

Analiza kosztów i korzyści wykorzystania autobusów zeroemisyjnych

2018



ZDMiKP



BYDGOSZCZ



Miasto Bydgoszcz

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



www.refunda.pl

SPIS TREŚCI

SKRÓTY I AKRONIMY.....	5
SŁOWNIK.....	6
1. PODSTAWY PRZEPROWADZONEJ ANALIZY.....	7
1.1. Uwarunkowania prawne.....	7
1.2. Konsultacje społeczne.....	8
1.3. Cel opracowania.....	8
1.4. Przedmiot opracowania.....	8
1.5. Podmiot opracowania.....	9
1.5.1. Wymogi wynikające z zawartych umów.....	9
1.5.2. Istniejąca sieć komunikacyjna.....	11
1.5.3. Charakterystyka floty operatorów.....	14
1.5.4. Realizowane i planowane przedsięwzięcia taborowe operatora MZK.....	20
1.5.5. Charakterystyka parametrów sieci linii autobusowych komunikacji miejskiej.....	23
2. METODYKA ANALIZY.....	30
2.1. Dane.....	30
2.2. Zastosowane metody.....	31
2.2.1. Analiza finansowa.....	31
2.2.2. Analiza społeczno-ekonomiczna.....	34
2.2.3. Analiza wrażliwości.....	36
2.2.4. Analiza ryzyka.....	37
2.3. Procedura analizy.....	39
3. ANALIZA OPCJI INWESTYCYJNYCH.....	40
3.1. Analiza opcji inwestycyjnych.....	44
3.1.1. Wariant „0”.....	44
3.1.2. Wariant „1”.....	44
3.1.3. Wariant „2”.....	49
3.1.4. Porównanie alternatywnych wariantów inwestycyjnych.....	50
4. WYNIKI.....	53
4.1. Analiza finansowo-ekonomiczna, przedstawionych rozwiązań alternatywnych.....	53
4.2. Analiza ekonomiczno-społeczna.....	65
4.2.1. Koszty społeczne emisji gazów cieplarnianych (CO ₂).....	65
4.2.2. Koszty zmiany klimatu.....	69
4.2.3. Koszty społeczne emisji hałasu.....	70

4.2.4. Efektywność ekonomiczno-społeczna inwestycji	71
4.3. Wariantowa analiza społeczno-ekonomiczna wraz z wyceną kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji.....	72
5. ANALIZA RYZYKA.....	85
5.1. Czynniki ryzyka w projekcie.....	85
5.2. Matryca ryzyka.....	86
6. WNIOSKI I REKOMENDACJE	87
SPIS TABEL	88
SPIS WYKRESÓW	91
SPIS SCHEMATÓW	92
SPIS RYSUNKÓW	93

SKRÓTY I AKRONIMY

AKK	Analiza kosztów i korzyści
CUPT	Centrum Unijnych Projektów Transportowych
MZK	Miejskie Zakłady Komunikacyjne Sp. z o.o. w Bydgoszczy
ZDMiKP	Zarząd Dróg Miejskich i Komunikacji Publicznej w Bydgoszczy
IREX-Trans	IREX-Trans Sp. z o.o.
PTZ	Publiczny Transport Zbiorowy
MIDI	autobus jednoczłonowy o długości ok. 9 - 10,5 metrów
MAXI	autobus jednoczłonowy o długości ok. 11 - 13 metrów
MEGA	autobus przegubowy o długości ok. 15 - 24 metrów
ENPV	ang. Economic Net Present Value - Ekonomiczna wartość bieżąca netto
ERR	ang. Economic Rate of Return - Ekonomiczna stopa zwrotu
NPV	ang. Net present value - Wartość bieżąca netto
IRR	ang. Internal Rate of Return - Wewnętrzna stopa zwrotu
kWh	Kilowatogodzina
MWh	Megawatogodzina
wzkm	Wozokilometr
kW	Kilowat
Operator zewnętrzny	Operator publicznego transportu zbiorowego po roku 2022

SŁOWNIK

Inwestycja	Zakup taboru zeroemisyjnego
Organizator publicznego transportu zbiorowego	Miasto Bydgoszcz
Operatorzy publicznego transportu zbiorowego	Miejskie Zakłady Komunikacyjne Sp. z o.o. w Bydgoszczy IREX-Trans Sp. z o.o. (po roku 2022 Operator zewnętrzny) Tramwaj Fordon 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 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,
 - 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.

1.2. Konsultacje społeczne

Niniejszy dokument AKK dla Miasta Bydgoszcz poddany został trzytygodniowym konsultacjom społecznym, które trwały od dnia 22 listopada 2018 do dnia 13 grudnia 2018 roku. Celem tych konsultacji było poinformowanie społeczności Miasta Bydgoszcz o działaniach przewidzianych do realizacji w ramach AKK oraz stworzenie możliwości zgłoszenia uwag i wskazania rozwiązań preferowanych.

Informacja o konsultacjach społecznych dotyczących AKK dla Miasta Bydgoszcz, została ogłoszona na stronach internetowych Urzędu Miasta Bydgoszczy i ZDMiKP oraz wyłożona w siedzibie ZDMiKP w Bydgoszczy.

W czasie trwania konsultacji społecznych wpłynęły uwagi, które zostały poddane rozpatrzeniu. Uznane za zasadne zostały uwzględnione w opracowaniu dokumentu AKK.

1.3. 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.

1.4. Przedmiot opracowania

Niniejsza analiza została sporządzona na zlecenie Miasta Bydgoszcz 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 z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o których mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji.

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

1.5. Podmiot opracowania

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

PTZ organizowany przez Miasto Bydgoszcz jest jednym z elementów systemu transportowego obszaru opracowania. Operatorami PTZ na autobusowej sieci komunikacyjnej organizowanej przez Miasto Bydgoszcz są MZK oraz IREX-Trans. Podstawową działalnością operatora jest świadczenie usług przewozu osób na terenie Miasta Bydgoszcz oraz okolicznych gmin.

1.5.1. Wymogi wynikające z zawartych umów

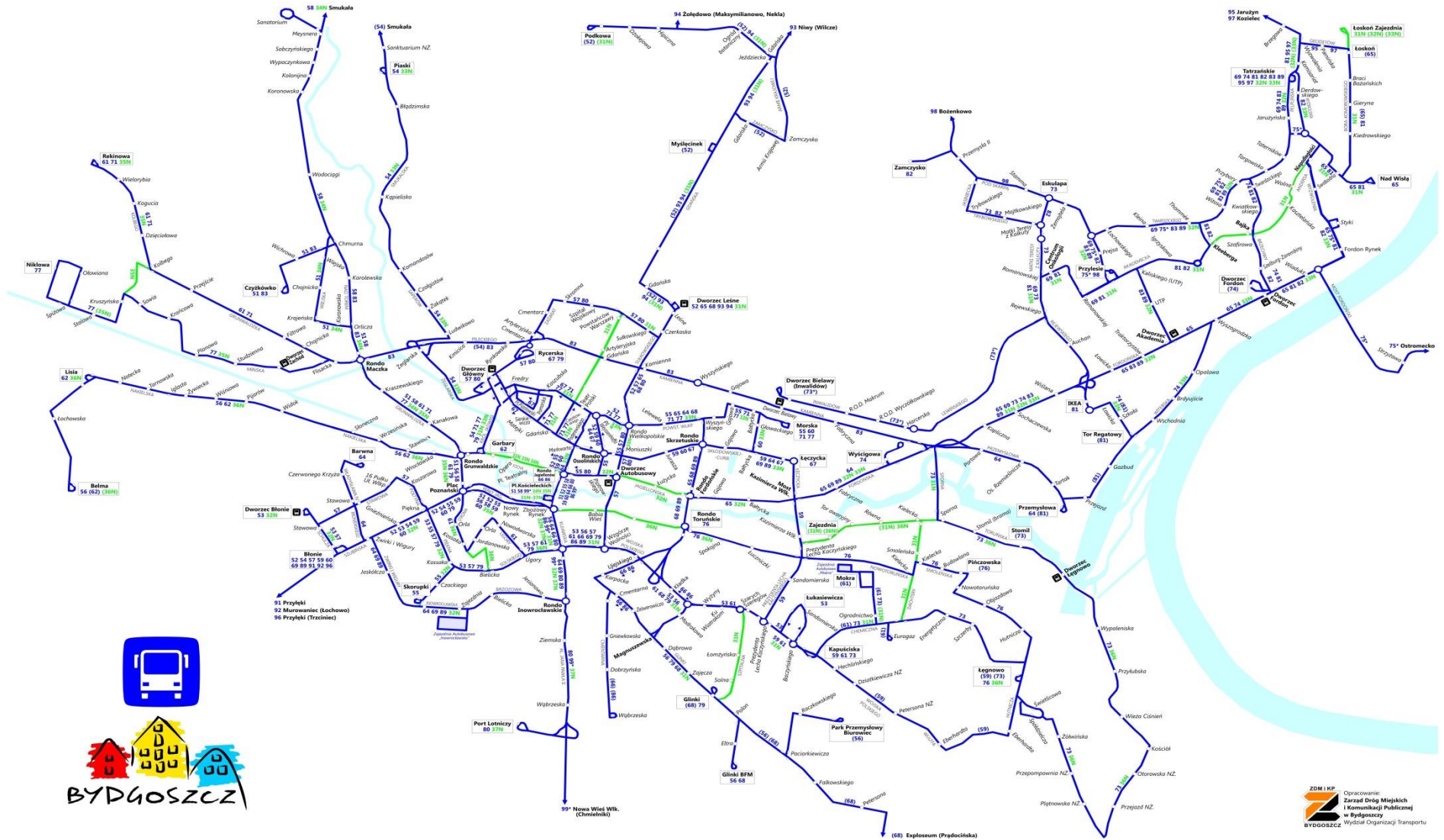
Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym zdefiniowała pojęcie organizatora PTZ jako właściwą jednostkę samorządu terytorialnego, albo ministra właściwego do spraw transportu zapewniającego funkcjonowanie PTZ na danym obszarze. Miasto Bydgoszcz jako organizator PTZ na sieci komunikacyjnej w przewozach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



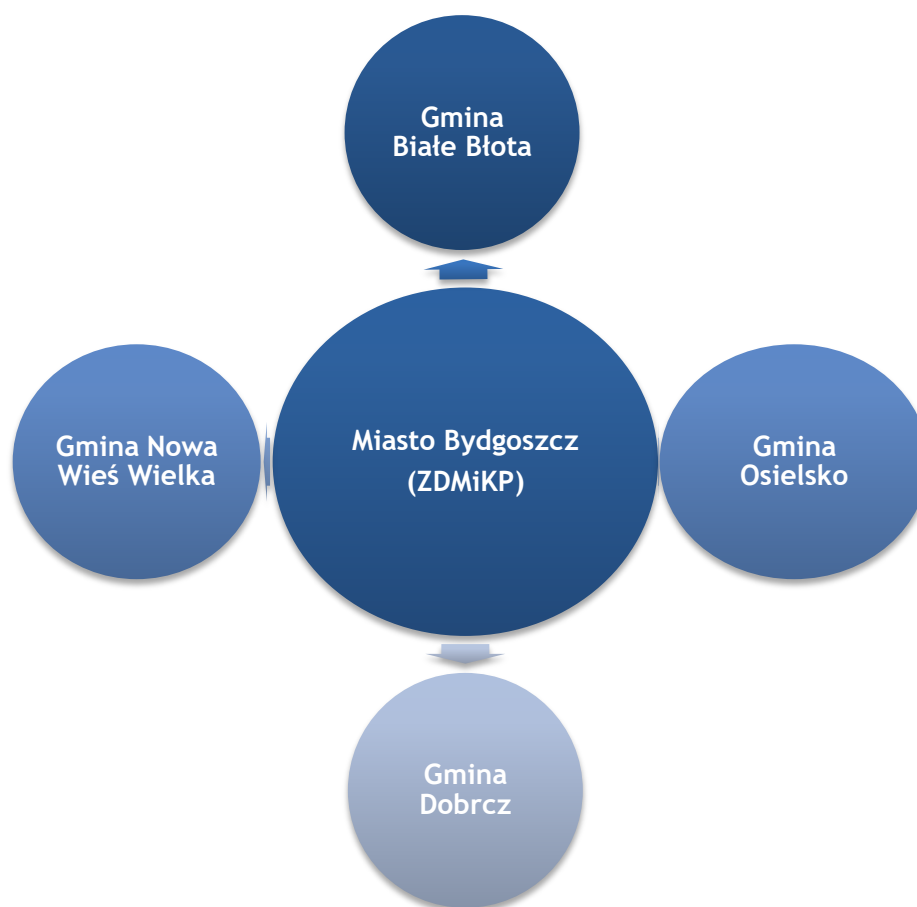
KOMUNIKACJA ZBIOROWA W BYDGOSZCZY

SCHEMAT TOPOGRAFICZNY LINII AUTOBUSOWYCH

15.10.2018



Rysunek 1. Mapa obecnej sieci komunikacyjnej obsługiwanej przez ZDMiKP
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP.



Rysunek 2. Wykaz porozumień międzygminnych Miasta Bydgoszcz

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP.

1.5.2. Istniejąca sieć komunikacyjna

Sieć komunikacyjna zgodnie z ustawą o PTZ, jest układem linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora PTZ lub część tego obszaru. Obecnie w mieście Bydgoszcz, w ramach PTZ funkcjonują dwie traktacje: tramwajowa i autobusowa.

Komunikacja tramwajowa obsługiwana przez dwóch operatorów (w ramach umów powierzenia): MZK oraz Tramwaj Fordon Sp. z o.o. i bazuje na 10 liniach komunikacyjnych funkcjonujących w układzie linii opartym na modułowym cyklu kursowania. Oznacza to, że linie tramwajowe kursują według rozkładów jazdy opartych na zasadzie ruchu cyklicznego w stałych interwałach czasowych.

Komunikacja autobusowa w Bydgoszczy aktualnie jest obsługiwana przez dwóch operatorów działających w ramach zawartych umów na świadczenie usług przewozowych: MZK oraz IREX-Trans.

MZK obsługuje 29 linii dziennych, 9 linii międzygminnych, 7 linii nocnych oraz 1 linię sezonową. MZK świadczy usługi na terenie Gminy Miasta Bydgoszcz, Gminy Białe Błota, Gminy Osielesko, Gminy Dobrcz, oraz Gminy Nowa Wieś Wielka. Jednostki te podpisały porozumienia międzygminne na wykonywanie przez miasto zadań publicznych na podstawie ustawy z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym. „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 Bydgoszcz 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.

IREX-Trans obsługuje 10 linii autobusowych w ramach dwóch umów podpisanych w wyniku przeprowadzonych procedur przetargowych.

Poniżej w tabeli zaprezentowano przebieg wszystkich linii komunikacyjnych obsługiwanych przez wszystkich operatorów, tj. MZK oraz IREX-Trans (bez linii turystycznych). Linie te tworzą aktualną sieć komunikacyjną obsługiwaną przez transport autobusowy na terenie Organizatora.

Tabela 1. Przebieg linii komunikacyjnych obsługiwanych przez MZK oraz IREX-Trans

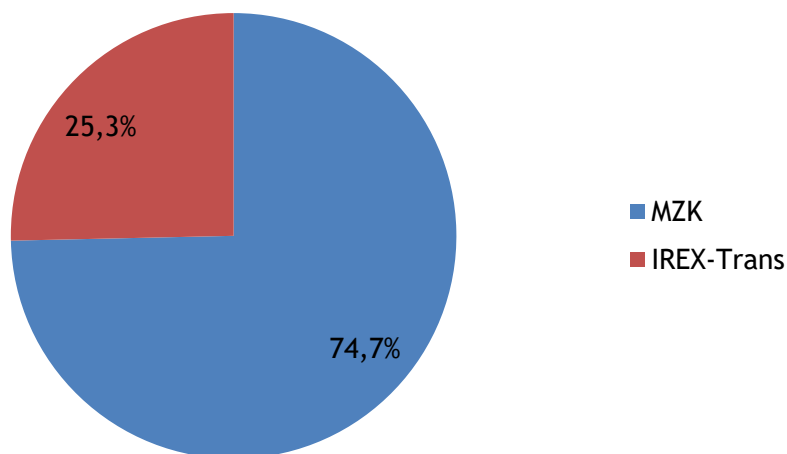
Linia	Przebieg
51	Plac Kościeleckich - Czyżkówko
52	Błonie - Dworzec Leśne
	Błonie - Podkowa
53	Łukasiewicza - Dworzec Błonie
54	Błonie - Piaski
	Błonie - Smukata
55	Morska - Skorupki
56	Glinki BFM - Belma
	Park Przemysłowy / Biurowiec - Belma
57	Błonie - Dworzec Główny
58	Plac Kościeleckich - Smukata
59	Błonie - Kapuściska
	Błonie - Łęgnowo
60	Błonie - Morska
61	Kapuściska - Rekinowa
	Mokra - Rekinowa
62	Garbary - Belma
	Garbary - Lisia
64	Barwna - Przemysłowa
65	Nad Wisłą - Dworzec Leśne
	Łoskoń - Dworzec Leśne
66	Rondo Jagiellonów - Rondo Jagiellonów -

Linia	Przebieg
	Wąbrzeska
67	Rycerska - Skłodowskiej-Curie / Łęczycka
68	Glinki BFM - Dworzec Leśne
	Prądocińska - Dworzec Leśne
	Glinki - Dworzec Leśne
	Park Przemysłowy/Exploseum - Dworzec Leśne
69	Tatrzańskie - Błonie
71	Morska - Rekinowa
73	Kapuścińska - Eskulap
74	Tatrzańskie - Wyścigowa
	Tatrzańskie - Dworzec Fordon
75	Przylesie - Ostromecko
76	Rondo Toruńskie - Łęgowo
77	Morska - Nikłowa
79	Rycerska - Glinki
80	Port Lotniczy - Dworzec Główny
81	Tatrzańskie - Skandynawska / IKEA
	Tatrzańskie - Tor Regatowy
	Tatrzańskie - Przemysłowa
	Tatrzańskie - Centrum Onkologii
82	Tatrzańskie - Zamczysko (Pętla)
83	Czyżkówko - Tatrzanie
86	Rondo Jagiellonów - Rondo Jagiellonów - Wąbrzeska
89	Tatrzańskie - Błonie
91	Błonie - Przytęki
92	Błonie - Murowaniec
	Błonie - Łochowo
93	Dworzec Leśne - Niwy
	Dworzec Leśne - Wilcze
94	Dworzec Leśne - Żołędowo / Augustowska
	Dworzec Leśne - Nekla / Akacyjowa
95	Tatrzańskie - Strzelce Górne - Tatrzanie
96	Błonie - Przytęki
97	Tatrzańskie - Kozielec
98	Przylesie - Bożenkowo/Harcerska - Przylesie
99	Pl. Kościeleckich - Nowa Wieś Wielka

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych od ZDMiKP

1.5.3. Charakterystyka floty operatorów

Według stanu z początku roku 2018 roku MZK dysponuje 162 pojazdami, IREX-Trans dysponuje 55 pojazdami. Łącznie w Mieście Bydgoszczy do obsługi linii komunikacyjnych eksploatuje się 217 autobusów dedykowanym przewozom typowo miejskim oraz podmiejskim.



Wykres 1. Procentowy udział autobusów w zależności od operatora

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych od MZK oraz IREX-Trans.

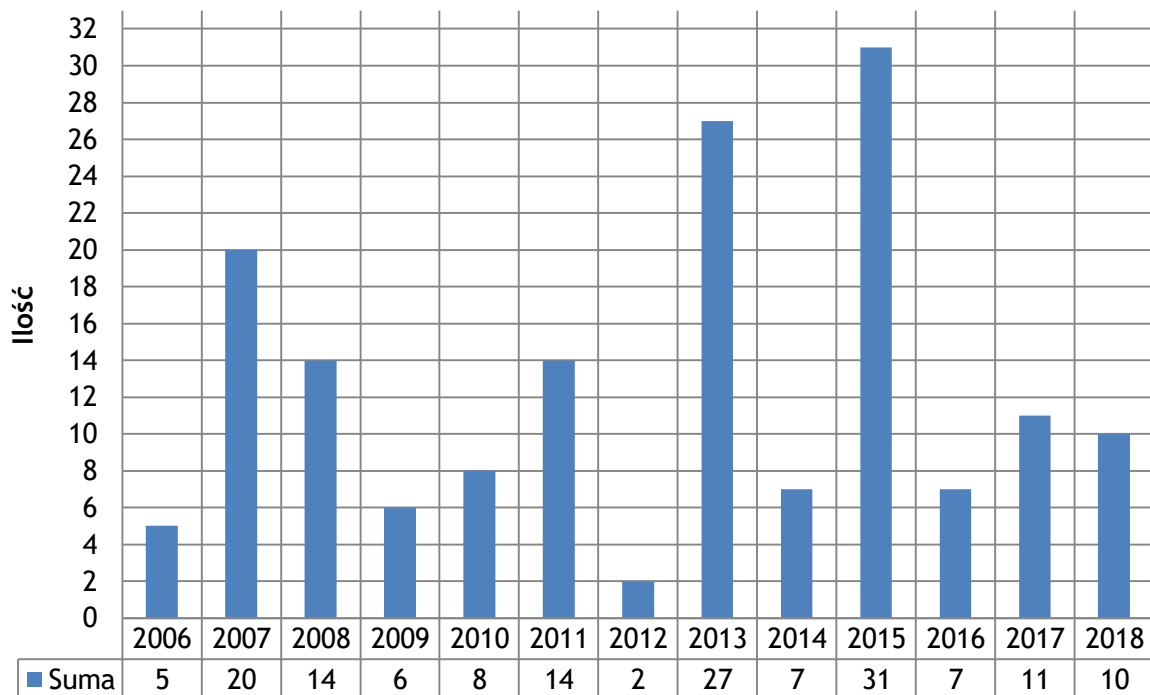
Podział taboru ze względu na wiek

W poniższej tabeli przedstawiono wiek pojazdów eksploatowanych przez MZK oraz IREX-Trans.

Tabela 2. Wiek taboru operatorów

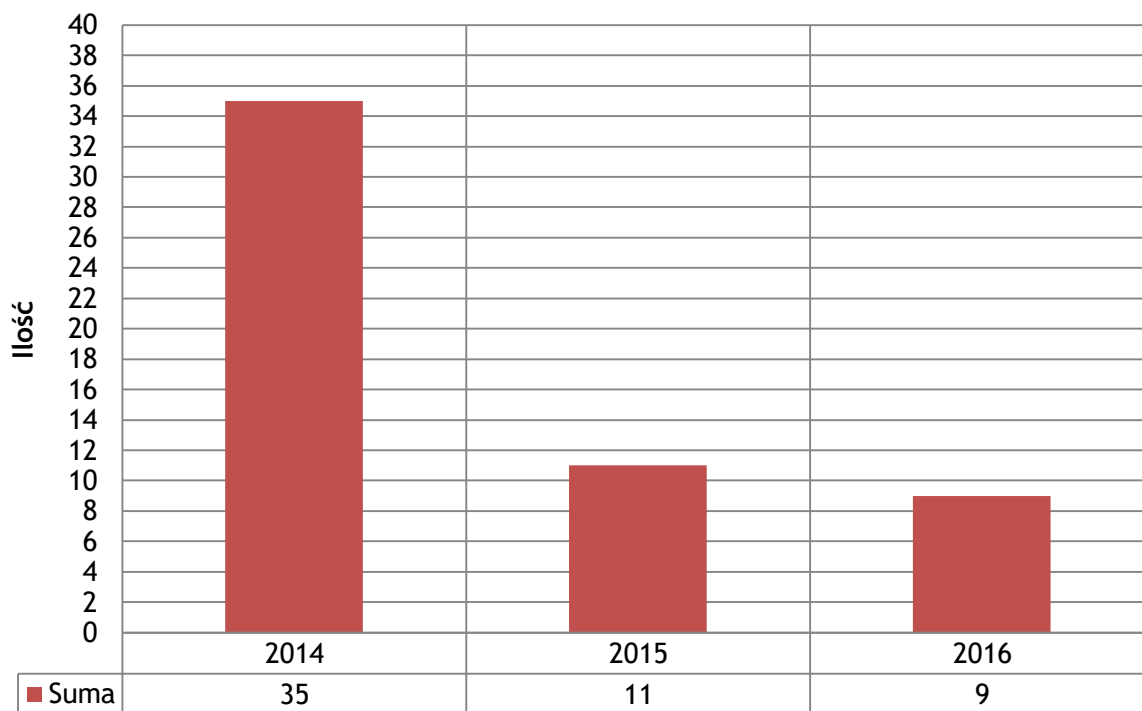
Rok produkcji	Ilość taboru MZK	Ilość taboru IREX-Trans
2006	5	-
2007	20	-
2008	14	-
2009	6	-
2010	8	-
2011	14	-
2012	2	-
2013	27	-
2014	7	35
2015	31	11
2016	7	9
2017	11	-
2018	10	-

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych od MZK oraz IREX-Trans.



Wykres 2. Rok produkcji pojazdów MZK

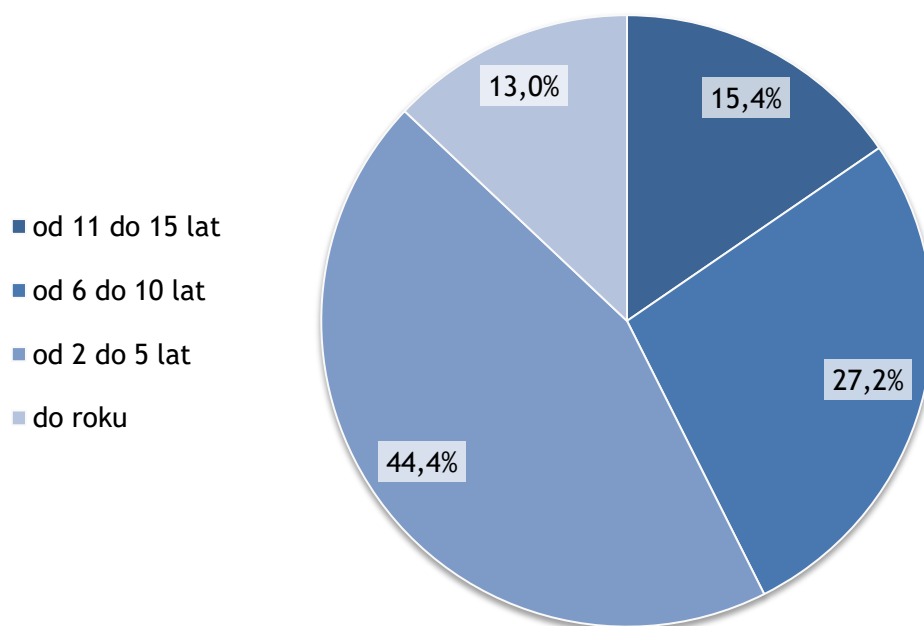
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.



Wykres 3. Rok produkcji pojazdów IREX-Trans

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IREX-Trans.

Średni wiek eksploatowanego taboru MZK wynosi 6 lat. W posiadaniu MZK najczęściej znajduje się pojazdów w wieku od 2 do 5 lat - 72 sztuki. Drugą najliczniejszą grupą są pojazdy mające od 6 do 10 lat, która liczy 44 sztuki. 25 pojazdów ma od 11 do 15 lat, a pojazdów wyprodukowanych w roku 2017 oraz 2018 MZK posiada 21. Przedziałowo uszeregowana struktura wiekowa taboru przedstawiona jest w formie graficznej na poniższym wykresie.



Wykres 4. Procentowy udział pojazdów w poszczególnych przedziałach wiekowych w całości taboru eksploatowanego przez MZK

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.

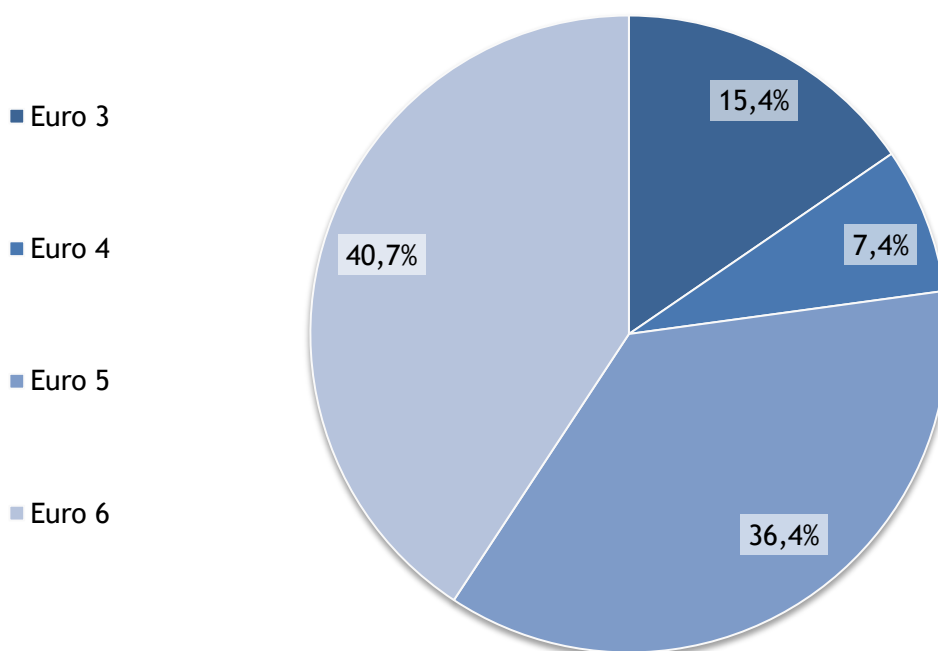
Planowana jest sukcesywna wymiana taboru na nowszy spełniający najnowsze normy emisji spalin, którego standard będzie również uwzględniać potrzeby osób niepełnosprawnych i osób o ograniczonej zdolności ruchowej oraz aspekty związane z ochroną środowiska naturalnego.

Średni wiek eksploatowanego taboru IREX-Trans wynosi 3,5 roku. W posiadaniu IREX-Trans znajdują się tylko pojazdy w wieku od 2 do 5 lat - 55 sztuk.

Podział taboru ze względu na spełniane normy emisji spalin

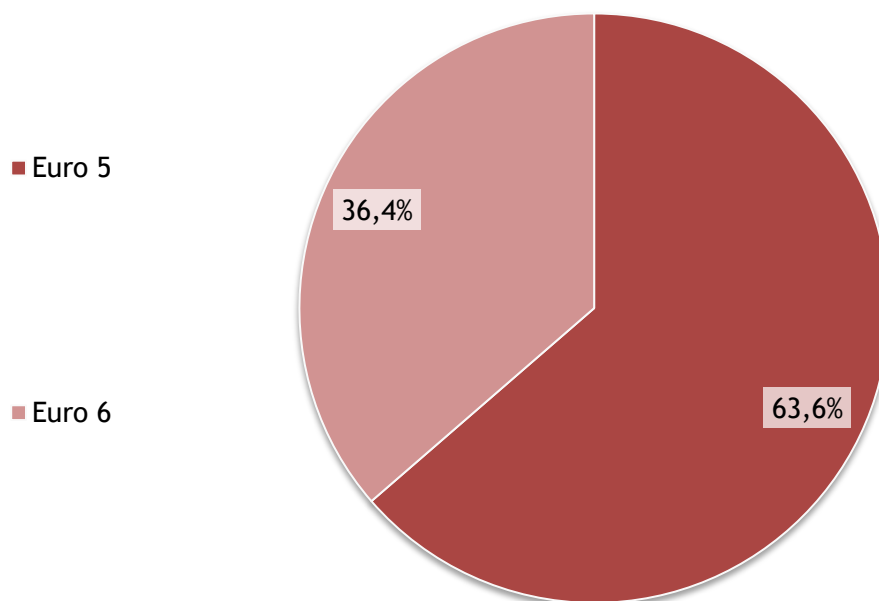
Stan techniczny środków transportu zbiorowego ma zasadniczy wpływ na bezpieczeństwo, zanieczyszczenie powietrza oraz poziom hałasu w Mieście Bydgoszcz. Poprawę w tych obszarach Miasto osiągnęło poprzez sukcesywną realizację planu modernizacji taboru autobusowego, w tym zakupy najnowszych, ekologicznych 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 3 z 2006 i 2007 i EURO 4 z 2008 roku.

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



Wykres 5. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin taboru eksploatowanego przez MZK

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.

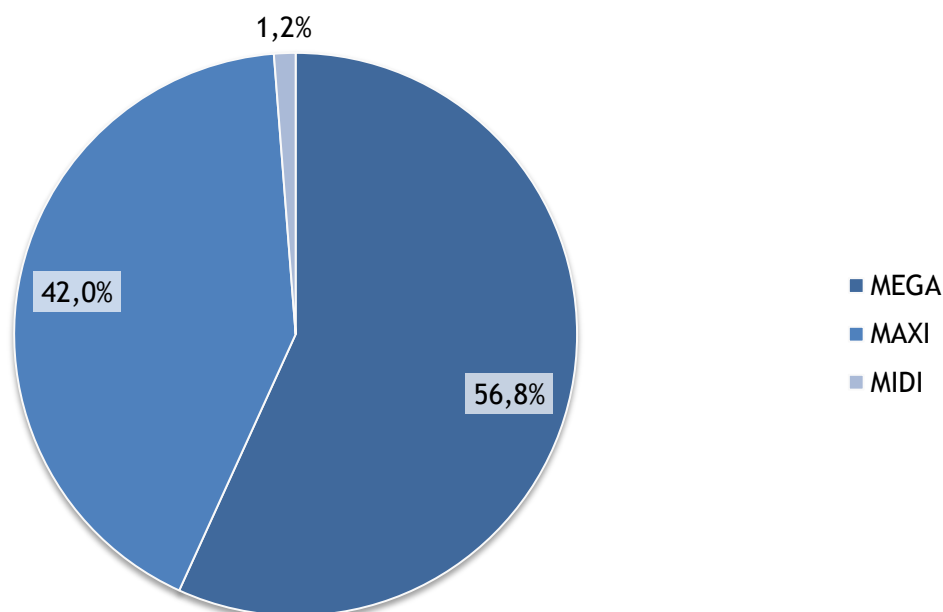


Wykres 6. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin taboru eksploatowanego przez IREX-Trans

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IREX-Trans.

Podział taboru ze względu na klasę pojazdów

Tabor eksploatowany przez MZK jest zróżnicowany pod względem klasy, większość wykorzystywanych autobusów przez MZK to pojazdy klasy MEGA przegubowe (18 m) - 92 sztuki. Pozostałe pojazdy wykorzystywane w Mieście Bydgoszcz to pojazdy klasy MAXI (12 m) - 68 sztuk oraz MIDI (9,6 m) - 2 sztuki. Łącznie pojazdy klasy MAXI oraz MIDI stanowią ponad 43% całego taboru. MZK posiada większość autobusów klasy MEGA, ponieważ występuje potrzeba kursowania takich dużych pojazdów na sieci komunikacyjnej. Tabor eksploatowany przez IREX-Trans to 23 szt. autobusów klasy MEGA oraz 32 szt. autobusów klasy MAXI.



Wykres 7. Procentowy udział pojazdów obsługiwanych przez MZK ze względu na klasę

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.

Podział taboru ze względu na napęd pojazdów

Całość taboru wykorzystywanego przez MZK oraz IREX-Trans stanowią autobusy o napędzie konwencjonalnym, które są najczęściej wykorzystywanym rodzajem napędu w pojazdach wykorzystywanych do przewozu osób w transporcie zbiorowym. MZK oraz IREX-Trans nie dysponują pojazdami o napędzie zeroemisyjnym.

Podsumowanie

Stan taboru ukazuje, że MZK eksploatuje ponad 77% pojazdów spełniających normy emisji EURO 5, EEV oraz EURO 6. Całość taboru IREX-Trans obsługuje normy spalania EURO 5 oraz EURO 6. Tylko 15% taboru MZK ma więcej niż 10 lat. Ze względu na zużycie techniczne do wycofania z eksploatacji kwalifikują się pojazdy zamortyzowane. Najmłodsze pojazdy eksploatowane w Mieście Bydgoszcz zostały wyprodukowane w 2018 roku. Normę EURO 6 łącznie z autobusami IREX-Trans spełnia 86 pojazdów, które przyczyniają się do wspierania przedsięwzięć proekologicznych. Podsumowując, stan taboru autobusowego w Mieście Bydgoszcz ze względu na sukcesywną wymianę przestarzałego taboru jest dość dobry i wciąż się poprawia.

1.5.4. Realizowane i planowane przedsięwzięcia taborowe operatora MZK

Miasto Bydgoszcz zgłosiło się do dwóch programów inwestycyjnych związanych z wdrażaniem elektromobilności m.in. do programu NCBR - Programu bezemisyjnego transportu publicznego oraz do programu organizowanego przez CUPT - Program na zakup taboru o napędzie zeroemisyjnym z budową infrastruktury ładującej.

W ramach pierwszego programu opracowanego przez NCBR zostało podpisane porozumienie pomiędzy NCBR i Miastem Bydgoszcz na mocy którego strony zobowiązały się do współpracy przy opracowaniu, przetestowaniu, wdrożeniu i sprzedaży nowych, innowacyjnych technologii w obszarze bezemisyjnego transportu publicznego. W ramach porozumienia Miasto Bydgoszcz zobowiązane jest do zakupu 5 autobusów MAXI o napędzie zeroemisyjnym wraz z infrastrukturą umożliwiającą przetestowanie pojazdów. Opcjonalnie Miasto Bydgoszcz będzie miało możliwość zakupu dodatkowo 10 sztuk autobusów klasy MEGA oraz 15 sztuk pojazdów klasy MAXI.

W ramach programu CUPT Miasto Bydgoszcz zamierza kupić 12 autobusów elektrycznych (8 szt. autobusów klasy MAXI oraz 4 szt. autobusów klasy MEGA). W ramach programu Miasto planuje również zakup infrastruktury ładującej na 4 pętlach autobusowych i na zajezdni autobusowej MZK. Poniżej znajduje się tabela zawierająca harmonogram inwestycji taborowej w zależności od uzyskania dodatkowego dofinansowania.

Tabela 3. Harmonogram planowanych inwestycji taborowych przy otrzymaniu dofinansowania

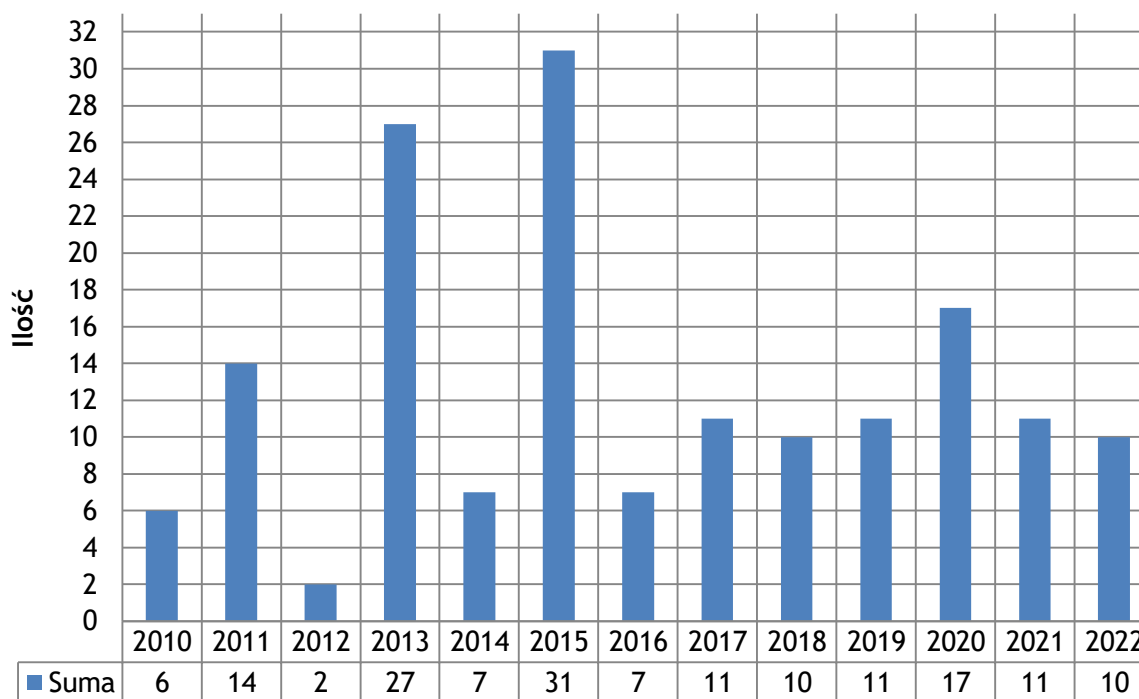
Planowane inwestycje taborowe (otrzymanie dofinansowania)		
Rok inwestycji	Wyszczególnienie	Ilość pojazdów
2019	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	11
2020	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	5
	Autobus MEGA o napędzie zeroemisyjnym	4
	Autobus MAXI o napędzie zeroemisyjnym	8
2021	Autobus MAXI o napędzie zeroemisyjnym	5
	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	6
2022	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	10

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.

Tabela 4. Harmonogram planowanych inwestycji taborowych bez dofinansowania

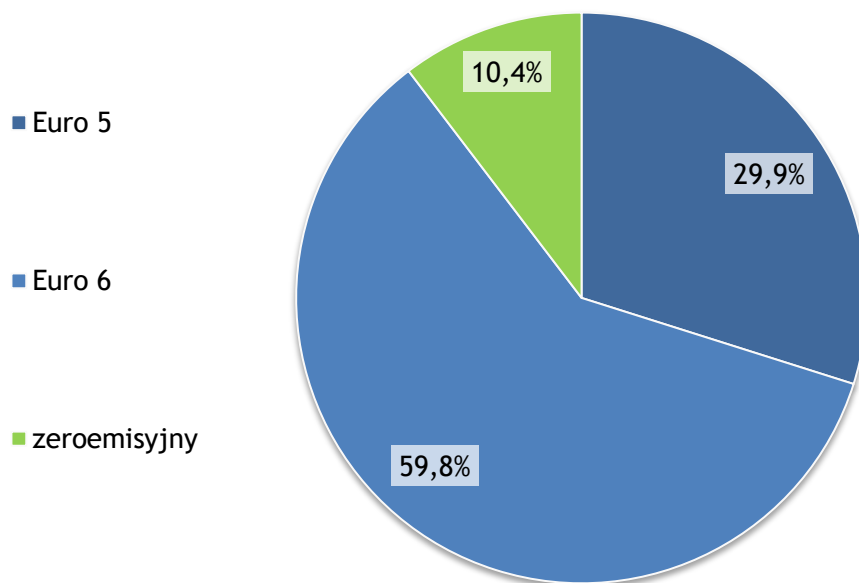
Planowane inwestycje taborowe (otrzymanie dofinansowania)		
Rok inwestycji	Wyszczególnienie	Ilość pojazdów
2019	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	11
2020	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	8
	Autobus MAXI o napędzie konwencjonalnym	4
2021	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	10
	Autobus MAXI o napędzie konwencjonalnym	2
2022	Autobus MEGA o napędzie konwencjonalnym	7
	Autobus MAXI o napędzie konwencjonalnym	5

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.



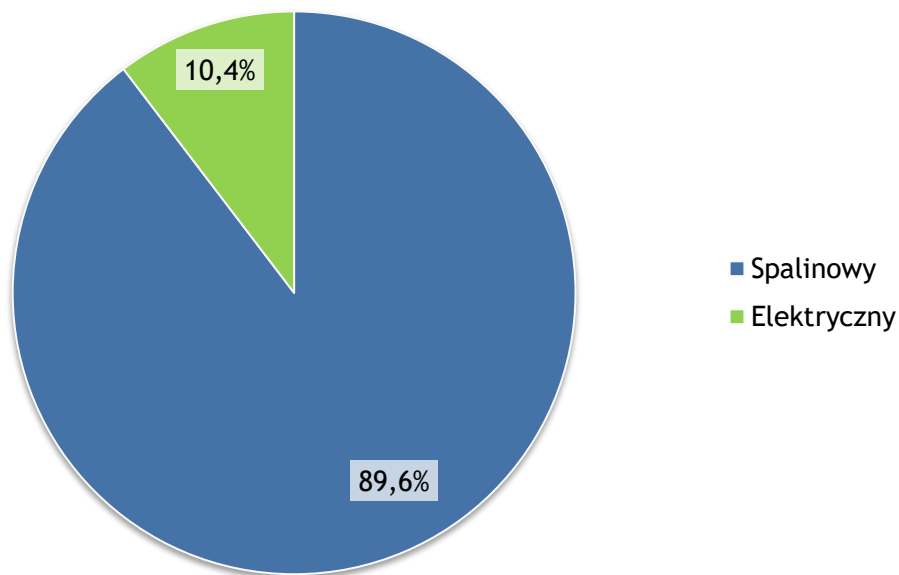
Wykres 8. Rok produkcji pojazdów po wprowadzeniu planowanej wymiany taboru MZK przy uzyskaniu dofinansowania (rok 2022)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.



Wykres 9. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin po wprowadzeniu planowanej wymiany taboru MZK przy uzyskaniu dofinansowania (rok 2022)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.



Wykres 10. Procentowy udział pojazdów w zależności od napędu po wprowadzeniu planowanej wymiany taboru MZK (rok 2022)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MZK.

1.5.5. Charakterystyka parametrów sieci linii autobusowych komunikacji miejskiej

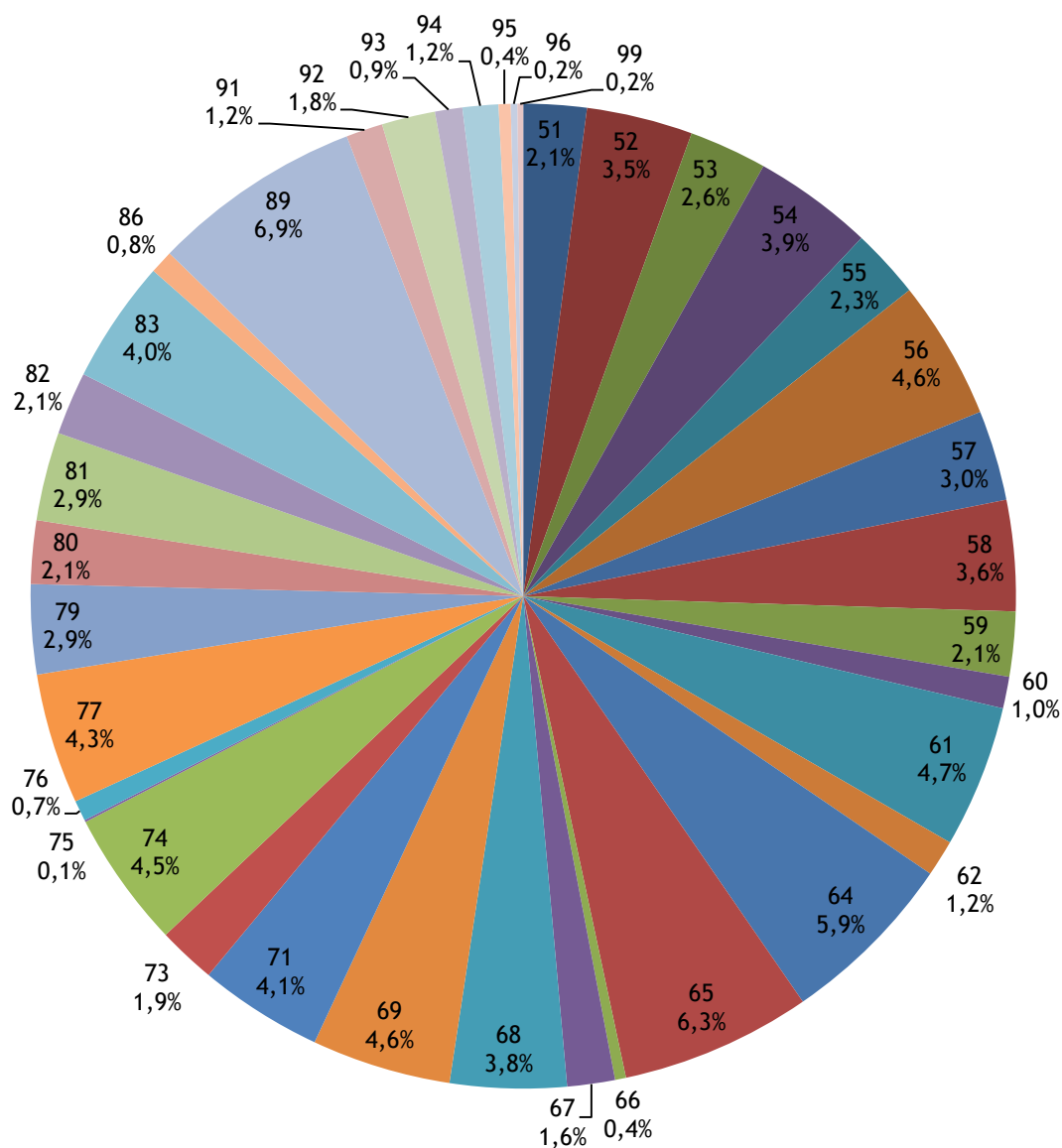
Głównym przedmiotem działalności organizatora jest organizowanie i zlecenie operatorom usług pasażerskiego transportu publicznego. W 2017 r. Operatorzy wykonali pracę przewozową w ilości 13 734 638 wzm. Firma IREX-Trans obsługuje linie nr: 51, 53, 55, 56, 58, 62, 67, 69, 73 oraz 76. Łącznie w 2017 r. obsługując wymienione wyżej linie wykonała 3 435 288 wzm, pozostałe usługi wykonały MZK. Dokładną pracę przewozową z podziałem na poszczególne linie komunikacyjne wskazano w tabeli. Linie nr 97 oraz 98 zostały utworzone po 2017 r. dlatego nie znajdują się w poniższej tabeli.

Tabela 5. Wykaz wykonanych wzm przez MZK oraz IREX-Trans w 2017r.

Linia	Liczba wykonanych wzm
51	283 976,2
52	478 512,0
53	350 587,0
54	540 601,7
55	314 574,7
56	627 266,1
57	407 224,0
58	499 050,0
59	291 820,0
60	142 848,0
61	642 039,0
62	163 935,1
64	805 979,0
65	859 598,0
66	49 203,0
67	215 157,5
68	524 099,0
69	627 266,1
71	558 553,0
73	260 627,5
74	616 427,0
75	9 255,0
76	92 848,0
77	589 216,0
79	404 020,0
80	285 449,0
81	398 821,0
82	284 069,0
83	555 267,0
86	105 417,0
89	949 806,0
91	165 630,0
92	240 975,0

Linia	Liczba wykonanych wzkm
93	123 051,0
94	161 439,0
95	54 234,0
96	29 809,0
99	25 989,0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP.



Wykres 11. Procentowy udział poszczególnych linii autobusowych MZK oraz IREX-Trans

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP.

Największy wpływ na liczbę wykonanych wzkm mają linie: 89 - (6,9%), 65 - (6,3%) oraz 64 - (5,9%).

Prędkości komunikacyjne oraz eksploatacyjne na liniach komunikacji miejskiej

Średnia prędkość komunikacyjna na wszystkich liniach wynosi 23,48 [km/h]. Na wszystkich liniach prędkości komunikacyjne wynoszą od 17,9 nawet do 40,2 km/h. Linie, które osiągają najwyższą prędkość komunikacyjną to linie: 91, 95, 96 oraz 99. Linie, które kursują z najniższą prędkością to linie: 55, 60 oraz 67.

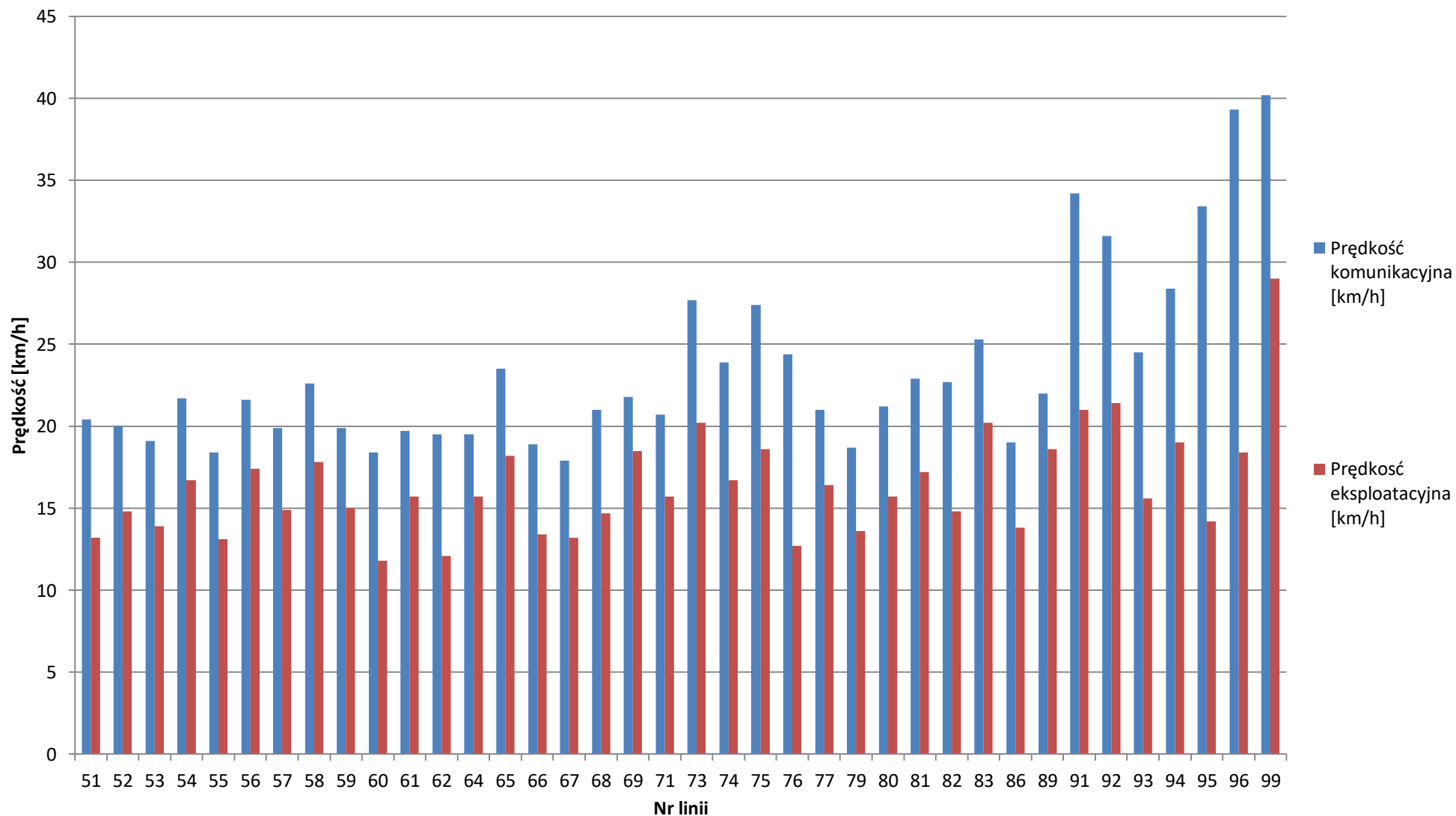
Średnia prędkość eksploatacyjna na wszystkich liniach wynosi 16,39 [km/h]. Na wszystkich liniach prędkości eksploatacyjne wynoszą od 11,8 nawet do 29,0 km/h. Linie, które osiągają najwyższą prędkość eksploatacyjną to linie: 73, 83, 92 oraz 99. Linie, które kursują z najniższą prędkością eksploatacyjną to linie: 51, 55, 60 oraz 62.

Poniżej znajduje się tabela z prędkościami komunikacyjnymi oraz eksploatacyjnymi wszystkich linii obsługiwanych przez operatorów MZK oraz IREX-Trans.

Tabela 6. Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne na liniach autobusowych w 2017r.

Linia	Prędkość komunikacyjna [km/h]	Prędkość eksploatacyjna [km/h]
51	20,40	13,20
52	20,00	14,80
53	19,10	13,90
54	21,70	16,70
55	18,40	13,10
56	21,60	17,40
57	19,90	14,90
58	22,60	17,80
59	19,90	15,00
60	18,40	11,80
61	19,70	15,70
62	19,50	12,10
64	19,50	15,70
65	23,50	18,20
66	18,90	13,40
67	17,90	13,20
68	21,00	14,70
69	21,80	18,50
71	20,70	15,70
73	27,70	20,20
74	23,90	16,70
75	27,40	18,60
76	24,40	12,70
77	21,00	16,40
79	18,70	13,60
80	21,20	15,70
81	22,90	17,20
82	22,70	14,80
83	25,30	20,20
86	19,00	13,80
89	22,00	18,60
91	34,20	21,00
92	31,60	21,40
93	24,50	15,60
94	28,40	19,00
95	33,40	14,20
96	39,30	18,40
99	40,20	29,00

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP.



Wykres 12. Prędkość komunikacyjna na poszczególnych liniach autobusowych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP.

1.5.6. Szacunkowa emisja gazów cieplarnianych w skali roku

W 2017 r. Organizatorzy wykonali autobusową pracę przewozową w ilości 13 699 394 wzkm. Łącznie MZK oraz IREX-Trans eksploatują 217 pojazdów. Zakładając, że każdy z pojazdów pokonuje taką samą drogę podczas rocznej eksploatacji wynika, że każdy pojazd średniorocznie pokonuje ponad 68 000 wzkm. Poniżej znajduje się tabela z wyszczególnieniem emisji zanieczyszczeń każdego pojazdu w zależności od jego normy spalania.

Tabela 7. Szacowana roczna emisja spalin eksploatowanego taboru MZK

Marka	Model	Ilość	Norma emisji	NMHC i NMVOC [g/km]	Nox [g/km]	PM 2.5 [g/km]	CO ₂ [kg/km]
Mercedes-Benz	671 O 345 Conecto G	14	Euro 3	2 099 985	15 908 974	318 179	852 721
Mercedes-Benz	628 O 530 Citaro	2	Euro 3	299 998	2 272 711	45 454	121 817
Mercedes-Benz	628 O 530 G Citaro	9	Euro 3	1 349 990	10 227 197	204 544	548 178
Mercedes-Benz	628 Conecto LF	9	Euro 5	940 902	4 090 879	40 909	548 178
Mercedes-Benz	628 O 530 G Citaro	12	Euro 4	1 254 536	9 545 384	54 545	730 904
Mercedes-Benz	628 Conecto G LF	21	Euro 5	2 195 438	9 545 384	95 454	1 279 081
Solaris	Urbino 12	16	Euro 5	1 672 715	7 272 674	72 727	974 538
Solaris	Urbino 8,6	2	Euro 5	209 089	909 084	9 091	121 817
Solaris	Urbino 18	11	Euro 5	1 149 992	4 999 963	50 000	669 995
Solaris	Urbino 18	14	Euro 6	413 633	1 272 718	31 818	852 721
Solaris	Urbino 12	31	Euro 6	915 902	2 818 161	70 454	1 888 168
Mercedes-Benz	628 Conecto LF	10	Euro 6	295 452	909 084	22 727	609 086
Mercedes-Benz	628 Conecto G LF	11	Euro 6	324 998	999 993	25 000	669 995
Łącznie		162		12 797 633	69 772 213	1 015 902	9 197 205

Zródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP oraz MZK.

Tabela 8. Szacowana roczna emisja spalin eksploatowanego taboru IREX-Trans

Marka	Model	Ilość	Norma emisji	NMHC i NMVOC [g/km]	Nox [g/km]	PM 2.5 [g/km]	CO2 [kg/km]
Solbus	SM12	12	Euro 5	1 254 536	5 454 505	54 545	730 904
Solbus	SM18	23	Euro 5	2 404 528	10 454 468	104 545	1 400 899
Solbus	SM12	15	Euro 6	443 179	1 363 626	34 091	913 630
Solaris	Urbino 12	5	Euro 6	147 726	454 542	11 364	304 543
Łącznie		55		4 249 969	17 727 142	204 544	3 349 975

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP oraz IREX-Trans.

2. METODYKA ANALIZY

Zastosowana w niniejszym opracowaniu analiza kosztów i korzyści stanowi system oceny efektywności inwestycji w tabor o napędzie zeroemisyjnym. 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 społecznego¹.

2.1. Dane

Dane do analizy pozyskano od organizatora oraz operatorów 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 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, umowy zawarte z operatorami),
- 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).

¹Ligus 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 o napędzie zeroemisyjnym zostanie zweryfikowany pod względem finansowym (analiza finansowa), ekonomiczno-społecznym (analiza ekonomiczno-społeczna), a także 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 z 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 osiąganych dzięki inwestycjom i wydatkom 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 presentvalue), opiera się na zdyskontowanych przepływach gotówkowych netto (ang. net cashflow) 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,

ΔNWC - 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

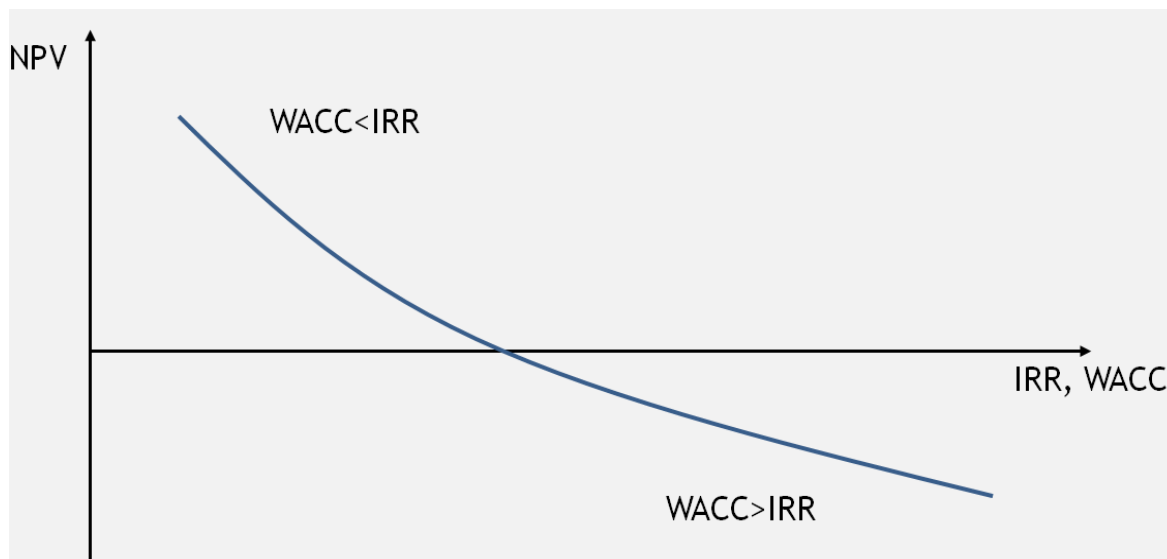
T - stopa opodatkowana

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.

Poziomą wewnętrzną stopę 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 efekty zewnętrzne stanowią:

- koszty wypadków - niższe koszty wypadków na drogach dzięki zmniejszeniu ruchu drogowego,
- koszty społeczne emisji gazów cieplarnianych (CO₂) - różnicowe koszty zmian klimatycznych (emisja CO₂),
- 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 presentvalue) ekonomiczna wartość bieżąca netto,
- ERR - (economic rate of return) ekonomicznastopazwrotu.

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 monetizowanych efektów.

Rezultaty analizy wrażliwości

- wyłonienie kluczowych zmiennych AKK jako krytycznych dla analizy. Za zmienną krytyczną uważa się tę zmienną kluczową, której zmiana o ± 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 opisanu 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.

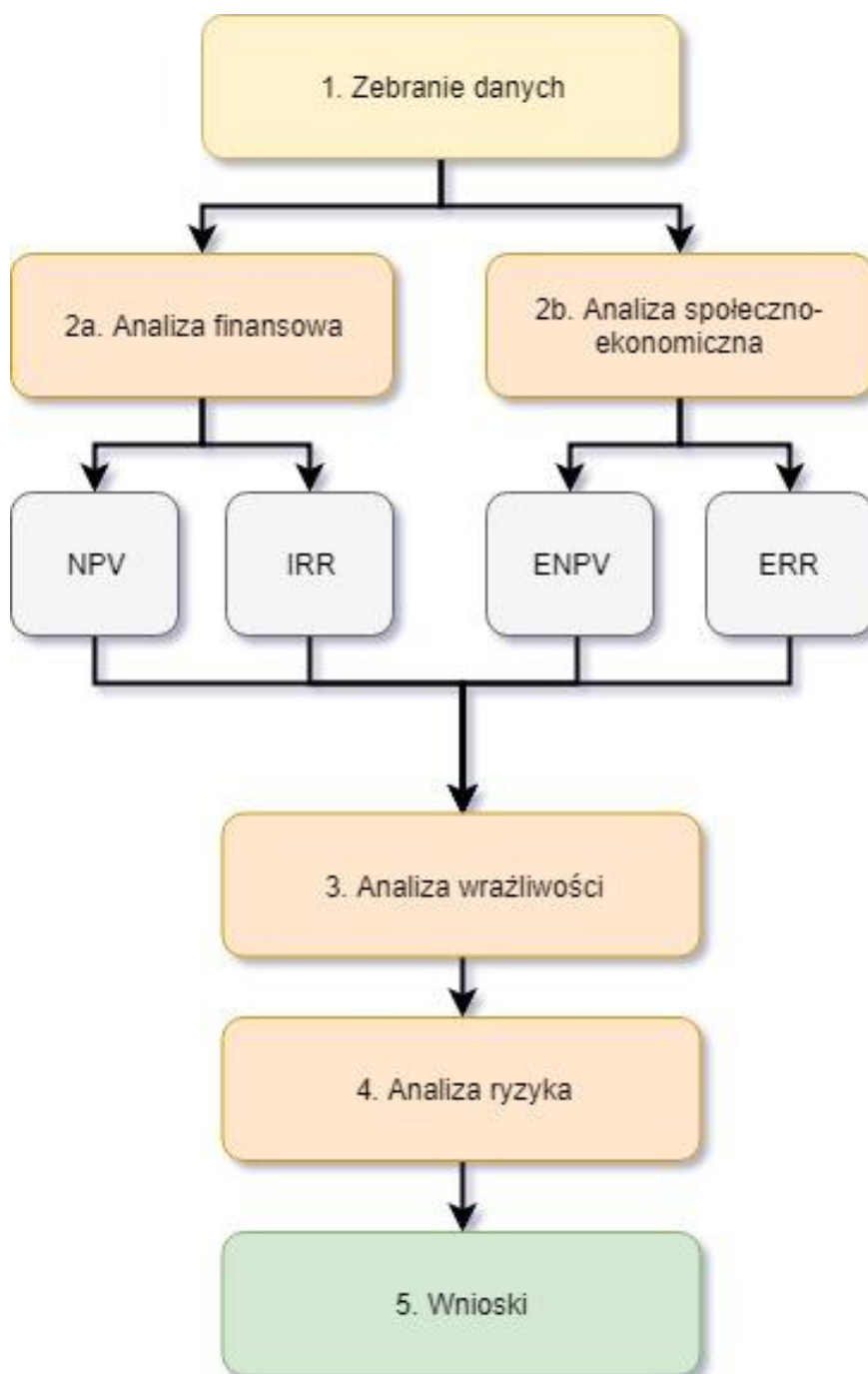
Prawdopodobieństwo	Stopień zagrożenia				
	1	2	3	4	5
A	Zapobieganie lub łagodzenie		Łagodzenie		
B					
C					
D	Zapobieganie		Zapobieganie i łagodzenie		
E					

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 pojazdów o napędzie zeroemisyjnym elektrycznym,
- Wariant „2” - wprowadzenie do eksploatacji pojazdów o napędzie zeroemisyjnym 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 Bydgoszcz. 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 o napędzie zeroemisyjnym 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 MZK przy obecnym stanie taboru wynoszącym 162 pojazdy, do 2028 roku wymagana liczba pojazdów zeroemisyjnych wynosi 49. MZK nie posiada w swoim taborze pojazdów o napędzie zeroemisyjnym.

IREX-Trans na mocy 2 umów przewozowych z ważnością do 31 grudnia 2022r. nie jest zobligowany do wprowadzenia 1 progu Ustawy czyli eksploatacji 5% taboru zeroemisyjnego. Zgodnie z zapisami do ustawy Operator zewnętrzny po roku 2022 do 1 stycznia 2028r. będzie posiadał co najmniej 30% autobusów o napędzie zeroemisyjnym w całym eksploatowanym taborze na rzecz danej jednostki samorządu terytorialnego. Poniżej znajduje się tabela z wyszczególnieniem wymaganej liczby pojazdów o napędzie zeroemisyjnym dla operatorów. Do obliczeń wymaganej liczby dla Operatora zewnętrznego po 2022r. przyjęto aktualny stan taboru przewoźnika IREX-Trans. Wymaganą liczbą autobusów o napędzie zeroemisyjnym dla Operatora zewnętrznego będzie 17 pojazdów do 2028 roku.

Tabela 9. Wymagana liczba pojazdów o napędzie zeroemisyjnym

Założenia inwestycyjne zgodnie z ustawą		
Rok inwestycji	Ilość wymaganych pojazdów MZK	Ilość wymaganych pojazdów Operatora zewnętrznego
2021	9	3
2023	17	6
2025	33	11
2028	49	17

Źródło: Opracowanie własne.

Alternatywna trasa autobusów o napędzie zeroemisyjnym

Do poprawnego wykonania analizy rozwiązań alternatywnych należy wskazać układ sieci komunikacyjnej, na którym autobusy o napędzie zeroemisyjnym 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 obsługiwanych przez MZK nr 52, 57, 60 oraz linii autobusowych obsługiwanych przez IREX-Trans nr 55 oraz 67. Uzupełniająco autobusy elektryczne akumulatorowe będą obsługiwały pozostałe linie komunikacyjne w porach o zmniejszonym zapotrzebowaniu na autobusy na liniach całkowicie zelektryfikowanych.

Trasa nr 52 charakteryzuje się przebiegiem w centralnej części miasta nieopodal Rynku, miejsca, w którym zagęszczenie ludności jest bardzo duże. Szczegółowa trasa opisana w tabeli poniżej. Rocznie zakłada się, że autobusy na linii pokonują 478 512 wzkm. Czas potrzebny do wykonania jednego kursu to 26,5 minuty. Na trasie znajduje się 15 przystanków. Linia przebiega tylko w obszarze miejskim, z przystankiem początkowym na pętli „Dworzec Leśne” oraz końcowym na pętli „Błonie”. Średnia prędkość eksploatacyjna autobusów na linii nr 52 to 14,8 km/h, średnia prędkość komunikacyjna na trasie wynosi 20,0 km/h. Długość linii nr 52 wynosi 7,4 km oraz dziennie linię obsługuje 6 brygad.

Trasa nr 57 charakteryzuje się przebiegiem tylko w obszarze miejskim obsługując Dworzec Główny PKP. Rocznie zakłada się, że pojazdy obsługujące linię wykonają łącznie 407 224 wzkm. Czas potrzebny do pokonania trasy to 40 minut. Na trasie znajdują się 22 przystanki, z przystankiem początkowymi na Dworcu Głównym PKP oraz końcowym na pętli autobusowej „Błonie”. Średnia prędkość eksploatacyjna autobusu na linii nr 57 wynosi 14,9 km/h, średnia prędkość komunikacyjna wynosi 19,9 km/h. Ze względu na łączenie linii nr 57 z linią nr 80 liczba brygad obsługujących linię w dzień powszedni wynosi 9, w soboty 7 oraz w niedziele 6.

Trasa nr 60 to linia wyłącznie miejska, która przebiega przez centralną część miasta nieopodal Rynku. Rocznie zakłada się, że pojazdy obsługujące linię wykonają łącznie 142 848 wzkm. Czas potrzebny do pokonania trasy to 24,5 minuty. Na trasie znajduje się 17 przystanków. Średnia prędkość eksploatacyjna autobusu na linii nr 60 wynosi 11,8 km/h. Prędkość eksploatacyjna na tej trasie jest bardzo niska dlatego, zaleca się wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych na takiej trasie ze względu na zmniejszenie emisji substancji niebezpiecznych. Średnia prędkość komunikacyjna wynosi 18,4 km/h. Jest to linia z najniższą prędkością komunikacyjną oraz eksploatacyjną wśród wszystkich linii obsługiwanych przez MZK. Długość linii wynosi 8 km. Ze względu na łączenie linii nr 60 z linią nr 59 liczba brygad obsługujących linię w dni powszednie wynosi 6 (w przypadku szczytu popołudniowego 7), natomiast w dni wolne 5.

Trasa nr 55 charakteryzuje się przebiegiem tylko w obszarze miejskim nieopodal Rynku. Rocznie zakłada się, że pojazdy obsługujące linię wykonają łącznie 314 574,70 wzkm. Czas potrzebny do pokonania trasy to 27 minut. Na trasie znajduje się 16 przystanków, z przystankiem początkowymi na pętli autobusowej „MORSKA” oraz końcowym na pętli autobusowej „SKORUPIKI”. Średnia prędkość eksploatacyjna autobusu na linii nr 55 wynosi 13,1 km/h, jest to linia o bardzo niskiej prędkości dlatego, zaleca się wprowadzenie autobusów zeroemisyjnych na takiej trasie. Średnia prędkość komunikacyjna na trasie wynosi 18,4 km/h. Długość linii wynosi 7,9 km oraz dziennie linię obsługują 4 brygady.

Trasa nr 67 charakteryzuje się przebiegiem tylko w obszarze miejskim obsługując Dworzec Główny PKP. Rocznie zakłada się, że pojazdy obsługujące linię wykonają łącznie 215 157,5 wzkm. Czas potrzebny do pokonania trasy to 20 minut. Na trasie znajduje się 11 przystanków, z przystankiem początkowymi na pętli autobusowej „RYCERSKA” oraz końcowym na przystanku „Sktłodowskiej-Curie / Łęczycka”. Średnia prędkość eksploatacyjna autobusu na linii nr 67 wynosi 13,2 km/h, średnia prędkość komunikacyjna na trasie wynosi 17,9 km/h. Długość linii wynosi 5,5 km oraz dziennie linię obsługują 3 brygady.

Tabela 10. Przebieg linii komunikacyjnych zaproponowanych do elektryfikacji

Nr Linii	Przebieg Linii
52	DWORZEC LEŚNE - Leśne - Sułkowskiego / Czerkaska - Sułkowskiego / Kamienna UKW - Paderewskiego - 3 Maja / Markwarta - Rondo Jagiellonów - Zbożowy Rynek - Nowy Rynek - Plac Poznański - Szubińska / Piękna - Szubińska / Gnieźnieńska - Szubińska / Żwirki i Wigury - BŁONIE
57	DWORZEC GŁÓWNY - Rycerska - Zaświat / Artyleryjska - Zaświat / Cmentarz - Powst. Warszawy / Skromna - Powst. Warszawy / Szpital Woj. - Czerkaska / Gdańska - Czerkaska / Sułkowskiego - Sułkowskiego / Kamienna - UKW - Rondo Wielkopolskie - Dworzec Autobusowy - Wzgórze Wolności - Rondo Kujawskie - Solskiego / Ugory - Solskiego / Bielicka - Solskiego / Kossaka - Połtyna / Szubińska - Stawowa / 16 Pułku Uł. Włkp. - Stawowa / Władysława IV - Schulza / Stawowa - BŁONIE
60	MORSKA - Bałtycka / Głowackiego - Skłodowskiej-Curie / Bałtycka - Skłodowskiej-Curie / Gajowa - Skłodowskiej-Curie / Jurasza - Rondo Ossolińskich - Plac Weyssenhoffa - Paderewskiego - 3 Maja / Markwarta - Rondo Jagiellonów - Zbożowy Rynek - Nowy Rynek - Plac Poznański - Szubińska / Piękna - Szubińska / Gnieźnieńska - Szubińska / Żwirki i Wigury - BŁONIE
55	MORSKA - Głowackiego / Bałtycka - Głowackiego / Gajowa - Powst. Włkp. / Wyszyńskiego - Powstańców Włkp. / Lelewela - Rondo Wielkopolskie - Rondo Ossolińskich - Jagiellońska / Piotrowskiego - Rondo Jagiellonów - Zbożowy Rynek - Nowy Rynek - Plac Poznański - Piękna / Szubińska - Solskiego / Kossaka - Skorupki / Czackiego - SKORUPKI
67	RYCERSKA - Dworzec Główny - Plac Piastowski - Śniadeckich / Sienkiewicza - Śniadeckich / Gdańska - Markwarta / 3 maja - Rondo Ossolińskich - Skłodowskiej-Curie / Jurasza - Skłodowskiej-Curie / Gajowa - Skłodowskiej-Curie / Bałtycka - SKŁODOWSKIEJ-CURIE / ŁĘCZYCKA

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDMiKP.

3.1. Analiza opcji inwestycyjnych

3.1.1. Wariant „0”

Wariant „0” zakłada zakup pojazdów o napędzie konwencjonalnym lub alternatywnym. Wariant ten oznacza wymianę przestarzałych pojazdów na nowe pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 6. 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 o napędzie konwencjonalnym na życie mieszkańców miejscowości zlokalizowanych wzdłuż dróg uczęszczanych przez te autobusy w takich dziedzinach jak hałas, zanieczyszczenie powietrza, drgania. W przypadku, gdy wariant „0” dotyczy istniejącej infrastruktury, zakłada brak jakichkolwiek modernizacji pojazdów (poza utrzymaniem). Dalsza eksploatacja wymaga wymiany na nowe pojazdy, aby mogły stanowić realną alternatywę dla innych środków transportu. W Mieście Bydgoszcz eksploatuje się tabor o napędzie konwencjonalnym, który w 77% stanowią pojazdy spełniające normy emisji EURO 5, EEV oraz EURO 6. Pojazdy spełniające normę emisji EURO 6 nazywane są pojazdami niskoemisyjnymi, które mają mniejszy wpływ na środowisko. Wielkość emisji wydzielanej z układu wydechowego zależy przede wszystkim od konstrukcji silnika, jego stanu technicznego, charakterystyki układu zasilania itp.

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 zeroemisyjnych 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 posiadają 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. Zasięg pojazdu jest zależny od pojemności baterii. Oznacza to, że wzrost zasięgu wymaga zwiększenia pojemności baterii, co natomiast niesie ze sobą wzrost masy pojazdu i zużycia energii. Łączna pojemność baterii zależy od ilości oraz pojemności modułów zamontowanych w pojeździe. W autobusach umieszcza się moduły na dachu oraz w tylnej komorze pojazdu, każdy moduł o pojemności 20/25 kWh o wadze 240/250 kg. Minimalną sensowną wielkością baterii jaką zalecają producenci są akumulatory o łącznej pojemności 80 kWh. Łączna waga baterii o pojemności 80 kWh wynosi 960 kg. Maksymalna sensowna pojemność baterii wynosi 250 kWh. Waga takiego akumulatora to ponad 2 800 kg.

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 wysokim 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. Głównie ładowarki pantografowe lokalizuje się na pętlach autobusowych w celu szybkiego doładowania akumulatorów. Wyróżniamy 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 pojeździe 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 o napędzie zeroemisyjnym wraz z potrzebną infrastrukturą ładującą do obsługi proponowanych linii komunikacyjnych na terenie Miasta Bydgoszcz oraz gmin, z którymi zostały zawarte porozumienia międzygminne.

Tabela 11. Planowane wprowadzenie inwestycji wariantu „1” dla MZK

Rok inwestycji	Wyszczególnienie	Ilość	Szacunkowy koszt jednostkowy [PLN]	Szacunkowy łączny koszt [PLN]
do 2021	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	6	2 000 000	12 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MEGA	3	2 600 000	7 800 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: ZAJEZDNIA MZK)	3	100 000	300 000
	Ładowarka pantografowa (Lokalizacja: 1x BŁONIE, 1x MORSKA, 1x LEŚNE)	3	500 000	1 500 000
do 2023	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	7	2 000 000	14 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MEGA	1	2 600 000	2 600 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: ZAJEZDNIA MZK)	3	100 000	300 000
	Ładowarka pantografowa (Lokalizacja: 1x BŁONIE, 1x RYCERSKA)	2	500 000	1 000 000
do 2025	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	10	2 000 000	20 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MEGA	6	2 600 000	15 600 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: ZAJEZDNIA MZK)	7	100 000	700 000
	Ładowarka pantografowa (Lokalizacja: ZAJEZDNIA MZK)	1	500 000	500 000
do 2028	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	6	2 000 000	12 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MEGA	10	2 600 000	26 000 000
	Ładowarka plug-in (Lokalizacja: ZAJEZDNIA MZK)	7	100 000	700 000

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 12. Planowane wprowadzenie inwestycji wariantu „1” dla IREX-Trans (Operator zewnętrzny po 2022r.)

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
do 2023	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	2	2 000 000	4 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MEGA	1	2 600 000	2 600 000
do 2025	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	2	2 000 000	4 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MEGA	3	2 600 000	7 800 000
do 2028	Zakup autobusu elektrycznego klasy MAXI	4	2 000 000	8 000 000
	Zakup autobusu elektrycznego klasy MEGA	2	2 600 000	5 200 000

Źródło: Opracowanie własne.

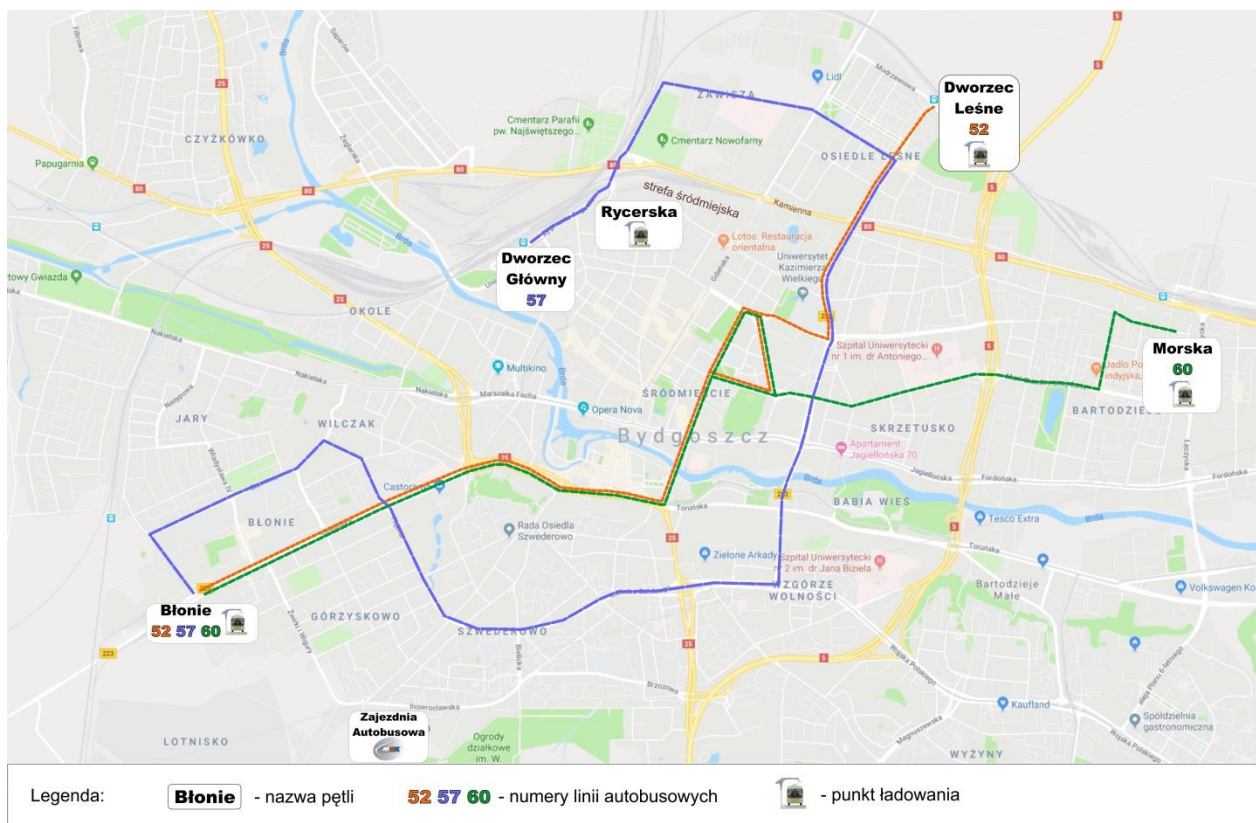
Inwestycja IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po roku 2022) zakłada brak inwestycji w infrastrukturę ładującą ponieważ trasy linii zaproponowanych do elektryfikacji znajdują się nieopodal planowanej lokalizacji infrastruktury ładującej ZDMiKP.

Wariant 1 zakłada zakup 49 autobusów o napędzie zeroemisyjnym MZK oraz 17 pojazdów o napędzie zeroemisyjnym Operatora zewnętrznego . W inwestycji znajdują się pojazdy typu MAXI oraz MEGA ze względu na potrzebę kursowania pojazdów o wysokiej pojemności pasażerskiej. Proponowaną pojemnością akumulatorów jest 240kWh dla autobusów klasy MEGA oraz 160 kWh dla pojazdów klasy MAXI. Takie akumulatory pozwolą na przejazd w zależności od warunków atmosferycznych od 80 do 120 km na jednym ładowaniu. Planowane umiejscowienie ładowarek pantografowych na obszarach miejskich, pozwoli na zwiększenie eksploatacji pojazdów o napędzie zeroemisyjnym. 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 100 kW, w przypadku ładowania dwóch pojazdów w jednym momencie moc ładowarki rozkładana jest równomiernie 2x 50kW. Szacowany koszt zakupu ładowarki typu plug-in to 100 000,00 zł.

Planowanymi ładowarkami pantografowymi zlokalizowanymi na pętlach autobusowych powinny być ładowarki o mocy nie mniejszej niż 190 kW, których moc pozwoli na szybkie doładowanie akumulatorów około 80% akumulatora o pojemności 160 kWh w 49 minut. Szacunkowy koszt ładowarki pantografowej to 500 000,00 zł.

Poniżej przedstawiony został proponowany przebieg linii MZK przeznaczonych do elektryfikacji oraz proponowana lokalizacja infrastruktury ładowania.



Rysunek 3. Proponowana elektryfikacja linii autobusowych obsługiwanych przez MZK
Źródło: Opracowanie ZDMiKP.

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 pożądaną rodzaj energii, najczęściej na energię elektryczną w ogniwach paliwowych. 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 MKZ do 2028 roku powinno posiadać 49 sztuk autobusów o napędzie zeroemisyjnym wraz z infrastrukturą potrzebną do eksploatacji pojazdów oraz Operator zewnętrzny powinien posiadać 17 sztuk pojazdów o napędzie zeroemisyjnym wodorowym.

Technologia pozwalająca na napędzanie pojazdów wodorem jest technologią nową, bardzo zaawansowaną technicznie, a co najważniejsze na chwilę obecną bardzo drogą, w zakupie nawet przyrównując do zakupu pojazdów z napędem elektrycznym. Koszt zakupu autobusu wodorowego oscyluje w okolicach 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 10 zł, Co sprawia że przejazd 100 km autobusem wodorowym będzie kosztował około 80 zł. Proponowana lokalizacja infrastruktury do obsługi pojazdów o napędzie zeroemisyjnym czyli scentralizowana stacja tankowania wodoru (HRS) powinna znajdować się na zajezdni autobusowej. 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 o napędzie konwencjonalnym, które nie spełniają najnowszych norm emisji na pojazdy niskoemisyjne lub 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 o napędzie zeroemisyjnym można zaliczyć:

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

Korzyści środowiskowych z wprowadzenia autobusów o napędzie zeroemisyjnym 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 każdego wariantu pozytywnie wpłynie na środowisko naturalne co będzie prowadziło do poprawy jakości życia mieszkańców Miasta Bydgoszcz. Wycofanie pojazdów zamortyzowanych oraz zastąpienie ich pojazdami niskoemisyjnymi lub zeroemisyjnym pozwoli na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych emitowanych przez transport zbiorowy w centrum miast. Brak wymiany najstarszych pojazdów 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 6. 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.

Zarówno pojazdy o napędzie zeroemisyjnym, jak i o napędzie konwencjonalnym posiadają wady i zalety. Głównymi wadami pojazdów o napędzie konwencjonalnym jest wyższy stopień emisji szkodliwych zanieczyszczeń, niż w przypadku pojazdów o napędzie zeroemisyjnym.

Do głównych zalet pojazdów o napędzie konwencjonalnym należą: nieograniczony zasięg, większa przestrzeń bagażowa, ładowność. Zaletami pojazdów o napędzie zeroemisyjnym są: niska emisja zanieczyszczeń do środowiska, zdecydowanie niższe koszty pokonywania krótkich dystansów niż pojazdów o napędzie konwencjonalnym, mniejsze prawdopodobieństwo awarii konstrukcji, możliwość rekuperacji energii (odzyskiwania energii podczas hamowania), lepszy komfort jazdy ze względu na zmniejszenie hałasu pracy silnika oraz minimalizacja drgań. Głównymi wadami pojazdów elektrycznych są: krótki zasięg pojazdów, przeznaczenie głównie na tereny miejskie, cena zakupu pojazdu, wymagana infrastruktura ładująca, wysoka obecnie cena wymiany akumulatorów, utrata pojemności pasażerskiej ze względu na umiejscowienie baterii.

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. Do kosztów eksploatacji autobusów elektrycznych należy również doliczyć koszt wymiany baterii. Producenci pojazdów elektrycznych podają, że średnio co 7 lat bateria pojazdu elektrycznego będzie wymagała regeneracji lub wymiany. Na poniższej tabeli porównane zostały alternatywne warianty.

Tabela 13. Porównanie alternatywnych wariantów inwestycyjnych

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

Źródło: Opracowanie własne.

Porównując warianty inwestycyjne pod względem ekologicznym można zauważyć, że w przypadku braku wymiany pojazdów zamortyzowanych 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 niskoemisyjnych z napędem konwencjonalnym, jednak z każdym rokiem te ceny powinny się zmniejszać. Najkorzystniejszym wariantem wydają 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. Wymiana pojazdów wykorzystywanych do świadczenia usług komunikacji miejskiej powinna spełniać najniższe normy emisji spalin, które przyczynią się do wspierania przedsięwzięć proekologicznych.

4. WYNIKI

4.1. Analiza finansowo-ekonomiczna, przedstawionych rozwiązań alternatywnych

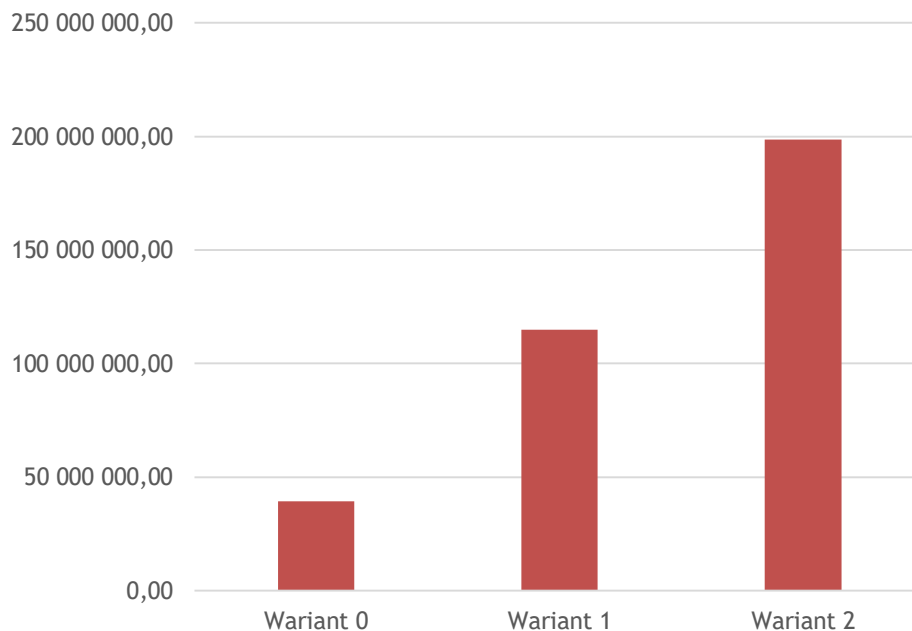
Analizę przedstawiono w modelu różnicowym, tj. zakładającym zmiany poszczególnych parametrów inwestycji (wartości nakładów inwestycyjnych, kosztów bieżącego funkcjonowania taboru) wskazując efekty przyrostowe danych wariantów.

Rozważane są trzy rodzaje inwestycji, w tym:

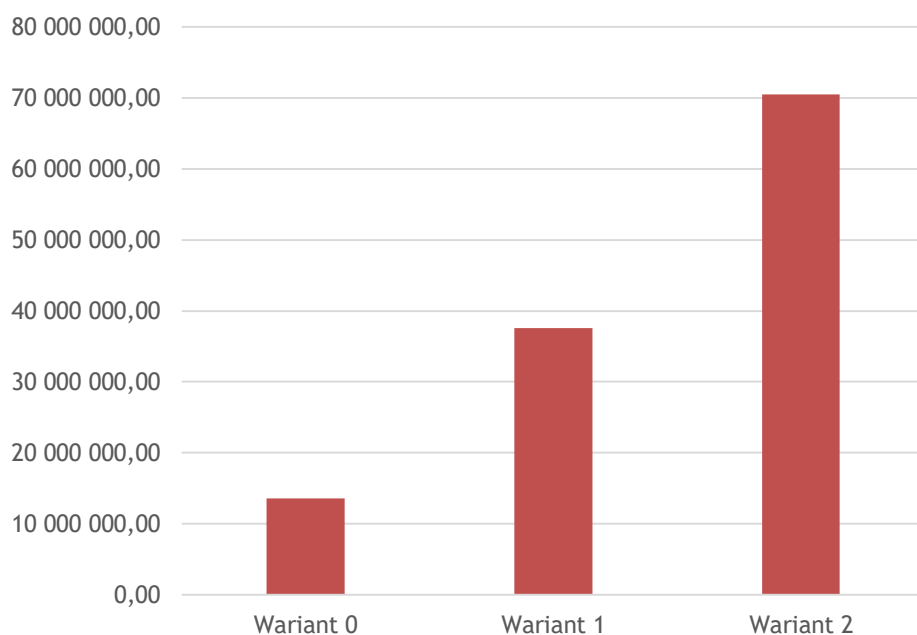
- wariant 0: wymiana taboru na nowy o napędzie konwencjonalnym (diesla),
- wariant 1: wymiana taboru na nowy o napędzie elektrycznym,
- wariant 2: wymiana taboru na nowy o napędzie wodorowym.

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

Na wykresach wskazano wartości dla poszczególnych wariantów.



Wykres 13. Wartość nakładów inwestycyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” [PLN]
Źródło: opracowanie własne.



Wykres 14. Wartość nakładów inwestycyjnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „0”, „1” i „2” [PLN]

Źródło: opracowanie własne.

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

Koszty napraw i konserwacji z uwagi na różnice technologiczne (potwierdzone informacjami od producentów) są odmienne dla każdego rodzaju taboru.

Tabela 14. Wartość wydatków eksploatacyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2021-2025 [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 0	1 208 596,40	1 213 096,40	2 299 904,32	2 308 404,32	4 497 520,15
Paliwo	1 186 096,40	1 186 096,40	2 240 404,32	2 240 404,32	4 349 020,15
Liczba wzkm	648 140,11	648 140,11	1 224 264,65	1 224 264,65	2 376 513,74
Koszt paliwa na wzkm	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Naprawy i konserwacje	22 500,00	27 000,00	59 500,00	68 000,00	148 500,00
Liczba autobusów	9,00	9,00	17,00	17,00	33,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	2 500,00	3 000,00	3 500,00	4 000,00	4 500,00
Wariant 1	515 197,43	515 197,43	973 150,70	973 150,70	1 889 057,23
Koszt energii	506 197,43	506 197,43	956 150,70	956 150,70	1 856 057,23
Liczba wzkm	648 140,11	648 140,11	1 224 264,65	1 224 264,65	2 376 513,74
Koszt energii elektr. na wzkm	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Naprawy i konserwacje	9 000,00	9 000,00	17 000,00	17 000,00	33 000,00
Liczba autobusów	9,00	9,00	17,00	17,00	33,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
Baterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Liczba autobusów	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cena jednostkowa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wariant 2	934 396,16	934 396,16	1 764 970,52	1 764 970,52	3 426 119,24
Koszt energii	907 396,16	907 396,16	1 713 970,52	1 713 970,52	3 327 119,24
Liczba wzkm	648 140,11	648 140,11	1 224 264,65	1 224 264,65	2 376 513,74
Koszt paliwa na wzkm	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Naprawy i konserwacje	27 000,00	27 000,00	51 000,00	51 000,00	99 000,00
Liczba autobusów	9,00	9,00	17,00	17,00	33,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 15. Wartość wydatków eksploatacyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2026-2030 [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 0	4 514 020,15	4 530 520,15	6 751 635,97	6 776 135,97	6 800 635,97
Paliwo	4 349 020,15	4 349 020,15	6 457 635,97	6 457 635,97	6 457 635,97
Liczba wzkm	2 376 513,74	2 376 513,74	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Koszt paliwa na wzkm	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Naprawy i konserwacje	165 000,00	181 500,00	294 000,00	318 500,00	343 000,00
Liczba autobusów	33,00	33,00	49,00	49,00	49,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	5 000,00	5 500,00	6 000,00	6 500,00	7 000,00
Wariant 1	1 889 057,23	1 889 057,23	2 804 963,77	8 204 963,77	2 804 963,77
Koszt energii	1 856 057,23	1 856 057,23	2 755 963,77	2 755 963,77	2 755 963,77
Liczba wzkm	2 376 513,74	2 376 513,74	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Koszt energii elektr. na wzkm	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Naprawy i konserwacje	33 000,00	33 000,00	49 000,00	49 000,00	49 000,00
Liczba autobusów	33,00	33,00	49,00	49,00	49,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
Baterie	0,00	0,00	0,00	5 400 000,00	0,00
Liczba autobusów	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00
Cena jednostkowa	0,00	0,00	0,00	600 000,00	600 000,00
Wariant 2	3 426 119,24	3 426 119,24	5 087 267,96	5 087 267,96	5 087 267,96
Koszt energii	3 327 119,24	3 327 119,24	4 940 267,96	4 940 267,96	4 940 267,96
Liczba wzkm	2 376 513,74	2 376 513,74	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Koszt paliwa na wzkm	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Naprawy i konserwacje	99 000,00	99 000,00	147 000,00	147 000,00	147 000,00
Liczba autobusów	33,00	33,00	49,00	49,00	49,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 16. Wartość wydatków eksploatacyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2031-2035 [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 0	6 825 135,97	6 849 635,97	6 874 135,97	6 898 635,97	6 923 135,97
Paliwo	6 457 635,97	6 457 635,97	6 457 635,97	6 457 635,97	6 457 635,97
Liczba wzkm	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Koszt paliwa na wzkm	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Naprawy i konserwacje	367 500,00	392 000,00	416 500,00	441 000,00	465 500,00
Liczba autobusów	49,00	49,00	49,00	49,00	49,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	7 500,00	8 000,00	8 500,00	9 000,00	9 500,00
Wariant 1	7 604 963,77	2 804 963,77	12 404 963,77	2 804 963,77	2 804 963,77
Koszt energii	2 755 963,77	2 755 963,77	2 755 963,77	2 755 963,77	2 755 963,77
Liczba wzkm	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Koszt energii elektr. na wzkm	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Naprawy i konserwacje	49 000,00	49 000,00	49 000,00	49 000,00	49 000,00
Liczba autobusów	49,00	49,00	49,00	49,00	49,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
Baterie	4 800 000,00	0,00	9 600 000,00	0,00	0,00
Liczba autobusów	8,00	0,00	16,00	0,00	0,00
Cena jednostkowa	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00
Wariant 2	5 087 267,96	5 087 267,96	5 087 267,96	5 087 267,96	5 087 267,96
Koszt energii	4 940 267,96	4 940 267,96	4 940 267,96	4 940 267,96	4 940 267,96
Liczba wzkm	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Koszt paliwa na wzkm	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Naprawy i konserwacje	147 000,00	147 000,00	147 000,00	147 000,00	147 000,00
Liczba autobusów	49,00	49,00	49,00	49,00	49,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 17. Wartość wydatków eksploatacyjnych IREX-Trans (Operatora zewnętrznego po roku 2022) dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2021-2025 [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 0	210 417,59	211 917,59	426 835,17	429 835,17	793 531,15
Paliwo	202 917,59	202 917,59	405 835,17	405 835,17	744 031,15
Liczba wzkm	110 883,93	110 883,93	221 767,85	221 767,85	406 574,40
Koszt paliwa na wzkm	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Naprawy i konserwacje	7 500,00	9 000,00	21 000,00	24 000,00	49 500,00
Liczba autobusów	3,00	3,00	6,00	6,00	11,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	2 500,00	3 000,00	3 500,00	4 000,00	4 500,00
Wariant 1	81 727,59	81 727,59	163 455,18	163 455,18	299 667,82
Koszt energii	78 727,59	78 727,59	157 455,18	157 455,18	288 667,82
Liczba wzkm	110 883,93	110 883,93	221 767,85	221 767,85	406 574,40
Koszt energii elektr. na wzkm	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Naprawy i konserwacje	3 000,00	3 000,00	6 000,00	6 000,00	11 000,00
Liczba autobusów	3,00	3,00	6,00	6,00	11,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
Baterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Liczba autobusów	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cena jednostkowa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wariant 2	164 237,50	164 237,50	328 475,00	328 475,00	602 204,16
Koszt energii	155 237,50	155 237,50	310 475,00	310 475,00	569 204,16
Liczba wzkm	110 883,93	110 883,93	221 767,85	221 767,85	406 574,40
Koszt paliwa na wzkm	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Naprawy i konserwacje	9 000,00	9 000,00	18 000,00	18 000,00	33 000,00
Liczba autobusów	3,00	3,00	6,00	6,00	11,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 18. Wartość wydatków eksploatacyjnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2026-2030 [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 0	799 031,15	804 531,15	1 251 866,33	1 260 366,33	1 268 866,33
Paliwo	744 031,15	744 031,15	1 149 866,33	1 149 866,33	1 149 866,33
Liczba wzkm	406 574,40	406 574,40	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Koszt paliwa na wzkm	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Naprawy i konserwacje	55 000,00	60 500,00	102 000,00	110 500,00	119 000,00
Liczba autobusów	11,00	11,00	17,00	17,00	17,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	5 000,00	5 500,00	6 000,00	6 500,00	7 000,00
Wariant 1	299 667,82	299 667,82	463 123,00	2 263 123,00	463 123,00
Koszt energii	288 667,82	288 667,82	446 123,00	446 123,00	446 123,00
Liczba wzkm	406 574,40	406 574,40	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Koszt energii elektr. na wzkm	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Naprawy i konserwacje	11 000,00	11 000,00	17 000,00	17 000,00	17 000,00
Liczba autobusów	11,00	11,00	17,00	17,00	17,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
Baterie	0,00	0,00	0,00	1 800 000,00	0,00
Liczba autobusów	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Cena jednostkowa	0,00	0,00	0,00	600 000,00	600 000,00
Wariant 2	602 204,16	602 204,16	930 679,16	930 679,16	930 679,16
Koszt energii	569 204,16	569 204,16	879 679,16	879 679,16	879 679,16
Liczba wzkm	406 574,40	406 574,40	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Koszt paliwa na wzkm	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Naprawy i konserwacje	33 000,00	33 000,00	51 000,00	51 000,00	51 000,00
Liczba autobusów	11,00	11,00	17,00	17,00	17,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 19. Wartość wydatków eksploatacyjnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2031-2035 [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 0	1 277 366,33	1 285 866,33	1 294 366,33	1 302 866,33	1 311 366,33
Paliwo	1 149 866,33	1 149 866,33	1 149 866,33	1 149 866,33	1 149 866,33
Liczba wzkm	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Koszt paliwa na wzkm	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Naprawy i konserwacje	127 500,00	136 000,00	144 500,00	153 000,00	161 500,00
Liczba autobusów	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	7 500,00	8 000,00	8 500,00	9 000,00	9 500,00
Wariant 1	2 263 123,00	463 123,00	3 463 123,00	463 123,00	463 123,00
Koszt energii	446 123,00	446 123,00	446 123,00	446 123,00	446 123,00
Liczba wzkm	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Koszt energii elektr. na wzkm	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Naprawy i konserwacje	17 000,00	17 000,00	17 000,00	17 000,00	17 000,00
Liczba autobusów	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00
Baterie	1 800 000,00	0,00	3 000 000,00	0,00	0,00
Liczba autobusów	3,00	0,00	5,00	0,00	0,00
Cena jednostkowa	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00
Wariant 2	930 679,16	930 679,16	930 679,16	930 679,16	930 679,16
Koszt energii	879 679,16	879 679,16	879 679,16	879 679,16	879 679,16
Liczba wzkm	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Koszt paliwa na wzkm	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Naprawy i konserwacje	51 000,00	51 000,00	51 000,00	51 000,00	51 000,00
Liczba autobusów	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00
Koszty napraw i konserwacji na autobus	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00

Źródło: opracowanie własne.

W prognozie założono wzrost kosztów napraw i konserwacji autobusów o napędzie konwencjonalnym zgodnie z danymi pozyskanymi od innych operatorów funkcjonujących w Polsce. Ponadto dynamikę kosztów napraw i konserwacji determinowano wysoką eksploatacją taboru. Koszty autobusów o napędzie zeroemisyjnym pozostają stałe z uwagi na istotnie niższą awaryjność (niemal brak awaryjności) potwierdzoną wywiadami przeprowadzonymi z producentami.

Tabela 20. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych MZK dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2021-2025 [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Analiza finansowa - model różnicowy					
Wydatki inwestycyjne					
Wariant 1	14 400 000,00	0,00	11 500 000,00	0,00	24 000 000,00
Wariant 2	28 800 000,00	0,00	28 100 000,00	0,00	51 200 000,00
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 1	-693 398,98	-697 898,98	-1 326 753,62	-1 335 253,62	-2 608 462,91
Wariant 2	-274 200,25	-278 700,25	-534 933,80	-543 433,80	-1 071 400,91
Przepływy pieniężne					
Wariant 1	-13 706 601,02	697 898,98	-10 173 246,38	1 335 253,62	-21 391 537,09
Wariant 2	-28 525 799,75	278 700,25	-27 565 066,20	543 433,80	-50 128 599,09

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 21. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych MZK dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2026-2030 [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Analiza finansowa - model różnicowy					
Wydatki inwestycyjne					
Wariant 1	0,00	0,00	25 900 000,00	0,00	0,00
Wariant 2	0,00	0,00	51 200 000,00	0,00	0,00
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 1	-2 624 962,91	-2 641 462,91	-3 946 672,21	1 428 827,79	-3 995 672,21
Wariant 2	-1 087 900,91	-1 104 400,91	-1 664 368,02	-1 688 868,02	-1 713 368,02
Przepływy pieniężne					
Wariant 1	2 624 962,91	2 641 462,91	-21 953 327,79	-1 428 827,79	3 995 672,21
Wariant 2	1 087 900,91	1 104 400,91	-49 535 631,98	1 688 868,02	1 713 368,02

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 22. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych MZK dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2031-2035 [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Analiza finansowa - model różnicowy					
Wydatki inwestycyjne					
Wariant 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wariant 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 1	779 827,79	-4 044 672,21	5 530 827,79	-4 093 672,21	-4 118 172,21
Wariant 2	-1 737 868,02	-1 762 368,02	-1 786 868,02	-1 811 368,02	-1 835 868,02
Przepływy pieniężne					
Wariant 1	-779 827,79	4 044 672,21	-5 530 827,79	4 093 672,21	4 118 172,21
Wariant 2	1 737 868,02	1 762 368,02	1 786 868,02	1 811 368,02	1 835 868,02

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 23. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych IREX-Trans, (Operatora zewnętrznego po 2022r.) dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2021-2025 [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Analiza finansowa - model różnicowy					
Wydatki inwestycyjne					
Wariant 1	3 600 000,00	0,00	4 200 000,00	0,00	7 800 000,00
Wariant 2	9 600 000,00	0,00	12 100 000,00	0,00	16 000 000,00
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 1	-128 690,00	-130 190,00	-263 380,00	-266 380,00	-493 863,33
Wariant 2	-46 180,09	-47 680,09	-98 360,18	-101 360,18	-191 326,99
Przepływy pieniężne					
Wariant 1	-3 471 310,00	130 190,00	-3 936 620,00	266 380,00	-7 306 136,67
Wariant 2	-9 553 819,91	47 680,09	-12 001 639,82	101 360,18	-15 808 673,01

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 24. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2026-2030 [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Analiza finansowa - model różnicowy					
Wydatki inwestycyjne					
Wariant 1	0,00	0,00	8 400 000,00	0,00	0,00
Wariant 2	0,00	0,00	19 200 000,00	0,00	0,00
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 1	-499 363,33	-504 863,33	-788 743,33	1 002 756,67	-805 743,33
Wariant 2	-196 826,99	-202 326,99	-321 187,17	-329 687,17	-338 187,17
Przepływy pieniężne					
Wariant 1	499 363,33	504 863,33	-7 611 256,67	-1 002 756,67	805 743,33
Wariant 2	196 826,99	202 326,99	-18 878 812,83	329 687,17	338 187,17

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 25. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2031-2035 [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Analiza finansowa - model różnicowy					
Wydatki inwestycyjne					
Wariant 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wariant 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wydatki eksploatacyjne					
Wariant 1	985 756,67	-822 743,33	2 168 756,67	-839 743,33	-848 243,33
Wariant 2	-346 687,17	-355 187,17	-363 687,17	-372 187,17	-380 687,17
Przepływy pieniężne					
Wariant 1	-985 756,67	822 743,33	-2 168 756,67	839 743,33	848 243,33
Wariant 2	346 687,17	355 187,17	363 687,17	372 187,17	380 687,17

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 26. Ocena efektywności inwestycji MZK [PLN]

Wyszczególnienie	
NPV	
Wariant 1	-41 544 117,31
Wariant 2	-110 204 909,66
IRR	
Wariant 1	Nieemożliwe do obliczenia
Wariant 2	Nieemożliwe do obliczenia

Źródło: opracowanie własne.

Z punktu widzenia oceny finansowej projektu, inwestycja w każdym z wariantów jest nieopłacalna ($NPV < 0$). Stopy IRR okazały się niemożliwe do obliczenia.

Tabela 27. Ocena efektywności inwestycji IREX-Trans, (Operatora zewnętrznego) [PLN]

Wyszczególnienie	
NPV	
Wariant 1	-16 559 586,42
Wariant 2	-41 283 287,32
IRR	
Wariant 1	Nieemożliwe do obliczenia
Wariant 2	Nieemożliwe do obliczenia

Źródło: opracowanie własne.

Z punktu widzenia oceny finansowej projektu, inwestycja w każdym z wariantów jest nieopłacalna ($NPV < 0$). Stopy IRR okazały się niemożliwe do obliczenia.

4.2. Analiza ekonomiczno-społeczna

Szczególnie niekorzystnym oddziaływaniem systemów transportowych na otoczenie jest generowanie kosztów zewnętrznych, ponoszonych głównie przez otoczenie systemów, a nie przez operatorów transportu i ich użytkowników. Przy definiowaniu kosztów zewnętrznych należy odróżnić:

- koszty społeczne obejmujące wszystkie koszty związane z opłatami oraz użytkowaniem infrastruktury transportu, takimi jak zużycie infrastruktury (ścieranie, inne zużycie),
- koszty kapitału zamrożonego w infrastrukturze,
- koszty kongestii transportowej,
- koszty wypadków,
- koszty degradacji środowiska,
- koszty (wewnętrzne) użytkownika, które on ponosi bezpośrednio, takie jak koszty zużycia energii i pojazdu, wszelkie opłaty i podatki,
- koszt czasu własnego,
- koszty hałasu.

4.2.1. Koszty społeczne emisji gazów cieplarnianych (CO₂)

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. Zanotowano przekroczenia 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 średnią, 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.

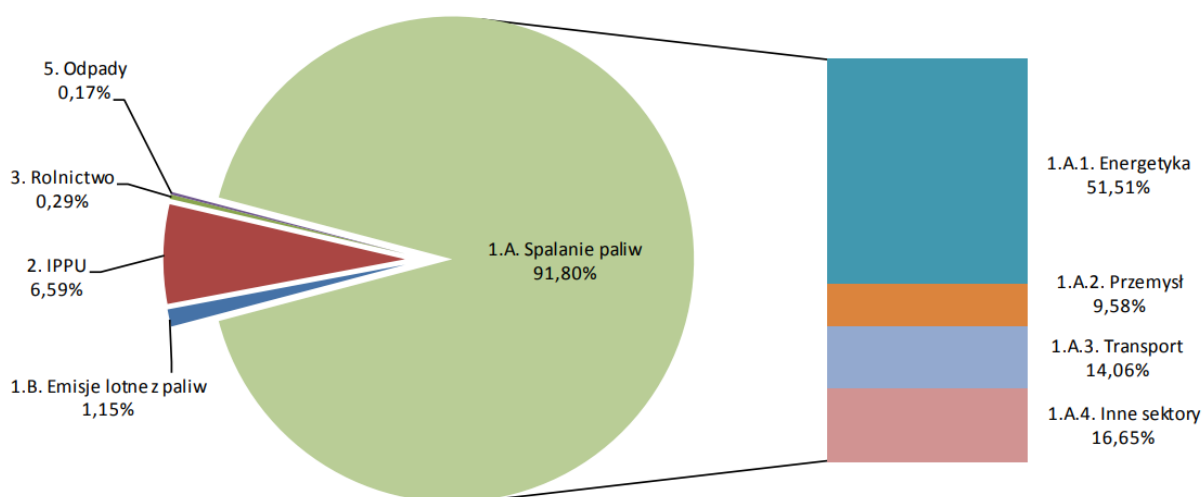
Oddziaływania zanieczyszczenia powietrza dla wariantu bezinwestycyjnego i dla wszystkich inwestycyjnych to spójne oddziaływania generowane przez środki transportu publicznego na obszarze określonym w dokumencie. Na takie koszty składają się przede wszystkim:

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

Pył zawieszony, zarówno PM10 jak i PM2,5, jest mieszaniną bardzo drobnych cząstek stałych i ciekłych, które mogą pochodzić z emisji bezpośredniej (pył pierwotny) lub też powstają 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 dużej odległości gazów (SO₂, NO_x, NH₃, i lotnych związków organicznych) oraz reemisja tj. unoszenie pyłu z podłoża (szczególnie na terenie miast). Analizując udział frakcji pyłu zawieszonego PM2,5 w pyłe zawieszonym PM10 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 CO₂

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 CO₂, wg aktualnie dostępnych danych (raport KOBIZE opublikowany w 2016 roku dla lat 1988-2014) przedstawia poniższy wykres.



Rysunek 4. 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 CO₂ z procesu spalania paliw).

Tabela 28. Emisje CO₂ 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
Inne 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 CO₂ 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 CO₂ 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 natywnie 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 CO₂ 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 niewydzielaniem szkodliwych substancji do środowiska w miejscu realizacji usług, w tym emisji CO₂ 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 CO₂ 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 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 paliw,
- 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 i stopnia nachylenia drogi. 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, a autobusem o napędzie zeroemisyjnym przy bardzo niekorzystnych warunkach przejedziemy ok. 40 km. W przypadku korzystnych warunków dystans ten wydłuża się nawet dwukrotnie.

4.3. Wariantowa analiza społeczno-ekonomiczna wraz z wyceną kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji

Oszacowane efekty środowiskowe w jednostkach naturalnych wskazano w tabelach.

Tabela 29. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych MZK dla wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Efekty środowiskowe					
Wariant 1					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	581,90	581,90	1 099,14	1 099,14	2 133,63
Liczba wzk	648 140,11	648 140,11	1 224 264,65	1 224 264,65	2 376 513,74
Zużycie paliwa [l]	217 126,94	217 126,94	410 128,66	410 128,66	796 132,10
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	581 900,19	581 900,19	1 099 144,81	1 099 144,81	2 133 634,04
Emisja CO2 [t]	581,90	581,90	1 099,14	1 099,14	2 133,63
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	1,43	1,43	2,69	2,69	5,23
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzk	648 140,11	648 140,11	1 224 264,65	1 224 264,65	2 376 513,74
Wariant 2					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	581,90	581,90	1 099,14	1 099,14	2 133,63
Liczba wzk	648 140,11	648 140,11	1 224 264,65	1 224 264,65	2 376 513,74
Zużycie paliwa [l]	217 126,94	217 126,94	410 128,66	410 128,66	796 132,10
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	581 900,19	581 900,19	1 099 144,81	1 099 144,81	2 133 634,04
Emisja CO2 [t]	581,90	581,90	1 099,14	1 099,14	2 133,63
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	0,00	1,43	2,69	2,69	5,23
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzk	648 140,11	648 140,11	1 224 264,65	1 224 264,65	2 376 513,74

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 30. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych MZK dla wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Efekty środowiskowe					
Wariant 1					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	2 133,63	2 133,63	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Liczba wzk	2 376 513,74	2 376 513,74	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Zużycie paliwa [l]	796 132,10	796 132,10	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	2 133 634,04	2 133 634,04	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27
Emisja CO2 [t]	2 133,63	2 133,63	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	5,23	5,23	7,76	7,76	7,76
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzk	2 376 513,74	2 376 513,74	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Wariant 2					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	2 133,63	2 133,63	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Liczba wzk	2 376 513,74	2 376 513,74	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Zużycie paliwa [l]	796 132,10	796 132,10	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	2 133 634,04	2 133 634,04	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27
Emisja CO2 [t]	2 133,63	2 133,63	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	5,23	5,23	7,76	7,76	7,76
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzk	2 376 513,74	2 376 513,74	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 31. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych MZK dla wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Efekty środowiskowe					
Wariant 1					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Liczba wzkm	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Zużycie paliwa [l]	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27
Emisja CO2 [t]	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzkm	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Wariant 2					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Liczba wzkm	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83
Zużycie paliwa [l]	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55	1 182 135,55
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27	3 168 123,27
Emisja CO2 [t]	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzkm	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83	3 528 762,83

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 32. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych IREX-Trans , (Operatora zewnętrznego po 2022r.) dla wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Efekty środowiskowe					
Wariant 1					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	99,55	99,55	199,10	199,10	365,02
Liczba wzkm	110 883,93	110 883,93	221 767,85	221 767,85	406 574,40
Zużycie paliwa [l]	37 146,12	37 146,12	74 292,23	74 292,23	136 202,42
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	99 551,59	99 551,59	199 103,18	199 103,18	365 022,50
Emisja CO2 [t]	99,55	99,55	199,10	199,10	365,02
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	0,24	0,24	0,49	0,49	0,89
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzkm	110 883,93	110 883,93	221 767,85	221 767,85	406 574,40
Wariant 2					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	99,55	99,55	199,10	199,10	365,02
Liczba wzkm	110 883,93	110 883,93	221 767,85	221 767,85	406 574,40
Zużycie paliwa [l]	37 146,12	37 146,12	74 292,23	74 292,23	136 202,42
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	99 551,59	99 551,59	199 103,18	199 103,18	365 022,50
Emisja CO2 [t]	99,55	99,55	199,10	199,10	365,02
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	0,00	0,24	0,49	0,49	0,89
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzkm	110 883,93	110 883,93	221 767,85	221 767,85	406 574,40

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 33. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Efekty środowiskowe					
Wariant 1					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	365,02	365,02	564,13	564,13	564,13
Liczba wzm	406 574,40	406 574,40	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Zużycie paliwa [l]	136 202,42	136 202,42	210 494,66	210 494,66	210 494,66
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	365 022,50	365 022,50	564 125,68	564 125,68	564 125,68
Emisja CO2 [t]	365,02	365,02	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	0,89	0,89	1,38	1,38	1,38
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzm	406 574,40	406 574,40	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Wariant 2					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	365,02	365,02	564,13	564,13	564,13
Liczba wzm	406 574,40	406 574,40	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Zużycie paliwa [l]	136 202,42	136 202,42	210 494,66	210 494,66	210 494,66
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	365 022,50	365 022,50	564 125,68	564 125,68	564 125,68
Emisja CO2 [t]	365,02	365,02	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	0,89	0,89	1,38	1,38	1,38
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzm	406 574,40	406 574,40	628 342,25	628 342,25	628 342,25

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 34. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Efekty środowiskowe					
Wariant 1					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	564,13	564,13	564,13	564,13	564,13
Liczba wzkm	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Zużycie paliwa [l]	210 494,66	210 494,66	210 494,66	210 494,66	210 494,66
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	564 125,68	564 125,68	564 125,68	564 125,68	564 125,68
Emisja CO2 [t]	564,13	564,13	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzkm	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Wariant 2					
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - CO2 [t]	564,13	564,13	564,13	564,13	564,13
Liczba wzkm	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25
Zużycie paliwa [l]	210 494,66	210 494,66	210 494,66	210 494,66	210 494,66
Emisja CO2 [kg/litr]	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Emisja CO2 [kg]	564 125,68	564 125,68	564 125,68	564 125,68	564 125,68
Emisja CO2 [t]	564,13	564,13	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń - niższe warstwy [t]	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
NOx g/km	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Liczba wzkm	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25	628 342,25

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 35. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025 - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Monetyzacja efektów środowiskowych					
Wariant 1	211 084,00	213 987,24	415 915,47	427 681,47	853 131,78
Ograniczenie emisji CO2	104 465,22	107 367,04	208 285,60	213 766,80	425 599,06
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	179,52	184,51	189,50	194,48	199,47
Ograniczenie emisji CO2 [t]	581,90	581,90	1 099,14	1 099,14	2 133,63
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	106 618,78	106 620,21	207 629,87	213 914,67	427 532,72
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	74 772,54	74 773,54	77 088,90	79 422,32	81 772,32
Ograniczenie emisji NOx [t]	1,43	1,43	2,69	2,69	5,23
Wariant 2	104 465,22	213 987,24	415 915,47	427 681,47	853 131,78
Ograniczenie emisji CO2	104 465,22	107 367,04	208 285,60	213 766,80	425 599,06
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	179,52	184,51	189,50	194,48	199,47
Ograniczenie emisji CO2 [t]	581,90	581,90	1 099,14	1 099,14	2 133,63
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	0,00	106 620,21	207 629,87	213 914,67	427 532,72
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	74 773,54	74 773,54	77 088,90	79 422,32	81 772,32
Ograniczenie emisji NOx [t]	0,00	1,43	2,69	2,69	5,23

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 36. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030 - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Monetyzacja efektów środowiskowych					
Wariant 1	875 107,68	897 095,51	1 365 234,28	1 398 422,09	1 431 592,19
Ograniczenie emisji CO2	436 239,04	446 879,01	679 346,38	695 145,13	710 943,89
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	204,46	209,45	214,43	219,42	224,41
Ograniczenie emisji CO2 [t]	2 133,63	2 133,63	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	438 868,64	450 216,49	685 887,90	703 276,95	720 648,31
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]	5,23	5,23	7,76	7,76	7,76
Wariant 2	875 107,68	897 095,51	1 365 234,28	1 398 422,09	1 431 592,19
Ograniczenie emisji CO2	436 239,04	446 879,01	679 346,38	695 145,13	710 943,89
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	204,46	209,45	214,43	219,42	224,41
Ograniczenie emisji CO2 [t]	2 133,63	2 133,63	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	438 868,64	450 216,49	685 887,90	703 276,95	720 648,31
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]	5,23	5,23	7,76	7,76	7,76

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 37. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035 - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Monetyzacja efektów środowiskowych					
Wariant 1	1 465 298,80	1 498 965,27	1 498 965,27	1 498 965,27	1 498 965,27
Ograniczenie emisji CO2	726 742,64	742 541,39	742 541,39	742 541,39	742 541,39
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	229,39	234,38	234,38	234,38	234,38
Ograniczenie emisji CO2 [t]	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	738 556,16	756 423,88	756 423,88	756 423,88	756 423,88
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]	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76
Wariant 2	1 465 298,80	1 498 965,27	1 498 965,27	1 498 965,27	1 498 965,27
Ograniczenie emisji CO2	726 742,64	742 541,39	742 541,39	742 541,39	742 541,39
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	229,39	234,38	234,38	234,38	234,38
Ograniczenie emisji CO2 [t]	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12	3 168,12
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	738 556,16	756 423,88	756 423,88	756 423,88	756 423,88
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]	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 38. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025 - IREX-Trans, (Operatora zewnętrznego po 2022r.) [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Monetyzacja efektów środowiskowych					
Wariant 1	36 112,29	36 608,98	75 340,48	77 471,81	145 953,94
Ograniczenie emisji CO2	17 871,93	18 368,37	37 729,63	38 722,51	72 811,56
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	179,52	184,51	189,50	194,48	199,47
Ograniczenie emisji CO2 [t]	99,55	99,55	199,10	199,10	365,02
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	18 240,36	18 240,60	37 610,85	38 749,30	73 142,37
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	74 772,54	74 773,54	77 088,90	79 422,32	81 772,32
Ograniczenie emisji NOx [t]	0,24	0,24	0,49	0,49	0,89
Wariant 2	17 871,93	36 608,98	75 340,48	77 471,81	145 953,94
Ograniczenie emisji CO2	17 871,93	18 368,37	37 729,63	38 722,51	72 811,56
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	179,52	184,51	189,50	194,48	199,47
Ograniczenie emisji CO2 [t]	99,55	99,55	199,10	199,10	365,02
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	0,00	18 240,60	37 610,85	38 749,30	73 142,37
Wartość emisji zanieczyszczeń [PLN/t Nox]	74 773,54	74 773,54	77 088,90	79 422,32	81 772,32
Ograniczenie emisji NOx [t]	0,00	0,24	0,49	0,49	0,89

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 39. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030 - Operator zewnętrzny [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Monetyzacja efektów środowiskowych					
Wariant 1	149 713,58	153 475,26	243 097,77	249 007,30	254 913,67
Ograniczenie emisji CO2	74 631,85	76 452,14	120 966,49	123 779,66	126 592,83
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	204,46	209,45	214,43	219,42	224,41
Ograniczenie emisji CO2 [t]	365,02	365,02	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	75 081,73	77 023,12	122 131,29	125 227,64	128 320,83
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]	0,89	0,89	1,38	1,38	1,38
Wariant 2	149 713,58	153 475,26	243 097,77	249 007,30	254 913,67
Ograniczenie emisji CO2	74 631,85	76 452,14	120 966,49	123 779,66	126 592,83
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	204,46	209,45	214,43	219,42	224,41
Ograniczenie emisji CO2 [t]	365,02	365,02	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	75 081,73	77 023,12	122 131,29	125 227,64	128 320,83
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]	0,89	0,89	1,38	1,38	1,38

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 40. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035 - Operator zewnętrzny [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Monetyzacja efektów środowiskowych					
Wariant 1	260 915,57	266 910,32	266 910,32	266 910,32	266 910,32
Ograniczenie emisji CO2	129 406,01	132 219,18	132 219,18	132 219,18	132 219,18
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	229,39	234,38	234,38	234,38	234,38
Ograniczenie emisji CO2 [t]	564,13	564,13	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	131 509,56	134 691,14	134 691,14	134 691,14	134 691,14
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]	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Wariant 2	260 915,57	266 910,32	266 910,32	266 910,32	266 910,32
Ograniczenie emisji CO2	129 406,01	132 219,18	132 219,18	132 219,18	132 219,18
Wartość emisji gazów cieplarnianych [PLN/t CO2]	229,39	234,38	234,38	234,38	234,38
Ograniczenie emisji CO2 [t]	564,13	564,13	564,13	564,13	564,13
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń-niższe warstwy	131 509,56	134 691,14	134 691,14	134 691,14	134 691,14
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]	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 41. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Przepływy pieniężne skumulowane					
Wariant 1	-13 495 517,02	911 886,22	-9 757 330,91	1 762 935,09	-20 538 405,31
Wariant 2	-28 421 334,53	492 687,49	-27 149 150,73	971 115,27	-49 275 467,31

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 42. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Przepływy pieniężne skumulowane					
Wariant 1	3 500 070,60	3 538 558,42	-20 588 093,51	-30 405,71	5 427 264,40
Wariant 2	1 963 008,59	2 001 496,42	-48 170 397,70	3 087 290,10	3 144 960,21

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 43. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Przepływy pieniężne skumulowane					
Wariant 1	685 471,01	5 543 637,47	-4 031 862,53	5 592 637,47	5 617 137,47
Wariant 2	3 203 166,82	3 261 333,28	3 285 833,28	3 310 333,28	3 334 833,28

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 44. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Przepływy pieniężne skumulowane					
Wariant 1	-3 435 197,71	166 798,97	-3 861 279,53	343 851,81	-7 160 182,73
Wariant 2	-9 535 947,98	84 289,06	-11 926 299,35	178 831,99	-15 662 719,07

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 45. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Przepływy pieniężne skumulowane					
Wariant 1	649 076,91	658 338,59	-7 368 158,90	-753 749,38	1 060 656,99
Wariant 2	346 540,57	355 802,25	-18 635 715,06	578 694,46	593 100,83

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 46. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Przepływy pieniężne skumulowane					
Wariant 1	-724 841,11	1 089 653,65	-1 901 846,35	1 106 653,65	1 115 153,65
Wariant 2	607 602,74	622 097,49	630 597,49	639 097,49	647 597,49

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 47. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	
NPV	
Wariant 1	-31 703 005,87
Wariant 2	-100 458 581,93
IRR	
Wariant 1	Nieвозмоliwe do obliczenia
Wariant 2	Nieвозмоliwe do obliczenia

Źródło: opracowanie własne.

Dla wariantu „1” określono wartość NPV na poziomie -31 703 005,87 PLN. Dla wariantu „2” określono wartość NPV na poziomie -100 458 581,93 PLN. Oznacza to, że inwestycji nie należy realizować z uwagi na nieopłacalność.

Tabela 48. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]

Wyszczególnienie	
NPV	
Wariant 1	-14 821 134,72
Wariant 2	-39 561 051,23
IRR	
Wariant 1	Nieвозмоliwe do obliczenia
Wariant 2	Nieвозмоliwe do obliczenia

Źródło: opracowanie własne.

Dla wariantu „1” określono wartość NPV na poziomie -14 821 134,72 PLN. Dla wariantu „2” określono wartość NPV na poziomie -39 561 051,23 PLN. Oznacza to, że inwestycji nie należy realizować z uwagi na nieopłacalność.

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

Tabela 49. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	-1 255 517,02	911 886,22	17 669,09	1 762 935,09	-138 405,31
Wariant 2	-3 941 334,53	492 687,49	-3 264 150,73	971 115,27	-5 755 467,31

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 50. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	3 500 070,60	3 538 558,42	1 426 906,49	-30 405,71	5 427 264,40
Wariant 2	1 963 008,59	2 001 496,42	-4 650 397,70	3 087 290,10	3 144 960,21

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 51. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	685 471,01	5 543 637,47	-4 031 862,53	5 592 637,47	5 617 137,47
Wariant 2	3 203 166,82	3 261 333,28	3 285 833,28	3 310 333,28	3 334 833,28

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 52. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]

Wyszczególnienie	2021	2022	2023	2024	2025
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	-375 197,71	166 798,97	-291 279,53	343 851,81	-530 182,73
Wariant 2	-1 375 947,98	84 289,06	-1 641 299,35	178 831,99	-2 062 719,07

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 53. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN]

Wyszczególnienie	2026	2027	2028	2029	2030
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	649 076,91	658 338,59	-228 158,90	-753 749,38	1 060 656,99
Wariant 2	346 540,57	355 802,25	-2 315 715,06	578 694,46	593 100,83

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 54. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN]

Wyszczególnienie	2031	2032	2033	2034	2035
Przepływy pieniężne skumulowane - wariant z dotacją					
Wariant 1	-724 841,11	1 089 653,65	-1 901 846,35	1 106 653,65	1 115 153,65
Wariant 2	607 602,74	622 097,49	630 597,49	639 097,49	647 597,49

Źródło: opracowanie własne.

Wartość wskaźników efektywności finansowej wskazano w tabeli.

Tabela 55. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” z wykorzystaniem dotacji zewnętrznych - MZK [PLN]

Wyszczególnienie	
NPV (wariant z dotacją)	
Wariant 1	17 587 515,59
Wariant 2	3 407 953,73
IRR (wariant z dotacją)	
Wariant 1	75,03%
Wariant 2	7,90%

Źródło: opracowanie własne.

Dla wariantu „1” określono wartość NPV na poziomie 17 587 515,59 PLN i stopie zwrotu IRR równej 75,03%. Oznacza to, że inwestycję można przyjąć do realizacji.

Dla wariantu „2” określono wartość NPV na poziomie 3 407 953,73 PLN i stopie zwrotu IRR równej 7,90%. Oznacza to, że inwestycję można przyjąć do realizacji, ale należy potraktować jako mniej opłacalną.

Tabela 56. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” z wykorzystaniem dotacji zewnętrznych - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]

Wyszczególnienie	
NPV (wariant z dotacją)	
Wariant 1	695 257,17
Wariant 2	-2 493 231,16
IRR (wariant z dotacją)	
Wariant 1	18,12%
Wariant 2	-5,26%

Źródło: opracowanie własne.

Dla wariantu „1” określono wartość NPV na poziomie 695 257,17 PLN i stopie zwrotu IRR równej 18,12%. Oznacza to, że inwestycję można przyjąć do realizacji.

Dla wariantu „2” określono wartość NPV na poziomie -2 493 231,16 PLN i stopie zwrotu IRR równej -5,26%. Oznacza to, że inwestycję należy potraktować jako nieopłacalną.

Minimalny poziom dofinansowania ze środków zewnętrznych dla przedmiotowej inwestycji, który powoduje jej opłacalność, wynosi 81,2%.

5. ANALIZA RYZYKA

5.1. Czynniki ryzyka w projekcie

Tabela 57. Czynniki ryzyka w projekcie

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

Źródło: opracowanie własne.

5.2. Matryca ryzyka

Tabela 58. 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 59. 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.

6. WNIOSKI I REKOMENDACJE

Przeprowadzona Analiza kosztów i korzyści wykorzystania autobusów zeroemisyjnych do świadczenia usług komunikacji miejskiej na obszarze Bydgoszczy i gmin ościennych dla których Miasto Bydgoszcz jest organizatorem publicznego transportu zbiorowego - na mocy zawartych porozumień międzygminnych wskazała na następujące wnioski i zalecenia:

1. Zaprezentowane warianty inwestycyjne, bez zewnętrznego dofinansowania, przekładają się na wzrost kosztów funkcjonowania transportu publicznego (wyższa amortyzacja taboru z uwagi na wyższe ceny zakupu), a w konsekwencji wzrost cen biletów komunikacji publicznej. Koszt może być istotnie zmniejszony poprzez otrzymanie dotacji. Realizacja przedstawionych inwestycji (tabor o napędzie zeroemisyjnym) z założeniem dofinansowania zewnętrznego przełoży się na możliwość utrzymania obecnych standardów jakościowych i taryfowych,
2. 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 o napędzie zeroemisyjnym,
3. Wynik analizy nie wskazuje na konieczność wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie zeroemisyjnym,
4. Otrzymanie dofinansowania w wysokości minimum 81,2% spowoduje obniżenie kosztów inwestycji i tym samym przyczyni się do opłacalności inwestycji w tabor o napędzie zeroemisyjnym,
5. Struktura wielkościowa taboru nie powinna ulec znaczącym zmianom. Nowe pojazdy zeroemisyjne powinny zastąpić najbardziej wyeksploatowane autobusy o napędzie konwencjonalnym, gwarantując wciąż dopasowanie wielkości pojazdów do popytu efektywnego na przewozy w komunikacji miejskiej,
6. Wymiana pojazdów wykorzystywanych do świadczenia usług komunikacji miejskiej powinna spełniać najniższe normy emisji spalin, które przyczynią się do wspierania przedsięwzięć proekologicznych,
7. Należy zauważyć, że jeżeli wynik wskaże na brak korzyści wykorzystywania autobusów o napędzie zeroemisyjnym, wówczas organizator zgodnie z przepisem art. 37 ust. 5 ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych nie będzie zobowiązany do zrealizowania poziomu liczby taboru o napędzie zeroemisyjnym określonym w ustawie.

SPIS TABEL

Tabela 1. Przebieg linii komunikacyjnych obsługiwanych przez MZK oraz IREX-Trans	12
Tabela 2. Wiek taboru operatorów	14
Tabela 3. Harmonogram planowanych inwestycji taborowych przy otrzymaniu dofinansowania	20
Tabela 4. Harmonogram planowanych inwestycji taborowych bez dofinansowania	21
Tabela 5. Wykaz wykonanych wzmk przez MZK oraz IREX-Trans w 2017r.	23
Tabela 6. Prędkości komunikacyjne i eksploatacyjne na liniach autobusowych w 2017r.	26
Tabela 7. Szacowana roczna emisja spalin eksploatowanego taboru MZK.....	28
Tabela 8. Szacowana roczna emisja spalin eksploatowanego taboru IREX-Trans.....	29
Tabela 9. Wymagana liczba pojazdów o napędzie zeroemisyjnym	41
Tabela 10. Przebieg linii komunikacyjnych zaproponowanych do elektryfikacji.....	43
Tabela 11. Planowane wprowadzenie inwestycji wariantu „1” dla MZK.....	46
Tabela 12. Planowane wprowadzenie inwestycji wariantu „1” dla IREX-Trans (Operator zewnętrzny po 2022r.)	46
Tabela 13. Porównanie alternatywnych wariantów inwestycyjnych.....	51
Tabela 14. Wartość wydatków eksploatacyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2021-2025 [PLN]	55
Tabela 15. Wartość wydatków eksploatacyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2026-2030 [PLN]	56
Tabela 16. Wartość wydatków eksploatacyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2031-2035 [PLN]	57
Tabela 17. Wartość wydatków eksploatacyjnych IREX-Trans (Operatora zewnętrznego po roku 2022) dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2021-2025 [PLN]	58
Tabela 18. Wartość wydatków eksploatacyjnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2026-2030 [PLN].....	59
Tabela 19. Wartość wydatków eksploatacyjnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „0”, „1” i „2” w latach 2031-2035 [PLN].....	60
Tabela 20. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych MZK dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2021-2025 [PLN].....	61
Tabela 21. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych MZK dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2026-2030 [PLN].....	61
Tabela 22. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych MZK dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2031-2035 [PLN].....	62
Tabela 23. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych IREX-Trans, (Operatora zewnętrznego po 2022r.) dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2021-2025 [PLN].....	62
Tabela 24. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2026-2030 [PLN]	63
Tabela 25. Wartość nakładów inwestycyjnych, nakładów eksploatacyjnych i przepływów pieniężnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” (model różnicowy) w latach 2031-2035 [PLN]	63
Tabela 26. Ocena efektywności inwestycji MZK [PLN]	64
Tabela 27. Ocena efektywności inwestycji IREX-Trans, (Operatora zewnętrznego) [PLN] ...	64

Tabela 28. Emisje CO ₂ pochodzące ze spalania paliw - struktura sektorowa, lata 1990-2009	67
Tabela 29. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych MZK dla wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025	72
Tabela 30. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych MZK dla wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030	73
Tabela 31. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych MZK dla wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035	74
Tabela 32. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych IREX-Trans , (Operatora zewnętrznego po 2022r.) dla wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025.....	75
Tabela 33. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030.....	76
Tabela 34. Wartość (w jedn. naturalnych) efektów środowiskowych Operatora zewnętrznego dla wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035.....	77
Tabela 35. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025 - MZK [PLN]	78
Tabela 36. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030 - MZK [PLN].....	78
Tabela 37. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035 - MZK [PLN].....	79
Tabela 38. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2021-2025 - IREX-Trans, (Operatora zewnętrznego po 2022r.) [PLN]	79
Tabela 39. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2026-2030 - Operator zewnętrzny [PLN]	80
Tabela 40. Wartość zmonetyzowanych efektów środowiskowych wariantu „1” i „2” w latach 2031-2035 - Operator zewnętrzny [PLN]	80
Tabela 41. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN].....	81
Tabela 42. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN].....	81
Tabela 43. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN].....	81
Tabela 44. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]	81
Tabela 45. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN].....	81
Tabela 46. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN].....	81
Tabela 47. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” - MZK [PLN].....	82
Tabela 48. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]	82
Tabela 49. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN].....	83
Tabela 50. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN].....	83

Tabela 51. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - MZK [PLN].....	83
Tabela 52. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]	83
Tabela 53. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN].....	83
Tabela 54. Wartość skumulowanych przepływów pieniężnych wariantu „1” i „2” - Operator zewnętrzny [PLN].....	83
Tabela 55. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” z wykorzystaniem dotacji zewnętrznych - MZK [PLN]	84
Tabela 56. Ocena efektywności inwestycji wariantu „1” i „2” z wykorzystaniem dotacji zewnętrznych - IREX-Trans, (Operator zewnętrzny po 2022r.) [PLN]	84
Tabela 57. Czynniki ryzyka w projekcie	85
Tabela 58. Matryca ryzyka - klasyfikacja poziomu ryzyka	86
Tabela 59. Matryca ryzyka - sposób działania	86

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Procentowy udział autobusów w zależności od operatora	14
Wykres 2. Rok produkcji pojazdów MZK.....	15
Wykres 3. Rok produkcji pojazdów IREX-Trans.....	15
Wykres 4. Procentowy udział pojazdów w poszczególnych przedziałach wiekowych w całości taboru eksploatowanego przez MZK.....	16
Wykres 5. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin taboru eksploatowanego przez MZK	17
Wykres 6. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin taboru eksploatowanego przez IREX-Trans	18
Wykres 7. Procentowy udział pojazdów obsługiwanych przez MZK ze względu na klasę	19
Wykres 8. Rok produkcji pojazdów po wprowadzeniu planowanej wymiany taboru MZK przy uzyskaniu dofinansowania (rok 2022)	21
Wykres 9. Procentowy udział pojazdów spełniających poszczególne normy emisji spalin po wprowadzeniu planowanej wymiany taboru MZK przy uzyskaniu dofinansowania (rok 2022)	22
Wykres 10. Procentowy udział pojazdów w zależności od napędu po wprowadzeniu planowanej wymiany taboru MZK (rok 2022)	22
Wykres 11. Procentowy udział poszczególnych linii autobusowych MZK oraz IREX-Trans	24
Wykres 12. Prędkość komunikacyjna na poszczególnych liniach autobusowych	27
Wykres 13. Wartość nakładów inwestycyjnych MZK dla wariantu „0”, „1” i „2” [PLN]	53
Wykres 14. Wartość nakładów inwestycyjnych Operatora zewnętrznego dla wariantu „0”, „1” i „2” [PLN].....	54

SPIS SCHEMATÓW

Schemat 1. Zależność między stopą dyskontową, a wartością NPV	33
Schemat 2. Matryca ryzyka - klasyfikacja poziomu ryzyka	38
Schemat 3. Matryca ryzyka - sposób działania	38
Schemat 4. Procedura analizy kosztów i korzyści	39

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Mapa obecnej sieci komunikacyjnej obsługiwanej przez ZDMiKP	10
Rysunek 2. Wykaz porozumień międzygminnych Miasta Bydgoszcz	11
Rysunek 3. Proponowana elektryfikacja linii autobusowych obsługiwanych przez MZK	48
Rysunek 4. Emisja dwutlenku węgla w 2014 r w Polsce	66