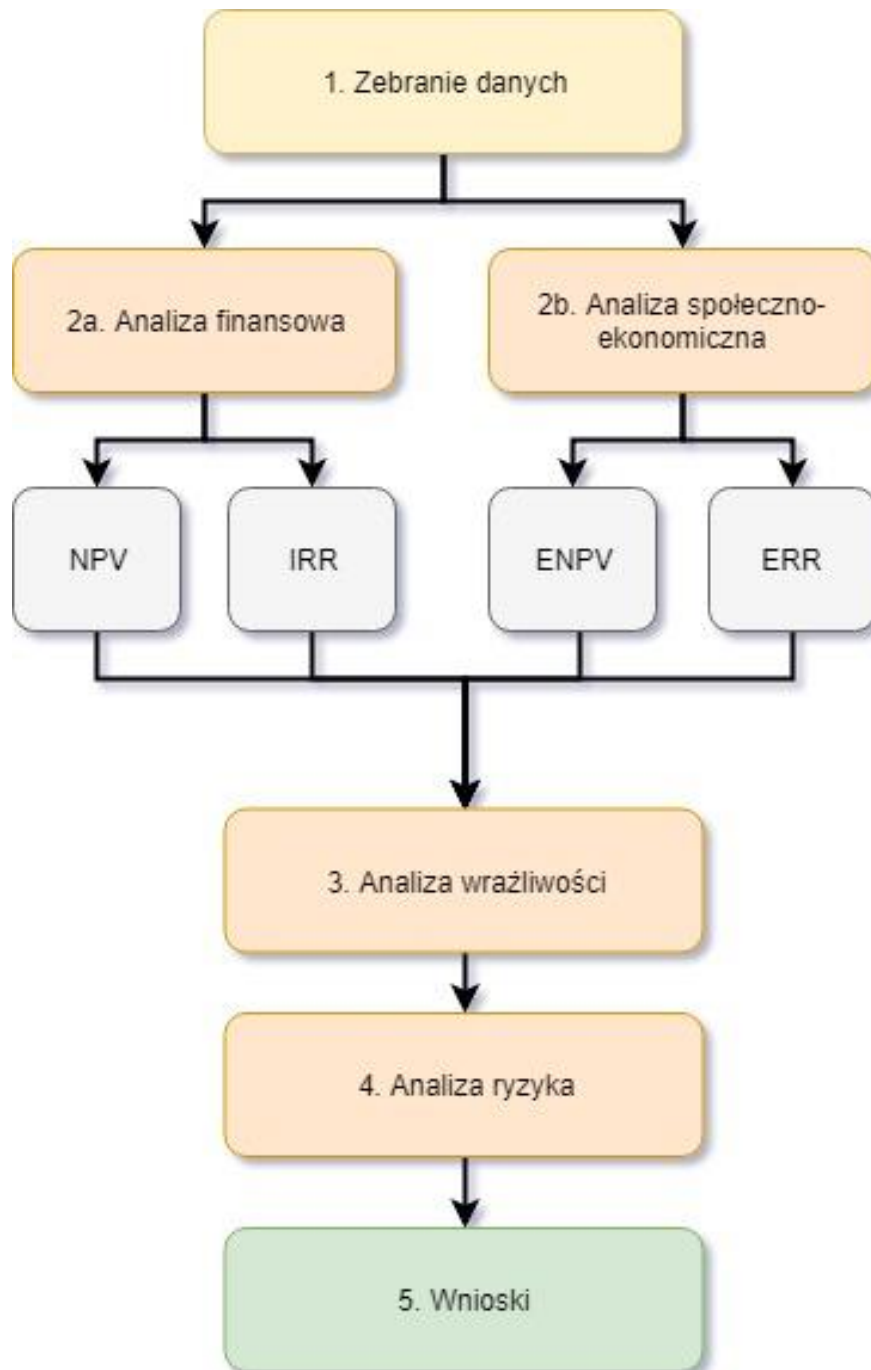
Prawdopodobieństwo	Stopień zagrożenia				
	1	2	3	4	5
A	Zapobieganie lub łagodzenie		Łagodzenie		
B					
C					
D	Zapobieganie		Zapobieganie i łagodzenie		
E					

**Schemat 3. Matryca ryzyka - sposób działania**

Źródło: Opracowane własne.

### 2.3. Procedura analizy

Na schemacie przedstawiono procedurę przeprowadzenia analizy kosztów i korzyści dla Inwestycji.



**Schemat 4. Procedura analizy kosztów i korzyści**

*Źródło: opracowane własne.*



### 3. ANALIZA OPCJI INWESTYCYJNYCH

#### *Alternatywne warianty realizacji inwestycji*

Wśród alternatywnych rozwiązań można wskazać grupy wariantów:

- Wariant „0” - bezinwestycyjny - wymiana taboru o napędzie konwencjonalnym,
- Wariant „1” - wprowadzenie do eksploatacji taboru zeroemisyjnego o napędzie elektrycznym,
- Wariant „2” - wprowadzenie do eksploatacji taboru zeroemisyjnego o napędzie wodorowym.

Biorąc pod uwagę ekologiczny aspekt, wprowadzenie nowego taboru do centrum miasta, wpłynie pozytywnie na zniwelowanie problemu z wydzielaniem niebezpiecznych substancji do środowiska naturalnego. Wpłynie to korzystnie na jakość życia mieszkańców Miasta Siedlce. Analiza potrzeby wprowadzenia takiego rozwiązania powinna dotyczyć przede wszystkim linii, których trasa przebiega przez tereny miejskie o najwyższym zaludnieniu.

Poniżej znajduje się szczegółowa analiza wprowadzenia pojazdów o zróżnicowanym napędzie pod względem podstawowych parametrów technicznych, kosztów inwestycji, wpływu na środowisko itp.

Zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r o elektromobilności i paliwach alternatywnych do 2028 roku podmiot świadczący usługi publicznego transportu zbiorowego będzie posiadał co najmniej 30% autobusów zeroemisyjnych w całym eksploatowanym taborze na rzecz danej jednostki samorządu terytorialnego. Ustawa zawiera poszczególne etapy osiągnięcia wymaganej liczby pojazdów o napędzie zeroemisyjnym do roku 2028:

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

Zgodnie z zapisami do ustawy w Mieście Siedlce przy obecnym stanie taboru wynoszącym 47 pojazdów, do 2028 roku wymagana liczba pojazdów zeroemisyjnych wynosi 15. MPK nie posiada w swoim taborze pojazdów o napędzie zeroemisyjnym.

Tabela 7. Wymagana liczba pojazdów zeroemisyjnych

Założenia inwestycyjne zgodnie z ustawą	
Rok inwestycji	Ilość wymaganych pojazdów
2021	3
2023	5
2025	10
2028	15

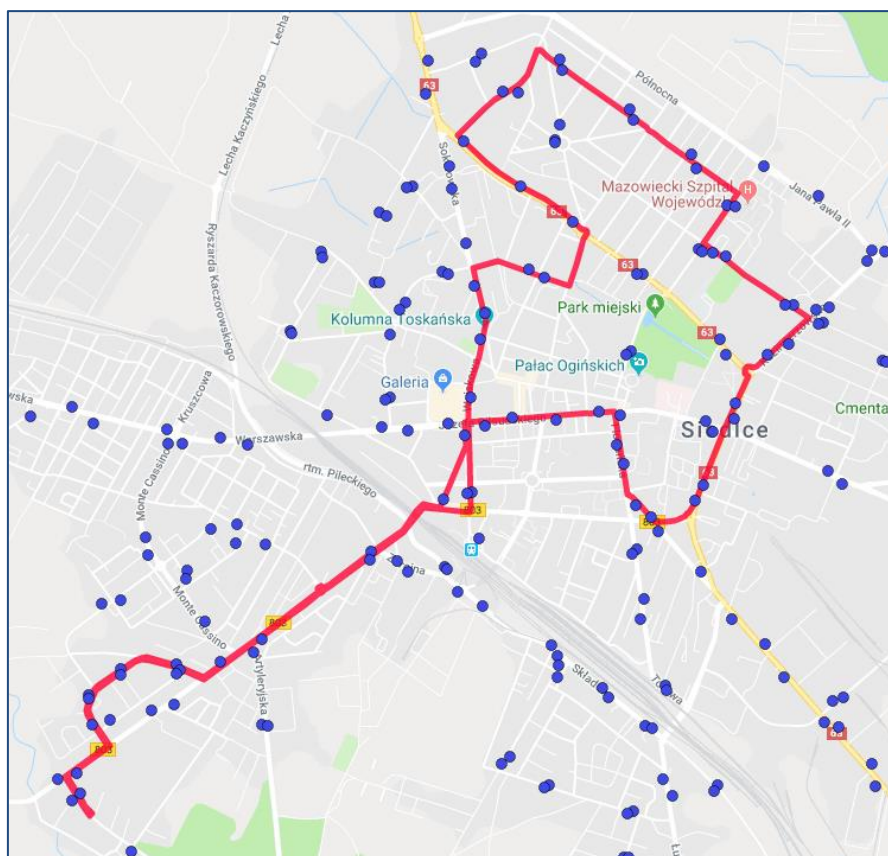
Źródło: Opracowanie własne.

### ***Alternatywna trasa autobusów zeroemisyjnych***

Do poprawnego wykonania analizy rozwiązań alternatywnych należy wskazać układ sieci komunikacyjnej, na którym autobusy zeroemisyjne będą wykonywały przewozy w zakresie publicznego transportu zbiorowego. Aby zaproponować najlepsze rozwiązanie zarówno doboru infrastruktury ładującej, przebiegu trasy oraz doboru parametrów technicznych pojazdu, badamy między innymi takie szczegóły jak: rozkład jazdy autobusu, trasę, danej linii komunikacyjnej, infrastrukturę w danym mieście. Na tej podstawie można wskazać potrzeby dotyczące infrastruktury ładowania jakie powinny znaleźć się na trasach przejazdu lub na bazie operatora.

Wstępną koncepcję przedstawiono na przykładzie linii autobusowych nr 3, 4, 16, oraz 20.

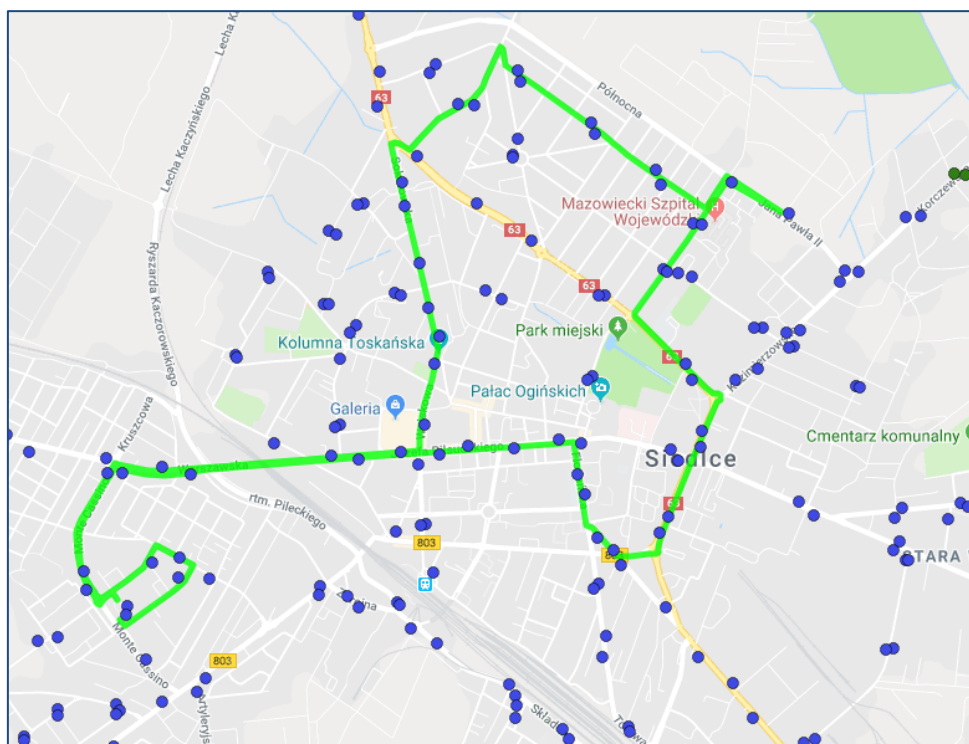
Uzupełniająco autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały pozostałe linie komunikacyjne w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy na liniach całkowicie zelektryfikowanych.



**Rysunek 2. Przebieg linii komunikacyjnej nr 3**

Źródło: <http://mpk.siedlce.pl/rozklad>.

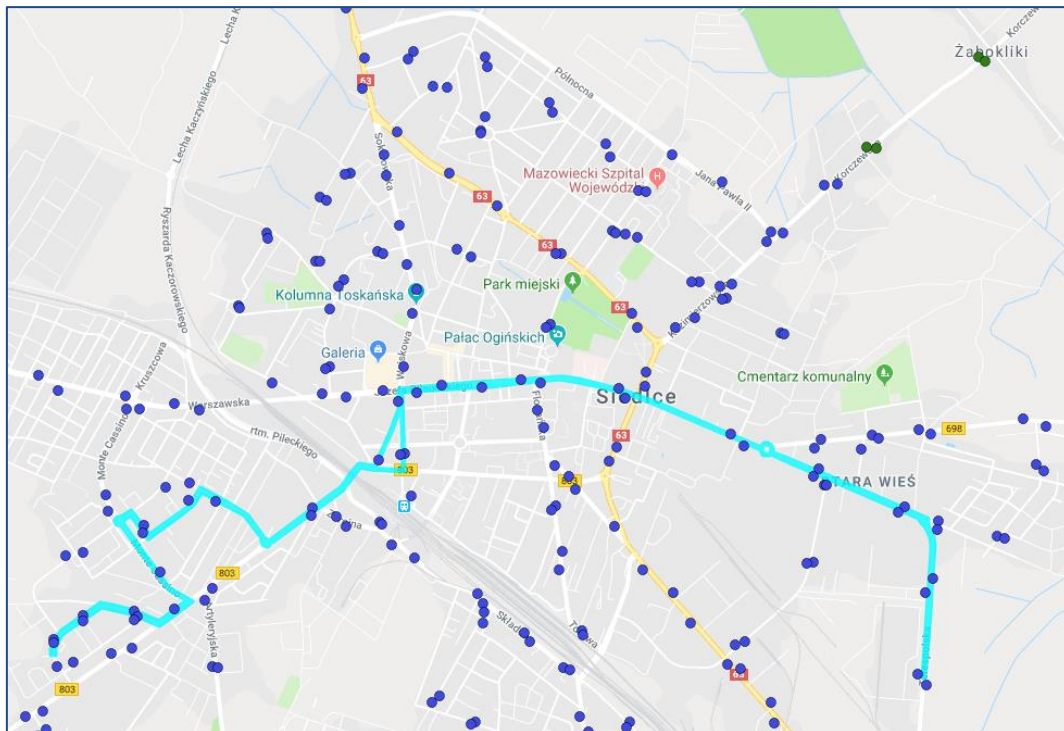
Trasa nr 3 charakteryzuje się przebiegiem w centralnej części miasta nieopodal Dworca PKP, szczegółowa trasa opisana w tabeli poniżej. Długość linii wynosi 15,5 km, średnia prędkość komunikacyjna wynosi 18,3 km/h oraz na trasie znajdują się 37 przystanki. Czas przejazdu jednego kursu wynosi około 50 minut. Dziennie w dni robocze zakłada się, że autobusy na linii nr 3 pokonują ponad 900 wzk, wykonując 56 kursów od godz. 04:55 do godz. 22:30. W okresie wakacyjnym na linii nr 3 pojazdy pokonują 735 wzk wykonując 44 kursy. W niedziele i święta na linii nr 3 planuje się wykonywać ponad 400 wzk gdzie ilość kursów ma wynosić 27. Linia przebiega tylko w obszarze miejskim, z przystankiem początkowym oraz końcowym „Kalinowa-Leśna”.



**Rysunek 3. Przebieg linii komunikacyjnej nr 4**

Źródło: <http://mpk.siedlce.pl/rozklad>.

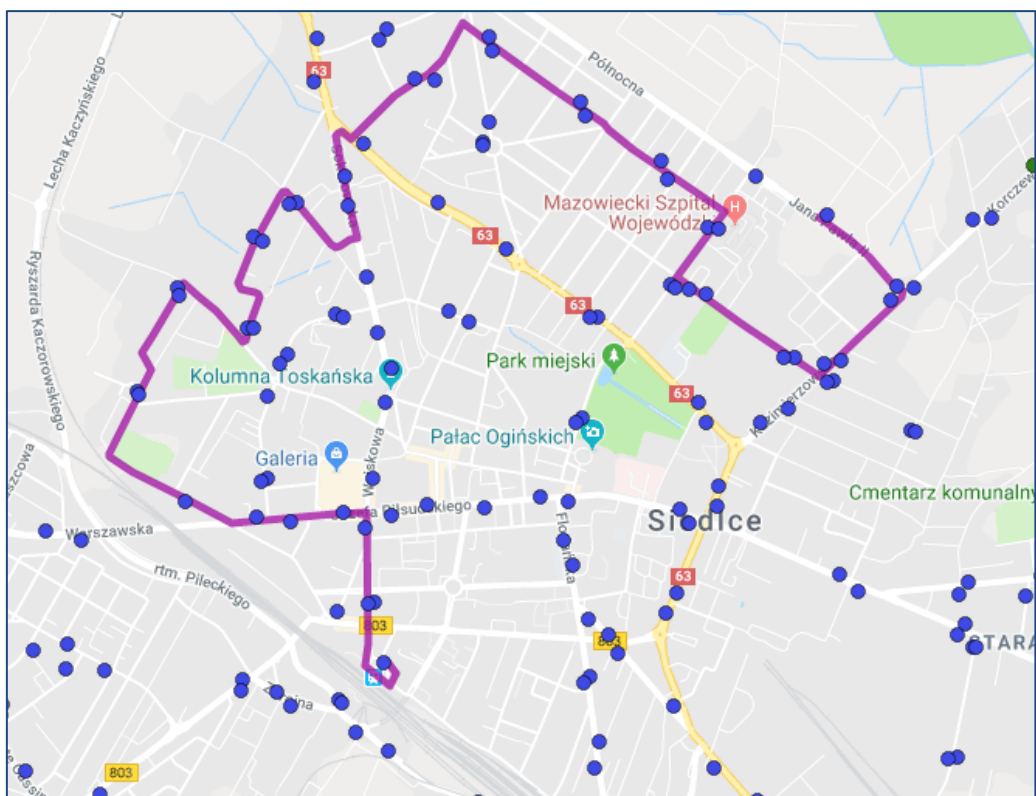
Trasa nr 4 charakteryzuje się przebiegiem w centralnej części miasta, szczegółowa trasa opisana w tabeli poniżej. Dziennie zakłada się, że autobusy na linii pokonują ponad 850 wzkm w dzień roboczy wykonując 61 kursów, 480 wzkm w soboty wykonując 29 kursów oraz 400 wzkm w niedziele i święta wykonując również 29 kursów. Czas potrzebny do wykonania jednego kursu to około 45 minut. Na trasie znajduje się 30 przystanków. Linia przebiega w obszarze miejskim, z przystankiem początkowym oraz końcowym „Kurpiowska”. Średnia prędkość komunikacyjna autobusów na linii to 18,1 km/h. Linia nr 4 nie przebiega w pobliżu zajezdni MPK.



**Rysunek 4. Przebieg linii komunikacyjnej nr 16**

Źródło: <http://mpk.siedlce.pl/rozklad>.

Trasa nr 16 charakteryzuje się przebiegiem w centralnej części miasta nieopodal Dworca PKP oraz zajezdni MPK, szczegółowa trasa opisana w tabeli poniżej. Długość linii wynosi w zależności od wariantu 8,5/10,1 km, średnia prędkość komunikacyjna na trasie wynosi 23,4 km/h oraz czas potrzebny do pokonania kursu wynosi 30 minut. Na trasie znajduje się 18 przystanków. Dziennie w dni robocze zakłada się, że autobusy na linii nr 16 pokonują ponad 234 wzkm, wykonując 24 kursy od godz. 05:20 do godz. 22:50. W okresie wakacyjnym na linii nr 16 pojazdy pokonują 244 wzkm wykonując 24 kursy. W niedziele i święta na linii nr 16 planuje się wykonywać ponad 131 wzkm gdzie ilość kursów ma wynosić 12. Linia przebiega tylko w obszarze miejskim, z przystankiem początkowym „Unitów Podlaskich” oraz końcowym „Mostostal”.



**Rysunek 5. Przebieg linii komunikacyjnej nr 20**

Źródło: <http://mpk.siedlce.pl/rozklad>.

Trasa nr 20 charakteryzuje się przebiegiem w centralnej części miasta, obsługując przystanek na Dworcu PKP, szczegółowa trasa linii zaproponowanych do elektryfikacji opisana w tabeli poniżej. Dziennie zakłada się, że autobusy na linii pokonują ponad 250 wzkm w dzień roboczy wykonując 29 kursów, 67 wzkm w soboty wykonując 8 kursów oraz tyle samo w niedziele i święta wykonując również 8 kursów. Czas potrzebny do wykonania jednego kursu to około 25 minut. Na trasie znajduje się 21 przystanków. Linia przebiega tylko w obszarze miejskim, z przystankiem początkowym „Dworzec PKP” oraz końcowym „Park Wodny”. Średnia prędkość komunikacyjna autobusów na linii to 21,9 km/h. Linia nr 20 nie przebiega w pobliżu zajezdni MPK.

**Tabela 8. Przebieg linii komunikacyjnych zaproponowanych do elektryfikacji**

Nr Linii	Przebieg Linii
3	Kalinowa-Leśna → Garwolińska → Unitów Podlaskich → Romanówka → Garwolińska → Partyzantów → 3-go Maja → Armii Krajowej → Wojskowa → Sokółowska → Rynkowa → Czerwonego Krzyża → Jagiełły → Chrobrego → Graniczna → Mireckiego → Dąbrowskiego → Poniatowskiego → Bema → Kazimierzowska → Wyszyńskiego → Brzeska → Floriańska → Piłsudskiego → Armii Krajowej → Świętojańska → Partyzantów → Garwolińska → Romanówka → Unitów Podlaskich → Garwolińska → Kalinowa-Leśna.
4	Kurpiowska → Kraszewskiego → Mazurska → Monte Cassino → Warszawska → Piłsudskiego → Floriańska → Brzeska → Wyszyńskiego → Kazimierzowska → Prusa → Poniatowskiego → Park Wodny → Dąbrowskiego → Mireckiego → Graniczna → Chrobrego → Sokółowska → Wojskowa → Piłsudskiego → Warszawska → Monte Cassino → Mazurska → Kurpiowska.
16	Unitów Podlaskich → Romanówka → Partyzantów → Monte Cassino → Kurpiowska → Kraszewskiego → Partyzantów → 3-go Maja → Armii Krajowej → Piłsudskiego → Starowiejska → Terespolska → Mostostal.
20	Dw. PKP → Armii Krajowej - Piłsudskiego - Szkolna - Spokojna - Piaskowa → Nowy Świat → Żytia → Sokółowska → Chrobrego → Graniczna → Mireckiego → Dąbrowskiego → Poniatowskiego → Bema → Kazimierzowska → Jana Pawła II → Park Wodny

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK.

### **3.1. Analiza opcji inwestycyjnych**

#### **3.1.1. Wariant „0”**

Wariant bezinwestycyjny - nie podejmowanie inwestycji. Wariant ten oznacza wymianę przestarzałych pojazdów na nowe pojazdy o napędzie konwencjonalnym spełniające normę emisji spalin EURO VI. Jest to podstawowy, wyjściowy wariant analizy porównawczej, w stosunku, do którego są odnoszone i porównywane wszystkie analizowane opcje inwestycyjne.

Wariant „0” oznacza dalsze znaczące oddziaływanie autobusów napędzanych silnikiem konwencjonalnym na życie mieszkańców miejscowości zlokalizowanych wzdłuż dróg uczęszczanych przez te autobusy w takich dziedzinach jak hałas, zanieczyszczenie powietrza, drgania, bezpieczeństwo. W przypadku, gdy wariant „0” dotyczy istniejącej infrastruktury, zakłada brak jakichkolwiek modernizacji pojazdów (poza utrzymaniem). Aktualny stan techniczny autobusów ulega sukcesywnemu pogarszaniu oraz starzeniu. Dalsza ich eksploatacja wymaga nie tyle remontu kapitalnego, co wymiany na nowe pojazdy aby mogły stanowić realną alternatywę dla innych środków transportu. Wraz ze starzeniem się użytkowanego taboru koszty eksploatacyjne będą się zwiększały.

Eksploatacja wyłącznie pojazdów o napędzie konwencjonalnym pozwala na zmniejszenie kosztów zakupu taboru oraz uniknięcie kosztów związanych z zakupem infrastruktury potrzebnej do obsługi taboru o napędzie innym niż konwencjonalny tj. ładowarki do obsługi autobusów elektrycznych, stacji tankowania pojazdów napędzania wodorem.

#### **3.1.2. Wariant „1”**

Zakłada zakup oraz eksploatację autobusów zeroemisyjnym napędzanych energią elektryczną z akumulatorów oraz infrastruktury potrzebnej do obsługi taboru. Autobusy elektryczne są ciche oraz całkowicie bezemisyjne. Niski poziom emisji hałasu oraz drgań sprawia, że autobusy bateryjne są szczególnie pożądane w centrach miast. Polska zajmuje ważne miejsce w szeroko pojętym obszarze związanym z elektromobilnością zarówno jako producent, oraz jako użytkownik tego typu pojazdów. Pierwszym miastem w Polsce, które miało autobusy elektryczne była Ostrołęka oraz Kraków, gdzie uruchomiono pierwszą bezemisyjną linię autobusową. Największą flotę elektrycznych autobusów posiada Kraków, Jaworzno oraz Warszawa. Elektryczne autobusy jeżdżą też m.in. w Ostrowie Wielkopolskim, Chodzieży, Inowrocławiu, Sosnowcu, czy Wrześni.



Autobusy elektryczne najczęściej napędzane są za pomocą asynchronicznego silnika trakcyjnego. Ponadto niektóre pojazdy o nowoczesnej konstrukcji napędzane są silnikami umieszczonymi w piastach kół. Autobusy elektryczne są również wyposażone w system rekuperacji energii czyli odzyskiwania energii (doładowania akumulatorów) podczas hamowania. Autobusy elektryczne są wyposażone w akumulatory o różnych pojemnościach energetycznych określanych w kWh. Producenci autobusów elektrycznych podają średnie zużycie

na km w zakresie od 1 kWh/km do 1,4 kWh/km dla autobusów klasy MAXI. Dlatego pojemność akumulatora jest dobierana ze względu na potrzeby eksploatacyjne zamawiającego.

Autobusy elektryczne potrzebują specjalistycznej infrastruktury do obsługi pojazdów. Ładowanie akumulatorów może odbywać się na 3 sposoby. Najbardziej popularną metodą ładowania akumulatorów jest metoda bezpośrednia za pomocą kabla, metoda tzw. plug-in. Ładowanie następuje poprzez podłączenie autobusu do stacji przez ustandaryzowane złącze. Drugi sposób ładowania odbywa się za pomocą pantografu. Metoda ładowania za pomocą pantografu pozwala na ładowanie akumulatorów dużym prądem, co powoduje szybsze ładowanie akumulatorów. W zależności od wielkości akumulatorów zamontowanych w autobusie oraz mocy ładowarki już 15 minutowe ładowanie pantografem pozwoli na wydłużenie zasięgu nawet o dodatkowe 40 km. Ładowarki pantografowe lokalizuje się na pętlach autobusowych w celu szybkiego doładowania akumulatorów. Wyróżniamy głównie w tej metodzie 2 rodzaje pantografów: umieszczenie pantografu na dachu pojazdu lub na maszcie infrastruktury ładującej tzw. pantograf odwrócony. Ostatnią metodą ładowania autobusów elektrycznych jest metoda ładowania indukcyjnego. Ładowanie umożliwiają płyty indukcyjne zamontowane w podłożu jezdni oraz w podwoziu autobusu. Metoda ta zapewnia szybkie ładowanie bez ingerencji kierowców, jest to najdroższa metoda ładowania autobusów oraz najbardziej narażona na warunki atmosferyczne.

Poniżej znajduje się planowany wykaz wprowadzenia taboru zeroemisyjnego wraz z potrzebną infrastrukturą ładującą do obsługi proponowanych linii komunikacyjnych na terenie Miasta Siedlce oraz gmin, z którymi zostały zawarte porozumienia międzygminne. Wszystkie ceny znajdujące się w opracowaniu są cenami netto.

Tabela 9. Planowane wprowadzenie inwestycji wariantu „1”

Rok inwestycji	Wyszczególnienie	Ilość	Szacunkowy koszt jednostkowy [PLN]	Szacunkowy łączny koszt [PLN]
do 2021	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	3	2 000 000	6 000 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: Zajezdnia MPK)	2	100 000	200 000
do 2023	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	1	2 000 000	2 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MIDI	1	1 800 000	1 800 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: Zajezdnia MPK)	1	100 000	100 000
do 2025	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	3	2 000 000	6 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MIDI	2	1 800 000	3 600 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: Zajezdnia MPK)	2	100 000	200 000
	Ładowarka pantografowa	1	500 000	500 000
do 2028	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	5	2 000 000	10 000 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: Zajezdnia MPK)	3	100 000	300 000

*Źródło: Opracowanie własne.*

Wariant 1 zakłada zakup 12 autobusów klasy MAXI ze względu na potrzebę kursowania pojazdów o wysokiej pojemności pasażerskiej min. 75 miejsc dla pasażerów oraz 3 autobusy klasy MIDI o pojemności pasażerskiej min. 45 miejsc. Proponowaną pojemnością akumulatorów jest 200kWh dla autobusów klasy MAXI oraz 160 kWh dla pojazdów klasy MIDI. Takie akumulatory pozwolą na przejazd w zależności od warunków atmosferycznych od 120 do 160 km na jednym ładowaniu. Infrastruktura ładująca powinna pozwolić na ładowanie pojazdów w nocy podczas postoju oraz w ciągu dnia doładowując pojazdy umożliwiając im obsługę przypisanych linii komunikacyjnych. Proponowanymi stacjami ładowania typu plug-in, są ładowarki wyposażone w dwa złącza Combo-2, które umożliwiają ładowanie mocą 80 kW, w przypadku ładowania dwóch pojazdów w jednym momencie moc ładowarki rozkładana jest równomiernie 2x 40kW. Szacowany koszt zakupu ładowarki typu plug-in to 100 000,00 zł.

Proponowaną ładowarką pantografową zlokalizowaną na mieście powinna być ładowarka o mocy 190 kW, której moc pozwoliłaby na szybkie doładowanie akumulatorów około 2% na minutę. Szacunkowy koszt ładowarki pantografowej to 500 000,00 zł. Proponowaną lokalizacją ładowarki pantografowej to okolice przystanków końcowych najbardziej obciążonych zelektryfikowanych linii.

### 3.1.3. Wariant „2”

Zakłada zakup oraz eksploatację autobusów o napędzie elektrycznym opartym o ogniwa wodorowe oraz infrastruktury potrzebnej do obsługi taboru. Wodór, jako paliwo nie zawierające węgla, jest uważany za jedno z bardziej przyszłościowych źródeł energii. Oznacza to, że autobus zasilany wodorem praktycznie nie wytwarza gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek węgla. Już dziś, silniki wodorowe osiągają poziomy emisji znacznie poniżej wszelkich znanych, przyszłościowych norm emisji spalin. Energetyka wodorowa obejmuje swoim zakresem 3 etapy funkcjonalne: produkcję, magazynowanie i transport, wykorzystanie paliwa wodorowego. Pod nazwą wykorzystanie rozumieć należy konwersję wodoru na pożądany rodzaj energii, najczęściej na energię elektryczną w ogniwach paliwowych. W przypadku podjęcia inwestycji „Wariantu 2”, według Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2018 poz. 317) do 2028 roku miasta powyżej 50 tysięcy ludności powinny wprowadzić 30% taboru zeroemisyjnego kosztem spalinowego. Zgodnie z założeniami ustawy MPK do 2028 roku powinno posiadać 15 sztuk autobusów o napędzie zeroemisyjnym wraz z infrastrukturą potrzebną do eksploatacji pojazdów.

Technologia pozwalająca na napędzanie pojazdów wodorem jest technologią nową, bardzo zaawansowaną technicznie, a co najważniejsze na chwilę obecną bardzo droga w zakupie nawet przyrównując do zakupu pojazdów z napędem elektrycznym. Koszt zakupu autobusu wodorowego oscyluje w okolicach 4 000 000,00 zł.

Autobusy o napędzie wodorowym posiadają zbiorniki na wodór na dachu pojazdu mieszczące 35-40 kg wodoru. Pojazdy pokonują dystans około 450 km na jednym ładowaniu ogniw wodorowych co sprawia, że autobus o takich parametrach może zastąpić autobusy o napędzie konwencjonalnym. Szacunkowy koszt 1 kg wodoru to 7-8 €, co sprawia, że przejazd 100 km autobusem wodorowym będzie kosztował około 241 zł. Proponowana lokalizacja infrastruktury do obsługi pojazdów o napędzie wodorowym czyli scentralizowana stacja tankowania wodoru (HRS) powinna znajdować się na zajezdni MPK. Przybliżony koszt budowy stacji tankowania wodoru wynosi 2 500 000,00 zł. lecz wszystko zależy od wielkości stacji oraz sposobu dostarczania wodoru.

### 3.1.4. Porównanie alternatywnych wariantów inwestycyjnych

Wariant 1 oraz 2 zakłada zakup oraz eksploatację nowego taboru autobusowego o napędzie zeroemisyjnym, elektrycznym lub wodorowym, który będzie w stanie zastąpić pojazdy o napędzie konwencjonalnym, których użytkowanie oraz remonty będą coraz bardziej kosztowne a ich gotowość do realizacji zamierzonych prac będzie zmniejszona. Zamiana pojazdów z napędem konwencjonalnym na pojazdy zeroemisyjne przyczyni się w dużej mierze do poprawy czynników ekologicznych.

Do czynników ekologicznych, na które wpływ ma konwersja floty autobusów o napędzie konwencjonalnym na autobusy zeroemisyjne można zaliczyć:

- poprawę jakości powietrza,
- poprawę zdrowia mieszkańców,
- redukcję negatywnego wpływu komunikacji autobusowej na zmiany klimatyczne,
- zmniejszenie poziomu hałasu.

Korzyści środowiskowych z wprowadzenia autobusów zeroemisyjnych jest wiele, lecz koszt zakupu pojazdu z konwencjonalnym napędem jest dużo niższy niż koszt autobusu zeroemisyjnego. Do obsługi oraz eksploatacji autobusów zeroemisyjnych potrzebna jest również specjalistyczna infrastruktura ładująca.

Porównując warianty ze sobą można zauważyć, że wprowadzenie w życie wariantu „1” lub wariantu „2” pozytywnie wpłynie na środowisko naturalne co będzie prowadziło do poprawy jakości życia mieszkańców Miasta Siedlce. Autobusy zeroemisyjne obsługujące linie komunikacyjne pozwolą na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych emitowanych przez transport zbiorowy w centrum miast. Brak wdrożenia wariantów 1 i 2 będzie skutkowało corocznym pogarszaniem się stanu powietrza, pojawieniem się znacznie większej ilości zanieczyszczeń wytwarzanych przez kilkunastoletni tabor. Potrzeba cyklicznych napraw oraz wymiany przestarzałego taboru będzie pojawiała się coraz częściej, a każda naprawa autobusu będzie generowała koszty, które z roku na rok będą coraz większe. Koszt wprowadzenia wariantu „1” jest ponad 2 razy większy niż wprowadzenie wariantu „0”, ponieważ różnica w koszcie zakupu autobusu o napędzie elektrycznym wynosi ponad 1 mln złotych w porównaniu do kosztów zakupu autobusu o napędzie konwencjonalnym spełniającego normę spalin EURO VI. Do kosztów zakupu autobusu elektrycznego należy również doliczyć koszt infrastruktury ładującej potrzebnej do obsługi taboru zeroemisyjnego. To samo dotyczy wariantu „2” który spośród wszystkich wariantów jest najdroższy, ponieważ koszt zakupu autobusu napędzanego wodorem jest około 4 razy droższy od zakupu autobusu spalinowego.

Koszt eksploatacji autobusów o napędzie zeroemisyjnym będzie niższy niż koszt eksploatacji autobusów o napędzie konwencjonalnym, z uwagi na rozwiązania technologiczne i konstrukcyjne silnika elektrycznego przekładające się, np. na brak wykorzystania oleju, niższe wykorzystanie smarów, niższą temperaturę pracy silnika. Konstrukcja silników elektrycznych jest trwalsza niż silników spalinowych, co wpływa na całkowity koszt eksploatacji pojazdów. Na poniższej tabeli porównane zostały alternatywne warianty.

**Tabela 10. Porównanie alternatywnych wariantów inwestycyjnych**

Lp.	Wariant	Koszt zakupu 1 pojazdu	Koszty infrastruktury	Koszty eksploatacji	Wpływ na środowisko
1	Wariant „0”	Niski	Brak	Średni	Wysoki
2	Wariant „1”	Średni	Średni	Niski	Brak
3	Wariant „2”	Wysoki	Wysoki	Niski	Brak

*Źródło: Opracowanie własne.*

Porównując warianty inwestycyjne pod względem ekologicznym można zauważyć, że w przypadku nie podjęcia inwestycji stan środowiska będzie się pogarszał ze względu na coraz większą emisję niebezpiecznych substancji wytwarzanych przez transport publiczny. Wraz ze wzrostem eksploatacji pojazdu jego stan się pogarsza, co za tym idzie z każdym kolejnym rokiem rośnie ryzyko awarii i obniża się niezawodność świadczenia usług przewozowych. Każda kolejna awaria prowadzi do kolejnych napraw oraz zwiększania kosztów eksploatacji. Koszt zakupu pojazdów z napędem zeroemisyjnym oraz infrastruktury do ich obsługi jest drogi, lecz należy się zastanowić jakie korzyści można osiągnąć z posiadania takich pojazdów. Napęd elektryczny czy wodorowy to nowa technologia, której koszt przewyższa zakup pojazdów z napędem konwencjonalnym, jednak z każdym rokiem te ceny powinny się zmniejszać. Najkorzystniejszym wariantem wydaje się wariant „1”, który przy średnich kosztach zakupu pojazdów oraz infrastruktury potrzebnej do ich obsługi pozwoli na uzyskanie bardzo dobrych efektów ekologicznych oraz względnie niskich kosztów eksploatacyjnych.

## 4. WYNIKI

### 4.1. Analiza finansowo-ekonomiczna

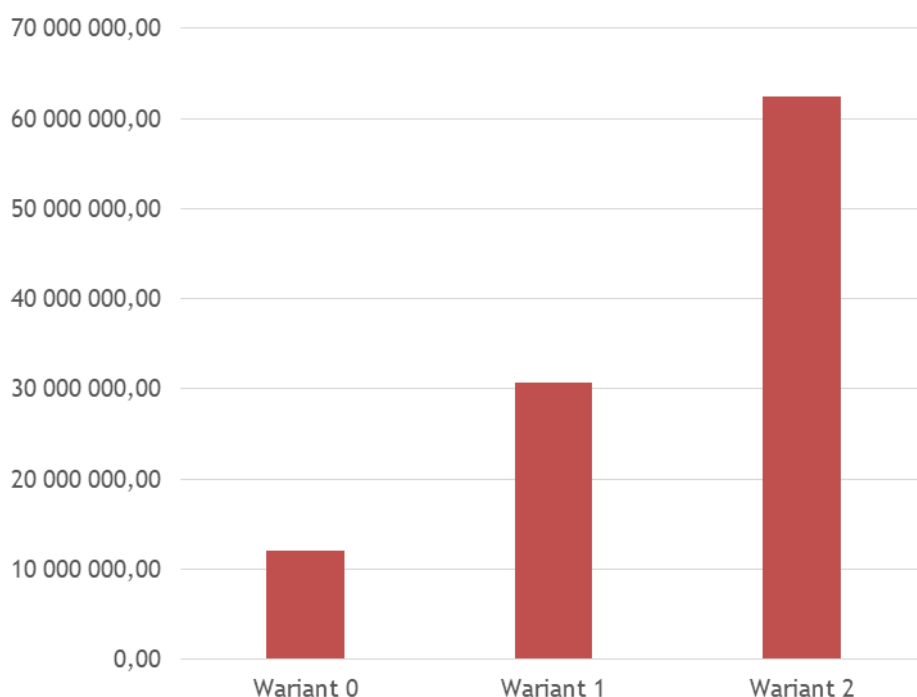
Analizę przedstawiono w modelu różnicowym, tj. zakładającym zmiany poszczególnych parametrów inwestycji (wartości nakładów inwestycyjnych, kosztów bieżącego funkcjonowania taboru) wskazując efekty przyrostowe danych wariantów.

Rozważane są trzy rodzaje inwestycji, w tym:

- wariant 0: wymiana taboru na nowy o napędzie konwencjonalnym (diesla),
- wariant 1: wymiana taboru na nowy o napędzie elektrycznym (15 szt.),
- wariant 2: wymiana taboru na nowy o napędzie wodorowym (15 szt.).

Wszystkie wartości wskazano w złotych (PLN) zaokrąglonych do dwóch miejsc po przecinku.

Na wykresie wskazano wartości dla poszczególnych wariantów.



**Wykres 9. Wartość nakładów inwestycyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 [PLN]**

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK.*

Wydatki eksploatacyjne, które będą podlegały zmianie z uwagi na planowane inwestycje, w tym: koszt paliwa, energii elektrycznej, naprawy, konserwacje - określono w tabelach.

**Tabela 11. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 w latach 2021-2025 [PLN]**

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Wydatki eksploatacyjne</b>					
<b>Wariant 0</b>	<b>213 087,50</b>	<b>213 087,50</b>	<b>360 145,83</b>	<b>365 145,83</b>	<b>740 291,66</b>
<b>Paliwo</b>	<b>207 087,50</b>	<b>207 087,50</b>	<b>345 145,83</b>	<b>345 145,83</b>	<b>690 291,66</b>
Liczba wzkm	149 792,04	149 792,04	249 653,40	249 653,40	499 306,81
Koszt paliwa na wzkm	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>6 000,00</b>	<b>6 000,00</b>	<b>15 000,00</b>	<b>20 000,00</b>	<b>50 000,00</b>
Liczba autobusów	3,00	3,00	5,00	5,00	10,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	2 000,00	2 000,00	3 000,00	4 000,00	5 000,00
<b>Wariant 1</b>	<b>115 344,03</b>	<b>115 344,03</b>	<b>192 240,05</b>	<b>192 240,05</b>	<b>384 480,11</b>
<b>Koszt energii</b>	<b>112 344,03</b>	<b>112 344,03</b>	<b>187 240,05</b>	<b>187 240,05</b>	<b>374 480,11</b>
Liczba wzkm	149 792,04	149 792,04	249 653,40	249 653,40	499 306,81
Koszt energii elektr. na wzkm	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>3 000,00</b>	<b>3 000,00</b>	<b>5 000,00</b>	<b>5 000,00</b>	<b>10 000,00</b>
Liczba autobusów	3,00	3,00	5,00	5,00	10,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
<b>Baterie</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Liczba autobusów	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cena jednostkowa	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00
<b>Wariant 2</b>	<b>146 802,44</b>	<b>146 802,44</b>	<b>244 670,73</b>	<b>244 670,73</b>	<b>489 341,47</b>
<b>Koszt energii</b>	<b>142 302,44</b>	<b>142 302,44</b>	<b>237 170,73</b>	<b>237 170,73</b>	<b>474 341,47</b>
Liczba wzkm	149 792,04	149 792,04	249 653,40	249 653,40	499 306,81
Koszt paliwa na wzkm	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>4 500,00</b>	<b>4 500,00</b>	<b>7 500,00</b>	<b>7 500,00</b>	<b>15 000,00</b>
Liczba autobusów	3,00	3,00	5,00	5,00	10,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 500,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i pozyskanych danych producentów.*

Tabela 12. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 w latach 2026-2030 [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Wydatki eksploatacyjne</b>					
<b>Wariant 0</b>	<b>740 291,66</b>	<b>750 291,66</b>	<b>1 132 937,49</b>	<b>1 140 437,49</b>	<b>1 147 937,49</b>
<b>Paliwo</b>	<b>690 291,66</b>	<b>690 291,66</b>	<b>1 035 437,49</b>	<b>1 035 437,49</b>	<b>1 035 437,49</b>
Liczba wzkm	499 306,81	499 306,81	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Koszt paliwa na wzkm	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>50 000,00</b>	<b>60 000,00</b>	<b>97 500,00</b>	<b>105 000,00</b>	<b>112 500,00</b>
Liczba autobusów	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	5 000,00	6 000,00	6 500,00	7 000,00	7 500,00
<b>Wariant 1</b>	<b>384 480,11</b>	<b>384 480,11</b>	<b>576 720,16</b>	<b>2 076 720,16</b>	<b>576 720,16</b>
<b>Koszt energii</b>	<b>374 480,11</b>	<b>374 480,11</b>	<b>561 720,16</b>	<b>561 720,16</b>	<b>561 720,16</b>
Liczba wzkm	499 306,81	499 306,81	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Koszt energii elektr. na wzkm	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>10 000,00</b>	<b>10 000,00</b>	<b>15 000,00</b>	<b>15 000,00</b>	<b>15 000,00</b>
Liczba autobusów	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
<b>Baterie</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1 500 000,00</b>	<b>0,00</b>
Liczba autobusów	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Cena jednostkowa	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00
<b>Wariant 2</b>	<b>489 341,47</b>	<b>489 341,47</b>	<b>734 012,20</b>	<b>734 012,20</b>	<b>734 012,20</b>
<b>Koszt energii</b>	<b>474 341,47</b>	<b>474 341,47</b>	<b>711 512,20</b>	<b>711 512,20</b>	<b>711 512,20</b>
Liczba wzkm	499 306,81	499 306,81	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Koszt paliwa na wzkm	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>15 000,00</b>	<b>15 000,00</b>	<b>22 500,00</b>	<b>22 500,00</b>	<b>22 500,00</b>
Liczba autobusów	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 500,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00

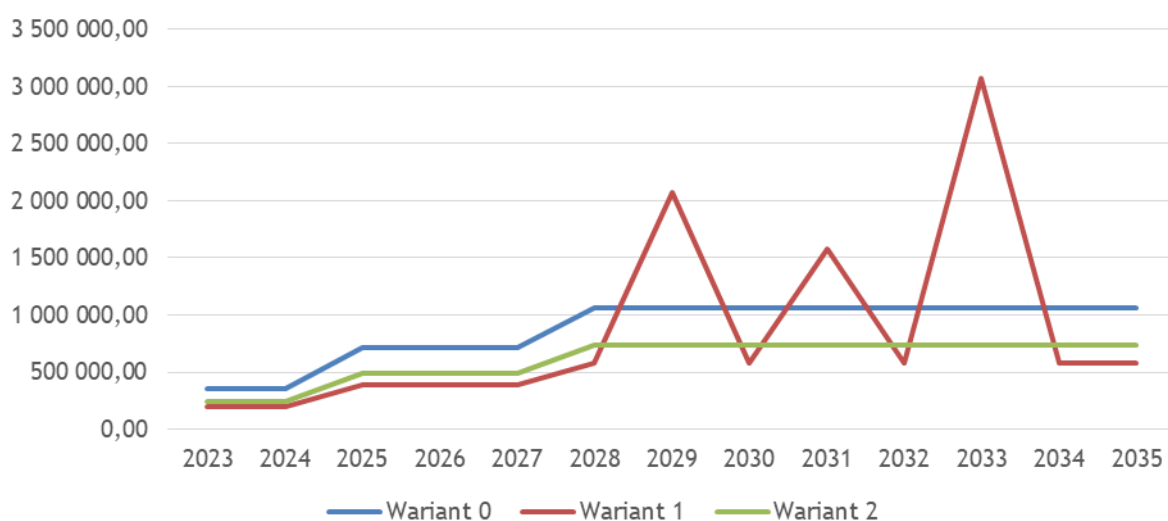
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i pozyskanych danych producentów.



Tabela 13. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 w latach 2031-2035 [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
<b>Wydatki eksploatacyjne</b>					
<b>Wariant 0</b>	<b>1 155 437,49</b>	<b>1 162 937,49</b>	<b>1 170 437,49</b>	<b>1 177 937,49</b>	<b>1 185 437,49</b>
<b>Paliwo</b>	<b>1 035 437,49</b>	<b>1 035 437,49</b>	<b>1 035 437,49</b>	<b>1 035 437,49</b>	<b>1 035 437,49</b>
Liczba wzkm	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Koszt paliwa na wzkm	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>120 000,00</b>	<b>127 500,00</b>	<b>135 000,00</b>	<b>142 500,00</b>	<b>150 000,00</b>
Liczba autobusów	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	8 000,00	8 500,00	9 000,00	9 500,00	10 000,00
<b>Wariant 1</b>	<b>1 576 720,16</b>	<b>576 720,16</b>	<b>3 076 720,16</b>	<b>576 720,16</b>	<b>576 720,16</b>
<b>Koszt energii</b>	<b>561 720,16</b>	<b>561 720,16</b>	<b>561 720,16</b>	<b>561 720,16</b>	<b>561 720,16</b>
Liczba wzkm	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Koszt energii elektr. na wzkm	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>15 000,00</b>	<b>15 000,00</b>	<b>15 000,00</b>	<b>15 000,00</b>	<b>15 000,00</b>
Liczba autobusów	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
<b>Baterie</b>	<b>1 000 000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>2 500 000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Liczba autobusów	2,00	0,00	5,00	0,00	0,00
Cena jednostkowa	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00	500 000,00
<b>Wariant 2</b>	<b>734 012,20</b>	<b>734 012,20</b>	<b>734 012,20</b>	<b>734 012,20</b>	<b>734 012,20</b>
<b>Koszt energii</b>	<b>711 512,20</b>	<b>711 512,20</b>	<b>711 512,20</b>	<b>711 512,20</b>	<b>711 512,20</b>
Liczba wzkm	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Koszt paliwa na wzkm	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
<b>Naprawy i konserwacje</b>	<b>22 500,00</b>	<b>22 500,00</b>	<b>22 500,00</b>	<b>22 500,00</b>	<b>22 500,00</b>
Liczba autobusów	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 500,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00	1 500,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i pozyskanych danych producentów.



Wykres 10. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 [PLN]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK.

Skoki wartości wydatków eksploatacyjnych w latach 2029, 2031 i 2033 dla wariantu 1 wynikają z konieczności wymiany baterii na nowe.

Do obliczenia korzyści płynących z wymiany taboru wykorzystano różnice między planowanymi wartościami nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych dla wariantu 1 i 2 względem wariantu 0.

Model różnicowy między wariantami w zakresie wydatków inwestycyjnych, eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych wskazano w tabelach.

**Tabela 14. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych dla wariantu 1 i 2 (model różnicowy) w latach 2021-2025 [PLN]**

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Analiza finansowa - model różnicowy</b>					
<b>Wydatki inwestycyjne</b>					
Wariant 1	3 800 000,00	0,00	2 300 000,00	0,00	6 300 000,00
Wariant 2	12 100 000,00	0,00	6 400 000,00	0,00	16 000 000,00
<b>Wydatki eksploatacyjne</b>					
Wariant 1	-97 743,47	-97 743,47	-162 905,78	-162 905,78	-325 811,56
Wariant 2	-66 285,06	-66 285,06	-110 475,10	-110 475,10	-220 950,19
<b>Przepływy pieniężne</b>					
Wariant 1	-3 702 256,53	97 743,47	-2 137 094,22	162 905,78	-5 974 188,44
Wariant 2	-12 033 714,94	66 285,06	-6 289 524,90	110 475,10	-15 779 049,81

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 15. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych dla wariantu 1 i 2 (model różnicowy) w latach 2026-2030 [PLN]**

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Analiza finansowa - model różnicowy</b>					
<b>Wydatki inwestycyjne</b>					
Wariant 1	0,00	0,00	6 300 000,00	0,00	0,00
Wariant 2	0,00	0,00	16 000 000,00	0,00	0,00
<b>Wydatki eksploatacyjne</b>					
Wariant 1	-325 811,56	-325 811,56	-488 717,33	1 011 282,67	-488 717,33
Wariant 2	-220 950,19	-220 950,19	-331 425,29	-331 425,29	-331 425,29
<b>Przepływy pieniężne</b>					
Wariant 1	325 811,56	325 811,56	-5 811 282,67	-1 011 282,67	488 717,33
Wariant 2	220 950,19	220 950,19	-15 668 574,71	331 425,29	331 425,29

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 16. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych dla wariantu 1 i 2 (model różnicowy) w latach 2031-2035 [PLN]**

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
<b>Analiza finansowa - model różnicowy</b>					
<b>Wydatki inwestycyjne</b>					
Wariant 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wariant 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Wydatki eksploatacyjne</b>					
Wariant 1	511 282,67	-488 717,33	2 011 282,67	-488 717,33	-488 717,33
Wariant 2	-331 425,29	-331 425,29	-331 425,29	-331 425,29	-331 425,29
<b>Przepływy pieniężne</b>					
Wariant 1	-511 282,67	488 717,33	-2 011 282,67	488 717,33	488 717,33
Wariant 2	331 425,29	331 425,29	331 425,29	331 425,29	331 425,29

Źródło: opracowanie własne.

Prognozowane różnice wskazały na korzyści (oszczędności kosztów), które zostały zestawione z wyższymi nakładami inwestycyjnymi. Wartości mierników efektywności finansowej wskazano w tabeli.

**Tabela 17. Ocena efektywności inwestycji [PLN]**

Wyszczególnienie	
<b>NPV</b>	
Wariant 1	-13 815 807,14
Wariant 2	-36 638 860,45
<b>IRR</b>	
Wariant 1	Nieemożliwe do obliczenia
Wariant 2	Nieemożliwe do obliczenia

Źródło: opracowanie własne.

Dla wariantu 1 wartość NPV wyniosła -13 815 807,14 PLN, a wariantu 2 -36 638 860,45 PLN. Stopy IRR okazały się niemożliwe do obliczenia.

Z punktu widzenia oceny finansowej projektu, inwestycja w każdym z wariantów jest nieopłacalna (NPV<0).

## 4.2. Oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi

### 4.2.1. Koszty społeczne emisji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>)

Ocena zanieczyszczenia powietrza umożliwia określenie wartości ekonomicznej oddziaływań wynikających z wymiany taboru na pojazdy o napędzie zeroemisyjnym. Kolejne zagrożenie - zanieczyszczenia pyłowe powietrza wynikające przede wszystkim z tzw. niskiej emisji. Nie zanotowano obecnie przekroczeń dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń. Jednak ogólny poziom zanieczyszczeń pyłowych (przekroczenia w zakresie zanieczyszczeń pyłem PM 2,5) powoduje, że Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska zakwalifikował jakość powietrza jako niską, wymagającą intensywnego monitorowania oraz podjęcia działań na rzecz ograniczenia emisji. Ogłoszenie przekroczenia dopuszczalnego poziomu zanieczyszczeń oznacza, że jakość powietrza nie jest dobra, ale nie wywołuje ciężkich skutków dla ludzkiego zdrowia.

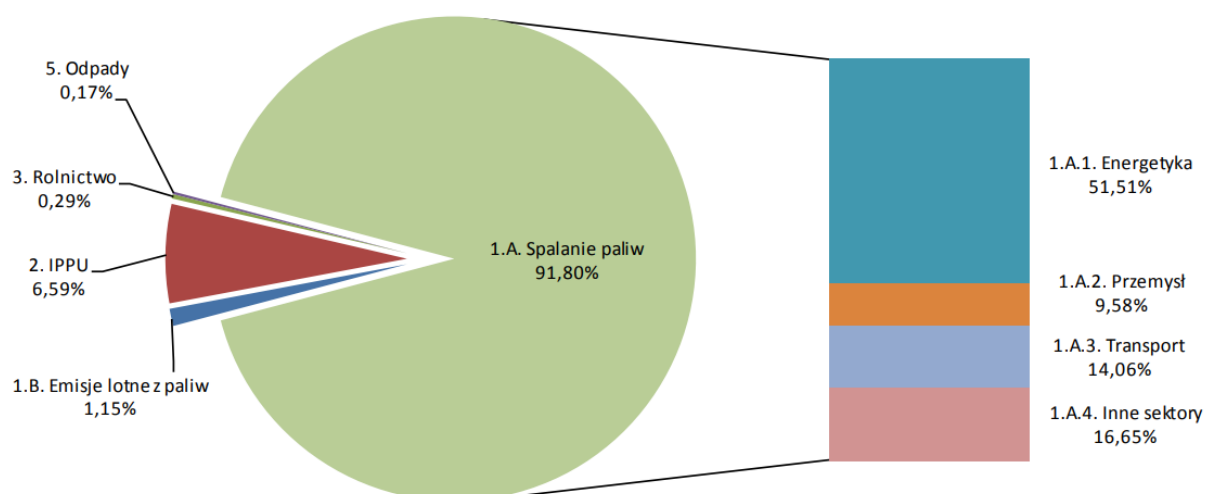
Oddziaływania zanieczyszczenia powietrza dla wariantu bezinwestycyjnego i dla wszystkich inwestycyjnych to spójne oddziaływania generowane przez środki transportu publicznego na obszarze określonym w dokumencie. Na takie koszty składają się przede wszystkim:

- ujemny wpływ na zdrowie ludzkie (objawy chorób sercowo-naczyniowych lub związanych z układem oddechowym),
- starty moralne (dewastacja budynków lub obiektów), szkody środowiskowe (wzrost smogu w powietrzu (wariant bezinwestycyjny), wpływ na bioróżnorodność czy ekosystemy).

Pył zawieszony, zarówno PM<sub>10</sub> jak i PM<sub>2,5</sub>, jest mieszaniną bardzo drobnych cząstek stałych i ciekłych, które mogą pochodzić z emisji bezpośredniej (pył pierwotny) lub też powstający w wyniku reakcji między substancjami znajdującymi się w atmosferze (pył wtórny). Pył wtórny to w głównej mierze zanieczyszczenia pyłowe powstające w wyniku reakcji i procesów zachodzących podczas transportu na duże odległości gazów (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, i lotnych związków organicznych) oraz reemisja tj. unoszenie pyłu z podłoża (szczególnie na terenie miast). Analizując udział frakcji pyłu zawieszony PM<sub>2,5</sub> w pyłe zawieszonym PM<sub>10</sub> warto zwrócić uwagę, że jest on największy przy transporcie drogowym, gdzie stanowi ok. 90%. Należy przy tym podkreślić, że znaczna część emisji pyłu z transportu drogowego pochodzi z procesów innych niż spalanie paliw, do których zaliczyć można np. ścieranie opon i hamulców oraz ścieranie nawierzchni dróg. W zależności od rodzaju środka transportu drogowego koszty ekonomiczne zależą od prędkości i kategorii pojazdów (autobusy o napędzie konwencjonalnym, alternatywnym lub zeroemisyjnym), jak również od ukształtowania terenu, lokalizacji (teren miejski, czy zamiejski), stanu technicznego drogi.

## Struktura emisji CO<sub>2</sub>

Emisje z sektora transportu obejmują dwie podstawowe kategorie zanieczyszczeń: lokalne zanieczyszczenia powietrza oraz emisje gazów cieplarnianych (tzw. GHG). Zwłaszcza emisje GHG generują poważne i długoterminowe zmiany wiążące się z wymiernymi kosztami dla społeczeństwa. Z tego względu, główny cel polityki transportowej UE, zawarty w Białej Księdze z 2011 r., zakłada redukcję emisji GHG z sektora transportu w wysokości 60% do roku 2050. Sektorową strukturę emisji CO<sub>2</sub>, wg aktualnie dostępnych danych (raport KOBIZE opublikowany w 2016 roku dla lat 1988-2014) przedstawia poniższy wykres.



**Rysunek 6. Emisja dwutlenku węgla w 2014 r w Polsce**

Źródło: Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2016- Inwentaryzacja gazów cieplarnianych dla lat 1988-2014, KOBIZE2016

Dominującym źródłem emisji tego gazu są procesy spalania paliw (91,8%), za ponad połowę emisji z tych procesów odpowiedzialny jest sektor energetyczny (51,5% ogólnej emisji CO<sub>2</sub> z procesu spalania paliw).

**Tabela 18. Emisje CO<sub>2</sub> pochodzące ze spalania paliw - struktura sektorowa, lata 1990-2009**

Sektory	1990	1995	2000	2005	2009
	%				
Przemysł energetyczny	61,9	52,1	56,4	56,2	53,7
Przemysł wytwórczy i budownictwo	11,7	17,2	13,2	10,0	9,7
Transport	6,7	7,8	9,9	11,3	14,1
Inn sektory	14,2	17,7	15,5	15,7	16,0

Źródło: Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2011- Inwentaryzacja gazów cieplarnianych dla lat 1988-2009, KOBIZE 2011

W analizowanym okresie od roku 1990 wystąpił znaczący wzrost udziału emisji CO<sub>2</sub> z sektora transportu. Zmniejszył się natomiast udział emisji z sektora energetycznego.

Sektor transportu jest kluczowy dla rozwoju polskiej gospodarki i naszych miast. Z drugiej strony jest sektorem o dużym wpływie na środowisko naturalne, a przez to i warunki zdrowotne w miastach. Dodatkowo, na poziomie Unii Europejskiej transport miejski jest odpowiedzialny za ok. 40% emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego. Dlatego też Unia Europejska podejmuje skoordynowane działania na rzecz ograniczenia tego szkodliwego wpływu poprzez integrację polityki transportowej z polityką ekologiczną. Efektem tych działań jest m. in.: zaostrzenie norm dotyczących emisji spalin, promocja alternatywnych źródeł energii (np. biopaliw) oraz promocja efektywnych energetycznie środków transportu.

### ***Rodzaje efektów zewnętrznych transportu***

Kosztami zewnętrznymi transportu są wszelkie koszty zużycia środków służących do wytworzenia usługi transportowej, które nie są ponoszone przez kupującego i wytwórcę usługi, ale przez podmiot trzeci, czyli ogół społeczeństwa. Tzn., jeśli występują negatywne skutki zewnętrzne danej działalności i nie są one rekompensowane w cenie usługi, to związane z nimi koszty są ponoszone przede wszystkim przez środowisko, a nie przez wytwórcę czy użytkownika.

Do kosztów zewnętrznych wliczane są koszty związane z negatywnymi dla środowiska naturalnego i życia człowieka skutkami działalności transportu:

- zanieczyszczenie powietrza, wody i gleby;
- emisja hałasu;
- wypadki transportowe (część nie pokryta przez system ubezpieczeń i odszkodowań);
- zajętość terenu.

W wyniku spalania paliw w silnikach różnych środków transportu emitowane są do środowiska różne zanieczyszczenia źle wpływające na środowisko naturalne. W głównej mierze związki te wpływają negatywnie na zdrowie i jakość życia człowieka. Stan zdrowia mieszkańców uzależniony jest od warunków społeczno-ekonomicznych, stylu życia mieszkańców, jakości środowiska w miejscu zamieszkania i pracy, poziomu zabezpieczenia potrzeb zdrowotnych i socjalnych. Takie reakcje chemiczne powodują emitowanie do środowiska m.in.: tlenków węgla, węglowodorów, tlenków azotu, ołowiu, sadzy, dwutlenku siarki. Z motoryzacji do substancji, które zanieczyszczają środowisko należą: azbest, kadm, chrom, fenol, węglowodory, wanad, olefiny, dioksyny i ozon.

Biorąc pod uwagę ogólny bilans substancji emitowanych do środowiska, zanieczyszczenia z emisji spalin nie są wielkim procentem. Natomiast głównym powodem zanieczyszczeń jest ruch samochodowy na obszarach o wysokiej gęstości zaludnienia, najbardziej narażone są centralne punkty miast.

Transport sam w sobie doprowadza do przyczyn degradacji środowiska naturalnego i źle wpływa na zdrowie człowieka. W skali Unii Europejskiej jest źródłem niemal 54% całkowitej emisji tlenków azotu, 45% tlenku węgla, 23% niemetanowych lotnych związków organicznych (NMLZO) oraz 23% pyłów PM10 i 28% pyłów PM2,5 (cząstek stałych o średnicy odpowiednio 10 i 2,5 µm). Odpowiada również za ponad 41% emisji prekursorów ozonu troposferycznego oraz 23% emisji CO<sub>2</sub> i niemal 20% innych gazów cieplarnianych.

Wprowadzanie pojazdów o napędzie zeroemisyjnym traktowane jest jako podstawa zrównoważonej mobilności, ochrony środowiska i równocześnie dywersyfikacji energetycznej. Wzrost udziału pojazdów elektrycznych w realizacji zadań przewozowych w miastach ma szczególne znaczenie w związku z niewydziałaniem szkodliwych substancji do środowiska w miejscu realizacji usług, w tym emisji CO<sub>2</sub> i hałasu.

#### **4.2.2. Koszty zmiany klimatu**

Negatywne skutki środowiskowe wykorzystywania produktów ropopochodnych w transporcie związane są przede wszystkim z emisją gazów cieplarnianych. W Unii Europejskiej podjęte zostały działania zmierzające do ograniczenia ich emisji. Rada Europejska potwierdziła, że do 2050 roku planuje się ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 80-95% w stosunku do roku 1990. Dzięki innowacyjnym rozwiązaniom mającym znaczenie dla osiągnięcia wizji europejskiego systemu transportowego określonego w Białej Księdze istnieją sposoby na poradzenie sobie z najważniejszymi wyzwaniami takimi jak zmiana klimatu, niedobór energii oraz zdrowie i starzenie się społeczeństwa.

Zamiana napędu spalinowego na elektryczny pozwala na podniesienie jakości wdychanego powietrza. Znaczące korzyści są zauważalne w przypadku zredukowania poziomu emisji, a także przeniesienia ich poza obszary o największym zaludnieniu. W obszarach zurbanizowanych, o wysokiej intensywności zaludnienia oraz w centrach miast wydzielanie spalin i CO<sub>2</sub> do atmosfery zostaje zredukowane poprzez wprowadzanie autobusów elektrycznych. Używanie tych też napędów pozwala na odzyskanie energii podczas hamowania czy zwalniania, a to natomiast pozytywniej wpływa na obniżenie poziomu zanieczyszczeń wytwarzających się podczas procesu ścierania klocków hamulcowych. W przypadku wykorzystywania energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł o niskiej emisji lub z odnawialnych źródeł energii, emisja dwutlenku węgla przez pojazdy elektryczne może być równa zeru. Takie samochody to nie tylko zmniejszenie emisji szkodliwych zanieczyszczeń i dwutlenku węgla, ale również znaczące obniżenie kosztów eksploatacji.

### 4.2.3. Koszty społeczne emisji hałasu

Hałas wywiera negatywny wpływ na zdrowie fizyczne (np. uszkodzenia słuchu) i psychiczne (nadpobudliwość, nerwowość) człowieka. Ostatnie badania wskazują hałas jako jedną z przyczyn powodujących zawały serca.

Koszty zewnętrzne hałasu wynikają przede wszystkim ze strat społecznych, tzn.:

- strat produktywności człowieka powodowanych niezdolnością do koncentracji;
- zmęczenia, braku snu, wypoczynku - niższa wydajność, pogorszenie jakości pracy;
- koszty opieki zdrowotnej.

Koszty te trudno jednak oszacować, gdyż hałas transportowy jako przyczyna strat jest trudny do wyizolowania od innych źródeł hałasu, jak też od innych negatywnych czynników wpływających na zdrowie człowieka.

Wpływ hałasu komunikacyjnego obejmuje coraz większą liczbę mieszkańców. Jest to zjawisko niepożądane, powoduje rozdrażnienie, uczucie znużenia i zmęczenia całego organizmu, a szczególnie narządu słuchu. Hałas ma negatywne działanie na zdrowie i kondycję człowieka. Jego wpływ na organizm można rozpatrywać na trzech poziomach:

- działanie bezpośrednie na ucho środkowe i wewnętrzne,
- działanie pośrednie na układ nerwowy,
- działanie na inne narządy.

Wskutek hałasu drogowego człowiek nie ma możliwości odpoczynku od tego bodźca, a co za tym idzie brak możliwości zregenerowania organu słuchu. Prowadzi to do systematycznego osłabienia słuchu oraz przesunięcia progu słyszenia. Dane epidemiologiczne wskazują, że hałas jest czynnikiem rozwoju ryzyka chorób krążeniowo-naczyniowych. Wyniki badań pokazują symptomy rozdrażnienia, niepokoju z powodu niedokrwienia serca. Najwięcej osób dorosłych chorowało na choroby układu krążenia, choroby obwodowego układu nerwowego. W zachorowalności dominują choroby: układu krążenia, układu mięśniowo-kostnego i tkanki łącznej.

Napęd elektryczny pomaga w głównej mierze zredukować poziom hałasu w centrach miast, co łącznie z brakiem emisji znacząco podniesie komfort życia mieszkańców. Przewagą tych pojazdów jest fakt, iż są całkowicie bezemisyjne, czyli ekologiczne. Są niezwykle ciche, co ma duże znaczenie zarówno dla samych pasażerów takiego autobusu, ale także dla zewnętrznego otoczenia. Wskaźnik poziom hałasu w centrach miast przy autobusach elektrycznych spadłby diametralnie.



#### 4.2.4. Efektywność ekonomiczno-społeczna inwestycji

Zmiany związane z wymianą taboru na elektryczny na ogół oznaczają zmniejszenie kosztów eksploatacji tych pojazdów. Ma to związek ze zmniejszającymi się m.in.:

- cenami paliwa,
- kosztami napraw pojazdów elektrycznych.

Ocena zmian kosztów eksploatacji pojazdów i ich utrzymania polega w głównej mierze na oznaczeniu, które elementy całkowitych kosztów systemu transportu publicznego ulegną zmianie w procesie realizacji dokumentu. Jednostkowe ekonomiczne koszty eksploatacji pojazdów dla poszczególnej kategorii pojazdów wylicza się w zależności do prędkości, stanu nawierzchni, stopnia nachylenia dróg, możliwości wystąpienia kongestii oraz gęstości przystanków autobusowych. Według badań Standardised On-Road Test (SORT), pomiary zużycia paliwa pokazują: przejechanie trasy z wykorzystaniem 100 kWh energii, czy to w postaci paliwa płynnego, czy energii elektrycznej, pozwala pojazdom o napędzie konwencjonalnym na pokonanie ok. 22 km. Autobusem o napędzie zeroemisyjnym przy bardzo niekorzystnych warunkach przejedziemy ok. 40 km. W przypadku korzystnych warunków dystans ten wydłuży się nawet podwójnie.

### 4.3. Analiza społeczno-ekonomiczna uwzględniająca wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji

Oszacowane efekty środowiskowe w jednostkach naturalnych wskazano w tabelach.

Tabela 19. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych dla wariantu 1 i 2 w latach 2021-2025

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Efekty środowiskowe</b>					
<b>Wariant 1</b>					
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]</b>	<b>134,48</b>	<b>134,48</b>	<b>224,14</b>	<b>224,14</b>	<b>448,28</b>
Liczba wzm	149 792,04	149 792,04	249 653,40	249 653,40	499 306,81
Zużycie paliwa [l]	50 180,33	50 180,33	83 633,89	83 633,89	167 267,78
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	134 483,30	134 483,30	224 138,83	224 138,83	448 277,65
Emisja CO2 [t]	134,48	134,48	224,14	224,14	448,28
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>1,10</b>
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzm	149 792,04	149 792,04	249 653,40	249 653,40	499 306,81
<b>Wariant 2</b>					
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]</b>	<b>134,48</b>	<b>134,48</b>	<b>224,14</b>	<b>224,14</b>	<b>448,28</b>
Liczba wzm	149 792,04	149 792,04	249 653,40	249 653,40	499 306,81
Zużycie paliwa [l]	50 180,33	50 180,33	83 633,89	83 633,89	167 267,78
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	134 483,30	134 483,30	224 138,83	224 138,83	448 277,65
Emisja CO2 [t]	134,48	134,48	224,14	224,14	448,28
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>1,10</b>
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzm	149 792,04	149 792,04	249 653,40	249 653,40	499 306,81

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i CUPT.

Tabela 20. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych dla wariantu 1 i 2 w latach 2026-2030

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Efekty środowiskowe</b>					
<b>Wariant 1</b>					
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]</b>	<b>448,28</b>	<b>448,28</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>
Liczba wzm	499 306,81	499 306,81	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Zużycie paliwa [l]	167 267,78	167 267,78	250 901,67	250 901,67	250 901,67
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	448 277,65	448 277,65	672 416,48	672 416,48	672 416,48
Emisja CO2 [t]	448,28	448,28	672,42	672,42	672,42
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]</b>	<b>1,10</b>	<b>1,10</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzm	499 306,81	499 306,81	748 960,21	748 960,21	748 960,21

<b>Wariant 2</b>					
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]</b>	<b>448,28</b>	<b>448,28</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>
Liczba wzk	499 306,81	499 306,81	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Zużycie paliwa [l]	167 267,78	167 267,78	250 901,67	250 901,67	250 901,67
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	448 277,65	448 277,65	672 416,48	672 416,48	672 416,48
Emisja CO2 [t]	448,28	448,28	672,42	672,42	672,42
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]</b>	<b>1,10</b>	<b>1,10</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzk	499 306,81	499 306,81	748 960,21	748 960,21	748 960,21

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i CUPT.

**Tabela 21. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych dla wariantu 1 i 2 w latach 2031-2035**

<b>Wyszczególnienie</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>2035</b>
<b>Efekty środowiskowe</b>					
<b>Wariant 1</b>					
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>
Liczba wzk	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Zużycie paliwa [l]	250 901,67	250 901,67	250 901,67	250 901,67	250 901,67
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	672 416,48	672 416,48	672 416,48	672 416,48	672 416,48
Emisja CO2 [t]	672,42	672,42	672,42	672,42	672,42
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzk	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21
<b>Wariant 2</b>					
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>	<b>672,42</b>
Liczba wzk	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21
Zużycie paliwa [l]	250 901,67	250 901,67	250 901,67	250 901,67	250 901,67
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	672 416,48	672 416,48	672 416,48	672 416,48	672 416,48
Emisja CO2 [t]	672,42	672,42	672,42	672,42	672,42
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>	<b>1,65</b>
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzk	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21	748 960,21

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i CUPT.

**Tabela 22. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu 1 i 2 w latach 2021-2025 [PLN]**

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Monetyzacja efektów środowiskowych</b>					
<b>Wariant 1</b>	<b>24 143,02</b>	<b>49 454,72</b>	<b>84 813,94</b>	<b>87 213,28</b>	<b>179 243,44</b>
<b>Ograniczenie emisji CO2</b>	<b>24 143,02</b>	<b>24 813,66</b>	<b>42 473,83</b>	<b>43 591,56</b>	<b>89 418,59</b>
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	179,52	184,51	189,50	194,48	199,47
Ograniczenie emisji CO2 [t]	134,48	134,48	224,14	224,14	448,28
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy</b>	<b>0,00</b>	<b>24 641,06</b>	<b>42 340,11</b>	<b>43 621,72</b>	<b>89 824,85</b>
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	0,00	74 773,54	77 088,90	79 422,32	81 772,32
Ograniczenie emisji NOx [t]	0,33	0,33	0,55	0,55	1,10
<b>Wariant 2</b>	<b>24 143,02</b>	<b>49 454,72</b>	<b>84 813,94</b>	<b>87 213,28</b>	<b>179 243,44</b>
<b>Ograniczenie emisji CO2</b>	<b>24 143,02</b>	<b>24 813,66</b>	<b>42 473,83</b>	<b>43 591,56</b>	<b>89 418,59</b>
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	179,52	184,51	189,50	194,48	199,47
Ograniczenie emisji CO2 [t]	134,48	134,48	224,14	224,14	448,28
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy</b>	<b>0,00</b>	<b>24 641,06</b>	<b>42 340,11</b>	<b>43 621,72</b>	<b>89 824,85</b>
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	0,00	74 773,54	77 088,90	79 422,32	81 772,32
Ograniczenie emisji NOx [t]	0,33	0,33	0,55	0,55	1,10

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i CUPT.

**Tabela 23. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu 1 i 2 w latach 2026-2030 [PLN]**

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Monetyzacja efektów środowiskowych</b>					
<b>Wariant 1</b>	<b>183 860,59</b>	<b>188 480,25</b>	<b>289 763,36</b>	<b>296 807,28</b>	<b>303 847,45</b>
<b>Ograniczenie emisji CO2</b>	<b>91 654,06</b>	<b>93 889,52</b>	<b>144 187,48</b>	<b>147 540,67</b>	<b>150 893,87</b>
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	204,46	209,45	214,43	219,42	224,41
Ograniczenie emisji CO2 [t]	448,28	448,28	672,42	672,42	672,42
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy</b>	<b>92 206,54</b>	<b>94 590,73</b>	<b>145 575,88</b>	<b>149 266,61</b>	<b>152 953,58</b>
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	83 940,50	86 110,95	88 350,29	90 590,20	92 827,83
Ograniczenie emisji NOx [t]	1,10	1,10	1,65	1,65	1,65
<b>Wariant 2</b>	<b>183 860,59</b>	<b>188 480,25</b>	<b>289 763,36</b>	<b>296 807,28</b>	<b>303 847,45</b>
<b>Ograniczenie emisji CO2</b>	<b>91 654,06</b>	<b>93 889,52</b>	<b>144 187,48</b>	<b>147 540,67</b>	<b>150 893,87</b>
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	204,46	209,45	214,43	219,42	224,41
Ograniczenie emisji CO2 [t]	448,28	448,28	672,42	672,42	672,42
<b>Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy</b>	<b>92 206,54</b>	<b>94 590,73</b>	<b>145 575,88</b>	<b>149 266,61</b>	<b>152 953,58</b>
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	83 940,50	86 110,95	88 350,29	90 590,20	92 827,83
Ograniczenie emisji NOx [t]	1,10	1,10	1,65	1,65	1,65

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i CUPT.

**Tabela 24. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu 1 i 2 w latach 2031-2035 [PLN]**

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
<b>Monetyzacja efektów środowiskowych</b>					
<b>Wariant 1</b>	<b>311 001,49</b>	<b>318 147,01</b>	<b>318 147,01</b>	<b>318 147,01</b>	<b>318 147,01</b>
Ograniczenie emisji CO2	154 247,07	157 600,27	157 600,27	157 600,27	157 600,27
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	229,39	234,38	234,38	234,38	234,38
Ograniczenie emisji CO2 [t]	672,42	672,42	672,42	672,42	672,42
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	156 754,42	160 546,75	160 546,75	160 546,75	160 546,75
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	95 134,57	97 436,14	97 436,14	97 436,14	97 436,14
Ograniczenie emisji NOx [t]	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
<b>Wariant 2</b>	<b>311 001,49</b>	<b>318 147,01</b>	<b>318 147,01</b>	<b>318 147,01</b>	<b>318 147,01</b>
Ograniczenie emisji CO2	154 247,07	157 600,27	157 600,27	157 600,27	157 600,27
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	229,39	234,38	234,38	234,38	234,38
Ograniczenie emisji CO2 [t]	672,42	672,42	672,42	672,42	672,42
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	156 754,42	160 546,75	160 546,75	160 546,75	160 546,75
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	95 134,57	97 436,14	97 436,14	97 436,14	97 436,14
Ograniczenie emisji NOx [t]	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych MPK i CUPT.

Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych - zawierających również wycenione efekty środowiskowe - wskazano w tabelach.

**Tabela 25. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN]**

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Przepływy pieniężne skumulowane</b>					
<b>Wariant 1</b>	<b>-3 678 113,51</b>	<b>147 198,18</b>	<b>-2 047 280,28</b>	<b>260 119,06</b>	<b>-5 764 945,00</b>
<b>Wariant 2</b>	<b>-12 009 571,92</b>	<b>115 739,78</b>	<b>-6 199 710,96</b>	<b>207 688,38</b>	<b>-15 569 806,36</b>

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 26. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN]**

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Przepływy pieniężne skumulowane</b>					
<b>Wariant 1</b>	<b>539 672,15</b>	<b>554 291,80</b>	<b>-5 454 019,31</b>	<b>-639 475,38</b>	<b>875 064,79</b>
<b>Wariant 2</b>	<b>434 810,79</b>	<b>449 430,44</b>	<b>-15 311 311,35</b>	<b>703 232,57</b>	<b>717 772,74</b>

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 27. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN]**

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
<b>Przepływy pieniężne skumulowane</b>					
<b>Wariant 1</b>	<b>-110 281,17</b>	<b>904 364,35</b>	<b>-1 588 135,65</b>	<b>919 364,35</b>	<b>926 864,35</b>
<b>Wariant 2</b>	<b>732 426,78</b>	<b>747 072,30</b>	<b>754 572,30</b>	<b>762 072,30</b>	<b>769 572,30</b>

Źródło: opracowanie własne.

Wartość wskaźników efektywności finansowej wskazano w tabeli.

Tabela 28. Ocena efektywności inwestycji wariantu 1 i 2 [PLN]

Wyszczególnienie	
<b>NPV</b>	
Wariant 1	-11 230 760,51
Wariant 2	-34 053 813,82
<b>IRR</b>	
Wariant 1	Nieвозмоliwe do obliczenia
Wariant 2	Nieвозмоliwe do obliczenia

Źródło: opracowanie własne.

Dla wariantu 1 określono wartość NPV na poziomie -11 751 771,13 PLN. Dla wariantu 2 określono wartość NPV na poziomie -34 574 824,44 PLN. Oznacza to, że inwestycji nie należy realizować z uwagi na nieopłacalność.

Dodatkowo podjęto się analizy efektywności inwestycji przy założeniu pozyskania dofinansowania ze środków UE (85% kosztów kwalifikowanych). Wyniki analizy przedstawiono w tabeli poniżej. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych - zawierających również wycenione efekty środowiskowe i dofinansowanie UE - wskazano w tabelach.

Tabela 29. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	-448 113,51	147 198,18	-92 280,28	260 119,06	-409 945,00
Wariant 2	-1 724 571,92	115 739,78	-759 710,96	207 688,38	-1 969 806,36

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 30. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	539 672,15	554 291,80	-99 019,31	-639 475,38	875 064,79
Wariant 2	434 810,79	449 430,44	-1 711 311,35	703 232,57	717 772,74

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 31. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	-110 281,17	904 364,35	-1 588 135,65	919 364,35	926 864,35
Wariant 2	732 426,78	747 072,30	754 572,30	762 072,30	769 572,30

Źródło: opracowanie własne.

Wartość wskaźników efektywności finansowej wskazano w tabeli.

Tabela 32. Ocena efektywności inwestycji wariantu 1 i 2 z wykorzystaniem dotacji UE [PLN]

Wyszczególnienie	
NPV (wariant z dotacją)	
Wariant 1	934 571,24
Wariant 2	-916 647,86
IRR (wariant z dotacją)	
Wariant 1	21,76%
Wariant 2	0,57%

Źródło: opracowanie własne.

Dla wariantu 1 na poziomie dofinansowania w wysokości 85% określono wartość NPV na poziomie 934 571,24 PLN i stopie zwrotu IRR równej 21,76%. Oznacza to, że inwestycję można przyjąć do realizacji.

Dla wariantu 2 określono wartość NPV na poziomie -916 647,86 PLN i stopie zwrotu IRR równej 0,57%. Oznacza to, że inwestycję należy potraktować jako nieopłacalną.

Dodatkowo obliczono wartość wskaźników efektywności finansowej dla różnych poziomów dofinansowania. Wyniki przedstawiono w tabeli.

Tabela 33. Ocena efektywności inwestycji wariantu 1 i 2 z wykorzystaniem dotacji UE [PLN]

Wyszczególnienie	Poziom dofinansowania				
	85%	80%	75%	70%	65%
NPV (wariant z dotacją)					
Wariant 1	934 571,24	218 963,49	-496 644,26	-496 644,26	-1 927 859,76
Wariant 2	-916 647,86	-2 865 892,91	-4 815 137,97	-4 815 137,97	-8 713 628,08
IRR (wariant z dotacją)					
Wariant 1	21,76%	6,82%	-0,84%	-0,84%	-8,92%
Wariant 2	0,57%	-4,71%	-8,46%	-8,46%	-13,66%

Źródło: opracowanie własne.

Minimalny poziom dofinansowania dla przedmiotowej inwestycji, który powoduje jej opłacalność, wynosi 80%

## 5. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI

### 5.1. Kluczowe zmienne krytyczne

W celu wytypowania kluczowych zmiennych krytycznych wykorzystano projektowane zmiany najważniejszych czynników wpływających na decyzję o zakupie taboru zeroemisyjnego. Analizie podlegał wariant 1 z uwzględnieniem dotacji w wysokości 85%, ponieważ okazał się najkorzystniejszy - posiadał najwyższą rentowność (NPV>0, tj. 934 571,24 PLN, IRR = 21,76%).

W ramach zmiennych poddanych analizie wrażliwości wytypowano zmianę następujących czynników:

- wartość inwestycji,
- koszty energii elektrycznej,
- koszty napraw i konserwacji taboru,
- koszty wymiany baterii,
- zmiana liczby wozokilometrów.

Wyniki analizy wrażliwości wskazano w tabeli.

Tabela 34. Analiza wrażliwości - zmienne krytyczne

Analiza wrażliwości	NPV	IRR	Zmiana NPV (%)	Zmiana IRR (p.p.)
Wartości bazowe - wariant optymalny	934 571,24	21,76%		
Zmiana wartości inwestycji o +1%	901 643,87	20,78%	-3,52%	-0,98%
Zmiana kosztów energii elektrycznej o +1%	894 809,08	21,10%	-4,25%	-0,66%
Zmiana kosztów napraw i konserwacji o +1%	933 509,44	21,74%	-0,11%	-0,02%
Zmiana kosztów wymiany baterii o +1%	904 940,17	21,46%	-3,17%	-0,31%
Zmiana liczby wzm o -1%	880 398,13	20,88%	-5,80%	-0,88%

Źródło: opracowanie własne.

Do zmiennych sklasyfikowanych jako krytyczne (zmiana wartości czynnika o 1% wywołała zmianę wartości NPV o więcej niż -1%) zaliczono zatem:

- wartość inwestycji
- koszty energii elektrycznej,
- koszty wymiany baterii,
- liczbę wozokilometrów.



## 5.2. Wartości progowe zmiennych krytycznych

Maksymalne możliwe wartości, które spowodują spadek wskaźnika NPV do 0 dla następujących czynników:

- wartość inwestycji
- koszty energii elektrycznej,
- koszty wymiany baterii,
- liczba wozokilometrów

wskazano w tabeli poniżej.

Tabela 35. Analiza wrażliwości - progowe wartości zmiennych

Analiza wrażliwości	Zmiana %
Zmiana wartości inwestycji	+26%
Zmiana kosztów energii elektrycznej	+23%
Zmiana kosztów wymiany baterii	+30%
Zmiana liczby wzkm	-15%

Źródło: opracowanie własne.

Analiza wartości progowych potwierdziła najsilniejszy wpływ na projekt zmian pracy przewozowej. Maksymalna zmiana liczby wozokilometrów wyniosła -15%.

## 6. ANALIZA RYZYKA

### 6.1. Czynniki ryzyka w projekcie

Tabela 36. Czynniki ryzyka w projekcie

Ryzyko		Skutek
1.	Opóźnienia w dostawie taboru	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opóźnienia w konsumpcji efektów ekologicznych,</li> <li>możliwe zmniejszenie rentowności projektu,</li> <li>brak możliwości wykorzystania pojazdów do świadczenia usługi</li> </ul>
2.	Opóźnienia w dostawie infrastruktury towarzyszącej	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opóźnienia w konsumpcji efektów ekologicznych,</li> <li>możliwe zmniejszenie rentowności projektu,</li> <li>brak możliwości wykorzystania pojazdów do świadczenia usługi</li> </ul>
3.	Częste awarie techniczne pojazdów (tzw. choroba wieku dziecięcego) oraz stacji ładujących	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brak możliwości wykorzystania pojazdów do świadczenia usługi</li> </ul>
4.	Przerwy w dostawie energii elektrycznej	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brak możliwości wykorzystania pojazdów do świadczenia usługi</li> </ul>
5.	Zmiany planów transportowych skutkujące zmianą tras przejazdu autobusów	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skrócenie maksymalnego dystansu pojazdu,</li> <li>konieczność częstszego ładowania pojazdów,</li> <li>wydłużenie przerw na ładowanie pojazdów</li> </ul>
6.	Osiąganie rzeczywistych słabszych parametrów technicznych autobusów względem zapowiadanych przez producentów	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skrócenie maksymalnego dystansu pojazdu,</li> <li>konieczność częstszego ładowania pojazdów,</li> <li>wydłużenie przerw na ładowanie pojazdów</li> </ul>
7.	Niesprzyjające warunki atmosferyczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skrócenie maksymalnego dystansu pojazdu,</li> <li>konieczność częstszego ładowania pojazdów,</li> <li>wydłużenie przerw na ładowanie pojazdów</li> </ul>
8.	Brak umiejętności kierowania pojazdem elektrycznym przez kadrę	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skrócenie maksymalnego dystansu pojazdu,</li> <li>konieczność częstszego ładowania pojazdów,</li> <li>wydłużenie przerw na ładowanie pojazdów</li> </ul>
9.	Wyższe od spodziewanych koszty inwestycyjne	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obniżenie rentowności inwestycji</li> </ul>
10.	Wyższe od spodziewanych koszty eksploatacyjne	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obniżenie rentowności inwestycji</li> </ul>
11.	Niższe realne efekty środowiskowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obniżenie rentowności projektu</li> </ul>

*Zródło: Opracowanie własne.*

## 6.2. Matryca ryzyka

Tabela 37. Matryca ryzyka - klasyfikacja poziomu ryzyka

Prawdopodobieństwo	Stopień zagrożenia				
	1	2	3	4	5
A		1,2			
B			5	3	4,6,7
C		8			9
D					10,11
E					

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 38. Matryca ryzyka - sposób działania

Prawdopodobieństwo	Stopień zagrożenia				
	1	2	3	4	5
A	1,2,8		3,4,5,6,7,9		
B					
C					
D	10,11				
E					

Źródło: Opracowanie własne.

## **7. WNIOSKI I REKOMENDACJE**

Przeprowadzona Analiza kosztów i korzyści związanych 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 dla Miasta Siedlce wskazała na następujące wnioski i zalecenia:

- 1. Zgodnie z art. 37 ust. 5 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2018 r., poz. 317) niniejsza analiza wskazuje na przewyższenie kosztów nad korzyściami wynikającymi z zakupu taboru zeroemisyjnego,**
- 2. Wynik analizy nie wskazuje na konieczność wprowadzenia do eksploatacji autobusów zeroemisyjnych,**
- 3. Otrzymanie dofinansowania w wysokości 85% spowoduje obniżenie kosztów inwestycji MPK i tym samym przyczyni się do opłacalności inwestycji w tabor.**
- 4. Wymiana pojazdów wykorzystywanych do świadczenia usług komunikacji miejskiej powinna spełniać najwyższe normy emisji spalin, które przyczynią się do wspierania przedsięwzięć proekologicznych,**
- 5. Struktura wielkościowa taboru nie powinna ulec znaczącym zmianom. Nowe pojazdy zeroemisyjne po uzyskaniu dofinansowania powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane autobusy o napędzie konwencjonalnym, gwarantując wciąż dopasowanie wielkości pojazdów do popytu efektywnego w przewozach komunikacji miejskiej.**

## SPIS TABEL

Tabela 1. Przebieg linii komunikacyjnych obsługiwanych przez MPK .....	12
Tabela 2. Wiek taboru MPK.....	14
Tabela 3. Średnie spalanie w okresie zimowy w rozróżnieniu na klasę pojazdów .....	18
Tabela 4. Średnie spalanie w okresie letnim w rozróżnieniu na klasę pojazdów .....	19
Tabela 5. Planowane łączne wzkm ze świadczenia usług pasażerskiego transportu publicznego w 2018 roku.....	20
Tabela 6. Planowane wzkm na obszarze pozamiejskim ze świadczenia usług pasażerskiego transportu publicznego w 2018 roku.....	20
Tabela 7. Wymagana liczba pojazdów zeroemisyjnych.....	34
Tabela 8. Przebieg linii komunikacyjnych zaproponowanych do elektryfikacji.....	39
Tabela 9. Planowane wprowadzenie inwestycji wariantu „1”.....	42
Tabela 10. Porównanie alternatywnych wariantów inwestycyjnych.....	45
Tabela 11. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 w latach 2021-2025 [PLN].....	47
Tabela 12. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 w latach 2026-2030 [PLN].....	47
Tabela 13. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 w latach 2031-2035 [PLN].....	49
Tabela 14. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych dla wariantu 1 i 2 (model różnicowy) w latach 2021-2025 [PLN].....	50
Tabela 15. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych dla wariantu 1 i 2 (model różnicowy) w latach 2026-2030 [PLN].....	50
Tabela 16. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych dla wariantu 1 i 2 (model różnicowy) w latach 2031-2035 [PLN].....	50
Tabela 17. Ocena efektywności inwestycji [PLN] .....	51
Tabela 18. Emisje CO <sub>2</sub> pochodzące ze spalania paliw - struktura sektorowa, lata 1990-2009 .....	53
Tabela 19. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych dla wariantu 1 i 2 w latach 2021-2025.....	58
Tabela 20. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych dla wariantu 1 i 2 w latach 2026-2030.....	58
Tabela 21. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych dla wariantu 1 i 2 w latach 2031-2035.....	59
Tabela 22. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu 1 i 2 w latach 2021-2025 [PLN].....	60
Tabela 23. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu 1 i 2 w latach 2026-2030 [PLN].....	60
Tabela 24. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu 1 i 2 w latach 2031-2035 [PLN].....	61
Tabela 25. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN].....	61
Tabela 26. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN].....	61
Tabela 27. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN].....	61
Tabela 28. Ocena efektywności inwestycji wariantu 1 i 2 [PLN].....	62
Tabela 29. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN].....	62

Tabela 30. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN].....	62
Tabela 31. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu 1 i 2 [PLN].....	62
Tabela 32. Ocena efektywności inwestycji wariantu 1 i 2 z wykorzystaniem dotacji UE [PLN].....	63
Tabela 33. Ocena efektywności inwestycji wariantu 1 i 2 z wykorzystaniem dotacji UE [PLN].....	63
Tabela 34. Analiza wrażliwości - zmienne krytyczne.....	64
Tabela 35. Analiza wrażliwości - progowe wartości zmiennych .....	65
Tabela 36. Czynniki ryzyka w projekcie .....	66
Tabela 37. Matryca ryzyka - klasyfikacja poziomu ryzyka .....	67
Tabela 38. Matryca ryzyka - sposób działania .....	67

## SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Procentowy udział autobusów w zależności od pojemności eksploatowanych przez MPK .....	13
Wykres 2. Rok produkcji pojazdów MPK.....	15
Wykres 3. Procentowy udział pojazdów w poszczególnych przedziałach wiekowych w całości taboru eksploatowanego przez MPK.....	16
Wykres 4. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin w całości taboru eksploatowanego przez MPK.....	17
Wykres 5. Procentowy udział pojazdów obsługiwanych przez MPK ze względu na klasę .....	18
Wykres 6. Procentowy udział poszczególnych gmin obsługiwanych przez MPK .....	21
Wykres 7. Prędkość komunikacyjna na poszczególnych liniach.....	22
Wykres 8. Prędkość techniczna na poszczególnych liniach.....	22
Wykres 9. Wartość nakładów inwestycyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 [PLN] .....	46
Wykres 10. Wartość wydatków eksploatacyjnych dla wariantu 0, 1 i 2 [PLN] .....	49

## SPIS SCHEMATÓW

Schemat 1. Zależność między stopą dyskontową, a wartością NPV .....	26
Schemat 2. Matryca ryzyka - klasyfikacja poziomu ryzyka .....	31
Schemat 3. Matryca ryzyka - sposób działania .....	31
Schemat 4. Procedura analizy kosztów i korzyści .....	32



## SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Wykaz porozumień międzygminnych Miasta Siedlce .....	10
Rysunek 2. Przebieg linii komunikacyjnej nr 3 .....	35
Rysunek 3. Przebieg linii komunikacyjnej nr 4 .....	36
Rysunek 4. Przebieg linii komunikacyjnej nr 16 .....	37
Rysunek 5. Przebieg linii komunikacyjnej nr 20 .....	38
Rysunek 6. Emisja dwutlenku węgla w 2014 r w Polsce .....	53