



ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Zamościu

CZERWIEC 2021

GRUPA CDE SP. Z O.O. | Powstańców Śl. 1 | 43-190 MIKOŁÓW



Opracowanie:



Energia dla Miast Sp. z o.o.

Biuro:

ul. Powstańców Śląskich 1

43-190 Mikołów

Tel/fax: 32 326 78 17

e-mail: biuro@energiadlamiast.pl

Zespół autorów:

Michał Mroskowiak

Łukasz Witosz

Analiza została wykonana na zlecenie:

Urząd Miasta Zamość

ul. Rynek Wielki 13

22-400 Zamość





Spis treści

I.	Cel przeprowadzenia analizy.....	5
II.	Podstawy prawne aktualizacji	6
III.	Metodyka przeprowadzenia analizy	8
IV.	Charakterystyka aktualnego systemu komunikacji miejskiej	10
V.	Możliwe scenariusze inwestycyjne	19
VI.	Analiza techniczna	22
VII.	Analiza finansowa	33
VIII.	Oszacowanie efektów środowiskowych wariantów inwestycyjnych.....	45
IX.	Analiza społeczno - ekonomiczna	48
X.	Wnioski i rekomendacje.....	56
XI.	Spis tabel.....	59
XII.	Spis ilustracji	60





Słownik pojęć

- 1) Analiza/AKK - Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji.
- 2) Obszar transportowy – obszar, na którym za organizację transportu zbiorowego odpowiada Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o.o. w Zamościu.
- 3) Operator - samorządowy zakład budżetowy oraz przedsiębiorca uprawniony do prowadzenia działalności gospodarczej w zakresie przewozu osób, który zawarł z organizatorem publicznego transportu zbiorowego umowę o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego, na linii komunikacyjnej określonej w umowie.
- 4) Organizator - właściwa jednostka samorządu terytorialnego albo minister właściwy do spraw transportu, zapewniający funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze. Organizator publicznego transportu zbiorowego jest „właściwym organem”, o którym mowa w przepisach rozporządzenia (WE) nr 1370/2007;
- 5) Sieć komunikacyjna - układ linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora publicznego transportu zbiorowego lub część tego obszaru.
- 6) Stopa dyskonta – stopa zrzeczenia się przyszłych środków finansowych na rzecz aktualnie dostępnych środków. Istnienie stopy dyskontowej wynika ze zmienności wartości pieniądza w czasie i obrazuje stosunek, w jakim przyszły kapitał zrównuje swoją efektywną wartość z kapitałem bieżącym.
- 7) Ustawa/Ustawa o elektromobilności - Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2018 r. poz. 317, 1356) ze zmianami.





I. CEL PRZEPROWADZENIA ANALIZY

Pierwsza Analiza Kosztów i Korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Zamościu autobusów zeroemisyjnych została przygotowana w 2018 r. zgodnie z dyspozycją art. 72 ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908 ze zm.).

Sporządzona analiza poddana została konsultacjom społecznym w czasie których nie wniesiono uwag do treści dokumentu, a ostateczna wersja Analizy przesłana została ministrowi właściwemu do spraw energii, ministrowi właściwemu do spraw gospodarki oraz ministrowi właściwemu do spraw środowiska.

Konkluzja dokumentu określała, iż wprowadzenie taboru zeroemisyjnego (z napędem elektrycznym) do systemu komunikacyjnego miasta uwzględniając aspekt środowiskowy, jak i społeczny będzie niekorzystne, w porównaniu do oparcia komunikacji o autobusy napędzane konwencjonalnymi silnikami spalinowymi. Rekomendacja powyższa opatrzona została jednak analizą ryzyka i wrażliwości, wskazującą na czynniki, których zaistnienie wpłynąć może na zmianę wyniku analizy.

Zaistnienie tych czynników, a także zmiany w otoczeniu gospodarczym uzasadniają aktualizację dokumentu.

Do okoliczności tych należą:

1. Spadek kosztów technologii zeroemisyjnych;
2. Poprawa wytrzymałości i żywotności akumulatorów;
3. Możliwość pozyskania środków zewnętrznych na zakup pojazdów zeroemisyjnych;

Zaistnienie powyższych zdarzeń (w szczególności możliwość pozyskania finansowania ze środków zewnętrznych Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach programu nr 3.9 ochrona atmosfery - Zielony transport publiczny) oraz upływający termin ważności pierwotnej Analizy wykonanej w 2018 r. spowodowały konieczność opracowania nowej AKK.

.





II. PODSTAWY PRAWNE AKTUALIZACJI

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908). zobowiązuje jednostki samorządu terytorialnego (z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000), do świadczenia usług lub zlecenia świadczenia usługi komunikacji miejskiej w rozumieniu ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2019 r. poz. 2475 z późn. zm.) podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego wynosi co najmniej 30%¹. Powyższy obowiązek w pełni zostanie wprowadzony w życie 1 stycznia 2028 r., jednakże Ustawa definiuje kolejne stopnie udziału autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie, które wynoszą:

- 1) 5% od 1 stycznia 2021 r.
- 2) 10% od 1 stycznia 2023 r.
- 3) 20% od 1 stycznia 2025 r.²

Równocześnie zobowiązana jednostka samorządu terytorialnego, o której mowa powyżej sporządza, co 36 miesięcy, analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji³.

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

- 1) analizę finansowo-ekonomiczną;
- 2) oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi;
- 3) analizę społeczno-ekonomiczną uwzględniającą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji³.

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

¹ Art. 35 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908)

² Art. 68 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908)

³ Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908)

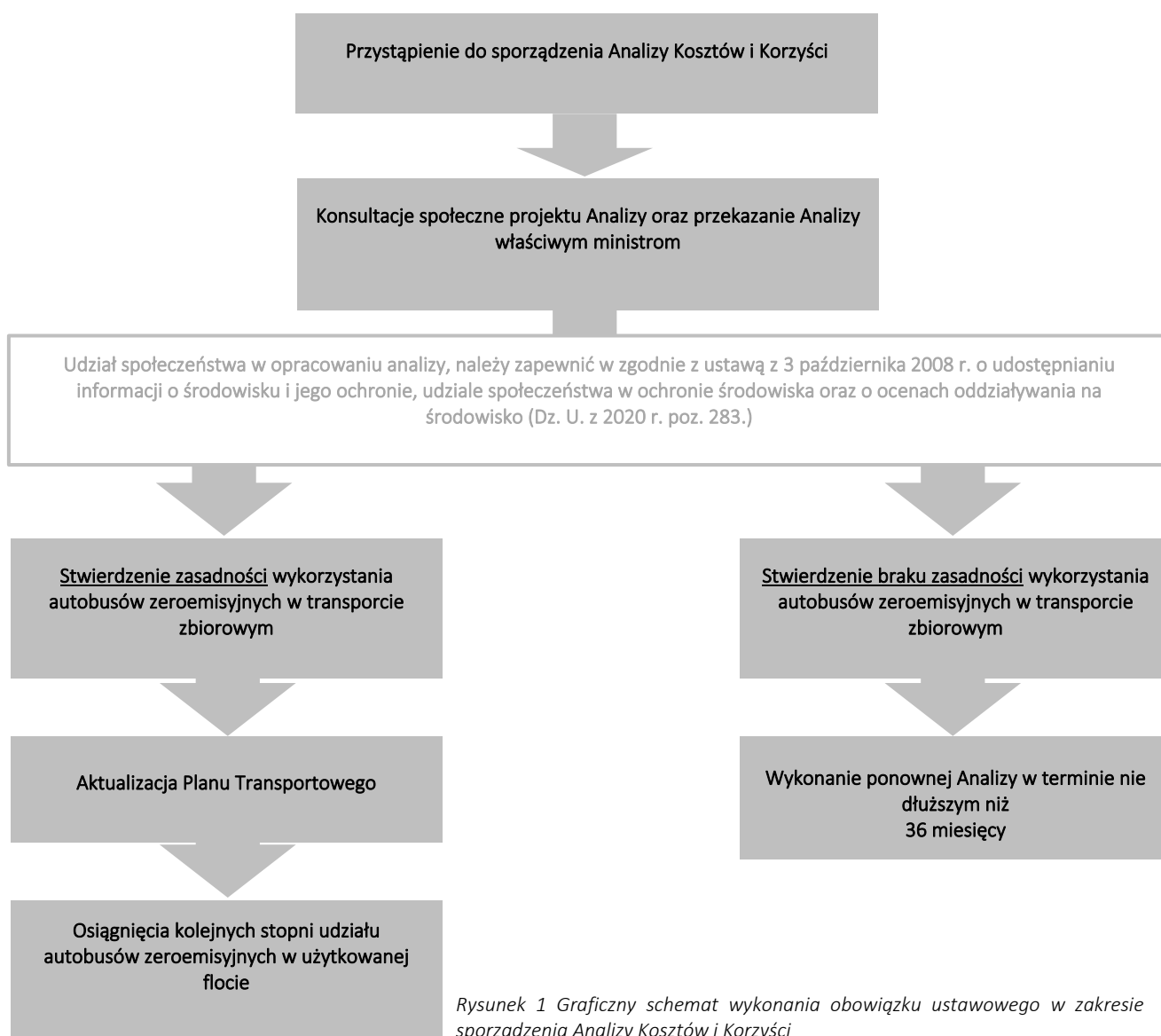


W czasie opracowania analizy należy również zapewnić możliwość udziału społeczeństwa, na zasadach określonych w dziale III w rozdziałach 1 i 3 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. z 2020 r. poz. 283)⁴.

Niezwłocznie po sporządzeniu, Analizę należy przekazać:

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

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



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

⁴ Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908)





III. METODYKA PRZEPROWADZENIA ANALIZY

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

Materiały metodyczne stanowiące podstawę wykonania analizy:

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

W kontekście wskazanych wyżej dokumentów przeprowadzona analiza posiada następującą strukturę:

- 1) Charakterystyka aktualnego systemu komunikacji miejskiej;
- 2) Wskazanie możliwych scenariuszy inwestycyjnych;
- 3) Analiza techniczna;
- 4) Analiza finansowa;
- 5) Oszacowanie efektów środowiskowych scenariuszy inwestycyjnych;
- 6) Analiza społeczno-ekonomiczna;
- 7) Analiza ryzyka i wrażliwości;
- 8) Wnioski i rekomendacje.





Dane źródłowe do przeprowadzenia analizy udostępnione przez Miejski Zakład Komunikacji sp. z o.o. w Zamościu) obejmują:

- 1) Wykaz autobusów na stanie za rok 2020 stanowiących tabor komunikacji miejskiej wraz z informacją o zużyciu paliwa;
- 2) Rozkład jazdy linii autobusowych;
- 3) Schemat połączeń;

Pozostałe podstawy prawne uwzględnione w opracowaniu:

- 1) Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz. Urz. UE z dnia 28 października 2014 r. poz. L 307/1);
- 2) Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2020 r. poz. 1944, 2400 z późn. zm.);
- 3) Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r. poz. 1077, 2320).

Niniejsza Analiza Kosztów i Korzyści została przeprowadzona w oparciu o układ linii komunikacyjnych według stanu na dzień 30 maja 2021 r., a jego zmiany, wpłynąć mogą na lokalne uwarunkowania stosowania autobusów zeroemisyjnych. Zmiana przebiegu linii nie wpływa na wyniki analizy, które opierają się na uśrednionych danych dotyczących całego taboru autobusowego. Jednak w przypadku takiej zmiany, organizator publicznego transportu zbiorowego będzie zobowiązany do uwzględniania wymogów logistycznych takiego taboru na etapie projektowania zmienionych tras i rozkładów jazdy uwzględniających m.in. konieczność doładowywania autobusów w czasie pracy przewozowej oraz zasięg pojazdów (który może zmieniać się w zależności warunków atmosferycznych i obciążenia).





IV. CHARAKTERYSTYKA AKTUALNEGO SYSTEMU KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Zgodnie z ustawą z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2017 r., poz. 2136 ze zm.) organizatorem publicznego transportu zbiorowego jest właściwa jednostka samorządu terytorialnego albo minister właściwy do spraw transportu, zapewniający funkcjonowanie transportu publicznego na danym obszarze⁵. Właściwość organizatora transportu zbiorowego określa obszar terytorialny poddany analizie.

Zgodnie z art. 7 pkt ustawy o publicznym transporcie zbiorowym, jest nim gmina na linii komunikacyjnej albo sieci komunikacyjnej w gminnych przewozach pasażerskich, lub której powierzono zadanie organizacji publicznego transportu zbiorowego na mocy porozumienia między gminami – na linii komunikacyjnej albo sieci komunikacyjnej w gminnych przewozach pasażerskich, na obszarze gmin, które zawarły porozumienie.

Formalnie więc analizowany obszar transportowy obejmuje nie tylko Miasto Zamość, ale również gminy: gmina Zamość, Sitno, Nielisz, Miączyn i Stary Zamość. Z wymienionymi gminami Miasto Zamość zawarło porozumienia o wykonywaniu zadań w zakresie prowadzenia lokalnego transportu zbiorowego na terenie danej Gminy na podstawie art. 7 ust. 1 pkt 4 i art. 74 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (Dz. U. z 2001 r. Nr 142, poz. 1591 z późn. zm.). Na mocy tych porozumień gminy powierzają Miastu Zamość prowadzenie lokalnego transportu zbiorowego na ich terenie i zobowiązują się do częściowego ponoszenia kosztów realizacji powierzonego Miastu Zamość zadania własnego.

Łączna powierzchnia analizowanego obszaru transportowego, obejmuje 705,73 km², z czego:

- 1) Zamość – miasto: 30,34 km km²;
- 2) Gmina wiejska Zamość: 197 km km²;
- 3) Gmina Sitno: 112,1 km²;
- 4) Gmina Nielisz: 113,2 km²;
- 5) Gmina Miączyn: 155,9 km²;
- 6) Gmina Stary Zamość: 97,19 km².

Łącznie analizowany obszar transportowy zamieszkuje 108 914 osób⁶, z czego:

- 1) Zamość – miasto: 62 785 mieszkańców
- 2) Gmina wiejska Zamość: 23 212 mieszkańców
- 3) Gmina Sitno: 6 719 mieszkańców
- 4) Gmina Nielisz: 5 387 mieszkańców

⁵ Art. 4 ust 1 pkt 9 ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2019 r. poz. 2475 ze zm.)

⁶ Stan na 31.12.2020 r. wg. danych GUS.





- 5) Gmina Miączyn: 5 667 mieszkańców
- 6) Gmina Stary Zamość: 5 144 mieszkańców

Organizatorem publicznego transportu zbiorowego na zdefiniowanym wyżej obszarze jest Miasto Zamość. Zwierzchni nadzór nad działalnością Zarządu sprawuje Rada Miasta Zamość, zaś nadzór bezpośredni pełni Prezydent Miasta.

Miasto Zamość jako podmiot zarządzający systemem lokalnego transportu zbiorowego, 2 stycznia 2018 r. zawarło z Miejskim Zakładem Komunikacji sp. z o.o. z siedzibą w Zamościu (dalej: MZK sp. z o.o.) umowę dotyczącą powierzenia spółce MZK zadań przewozowych. Umowa zawarta jest na czas określony, do 31 grudnia 2021 r. Spółka jest własnością Miasta Zamość, która posiada w niej 100% udziałów.

Obsługa wszystkich linii autobusowych podlegających Miastu Zamość, realizowana jest poprzez Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o.o. w Zamościu (MZK w Zamościu) działające w roli **operatora**.

Zgodnie z treścią umowy, spółka MZK zobowiązuje się do świadczenia na rzecz Miasta Zamość usług przewozowych. Zgodnie z brzmieniem przedmiotowej umowy, MZK sp. z o.o. obowiązana jest między innymi do:

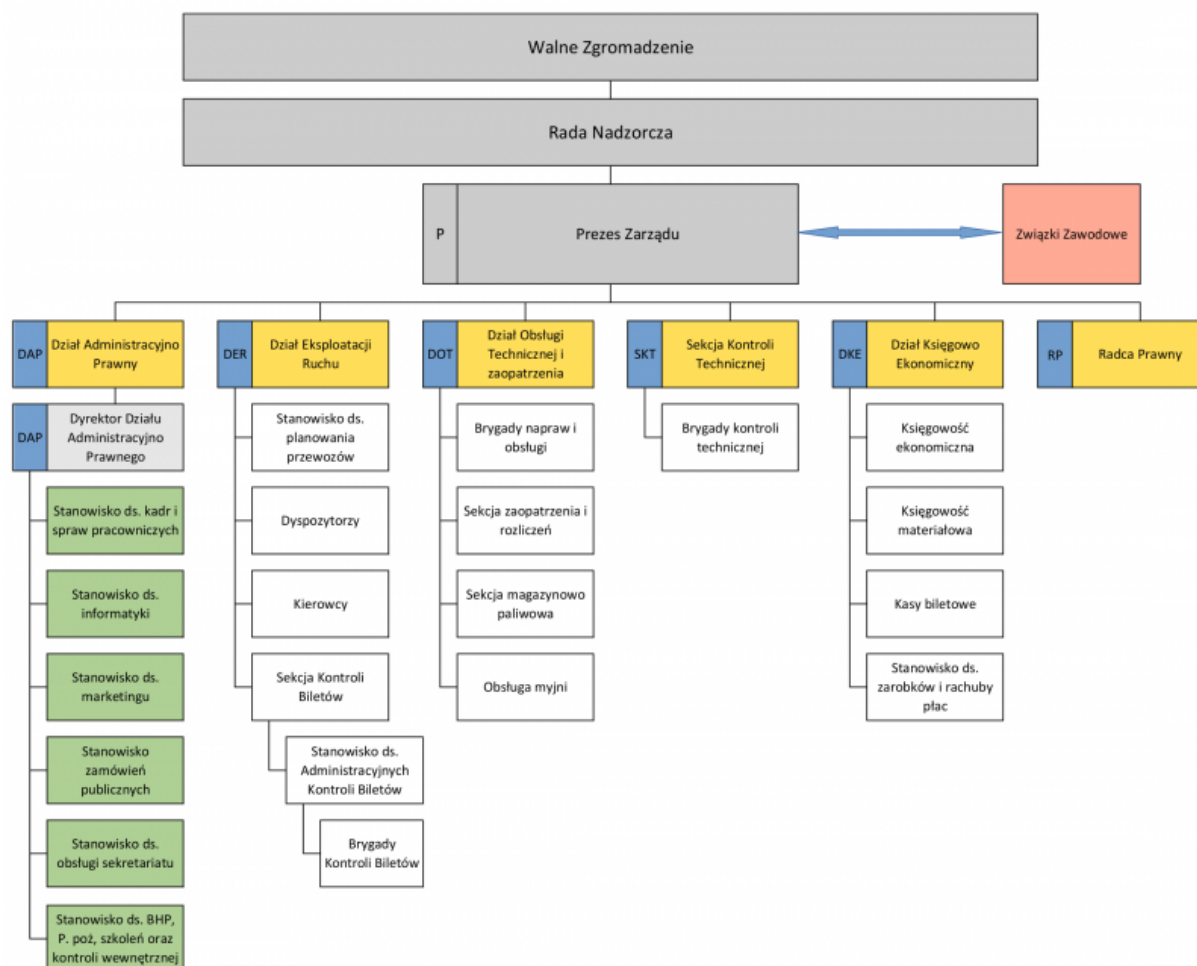
- 1) realizacji usług przewozowych, zgodnie z treścią umowy;
- 2) planowania zmian w stałym układzie linii komunikacyjnych w celu polepszenia i usprawnienia funkcjonowania komunikacji;
- 3) dostosowania ilości i wielkości taboru do obsługi sieci komunikacyjnej z uwzględnieniem wielkości potoków pasażerskich;
- 4) opracowania rozkładów jazdy oraz umieszczania ich na wszystkich przystankach wymienionych w rozkładach jazdy;
- 5) utrzymywania w należyтым stanie technicznym obiektów zajezdni wraz z infrastrukturą techniczną i niezbędnymi urządzeniami technicznymi;
- 6) niezwłocznego organizowania, w przypadku awarii infrastruktury technicznej i nieprzejezdności układu drogowego komunikacji awaryjnej;
- 7) wyposażenia pojazdów w aktualne cenniki /taryfy/ za usługi przewozowe
- 8) umieszczania w środkach transportu wyciągu z regulaminu przewozu osób i bagażu ręcznego;
- 9) wnioskowania do miasta:
 - o w zakresie usprawnienia i uruchomienia nowych linii i połączeń bądź ograniczenia lub wyłączenia linii i połączeń,
 - o o ujęcie nowych linii i połączeń w planach budowy lub przebudowy dróg, mostów i układu komunikacyjnego





Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o.o. w Zamościu posiada aktualną licencję o Nr 0014357 na wykonywanie krajowego transportu drogowego w zakresie przewozu osób autobusem.

Prezes Zarządu posiada aktualny certyfikat kompetencji zawodowych potwierdzający posiadane kwalifikacje i wiedzę niezbędną do wykonywania działalności gospodarczej w zakresie krajowego transportu drogowego



Rysunek 2 Schemat Organizacyjny MZK Sp. z o.o. w Zamościu





Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o.o. z siedzibą w Zamościu powstał 1 marca 1999 roku, a datą rejestracji w Krajowym Rejestrze Sądowym jest 23 października 2001 r.

Podstawą finansowania działalności operacyjnej Spółki jest sprzedaż biletów oraz rekompensata wypłacana z tytułu świadczenia usług pasażerskiego transportu publicznego, wynikająca z umowy o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego.

Zgodnie z opinią biegłego rewidenta z badania rocznego sprawozdania finansowego za rok 2020:

- bilans sporządzony na dzień 31.12.2020 r, który po stronie aktywów i pasywów wykazuje sumę: 27 102 012,08 zł;
- rachunek zysków i strat za okres od 01.01.2020 r. do 31.12.2020 r, wykazuje stratę netto w kwocie: 1 370 501,17 zł;
- zestawienie zmian w kapitale własnym za okres od 01.01.2020 r. do 31.12.2020 r, wykazuje zmniejszenie kapitału własnego o kwotę: 1 370 501,17 zł;
- rachunek przepływów pieniężnych za rok zakończony w tym dniu wykazujący zwiększenie stanu środków pieniężnych w kwocie: 789 482,63 zł;

Według opinii biegłego rewidenta, sprawozdanie finansowe:

- przedstawia rzetelny i jasny obraz sytuacji majątkowej i finansowej Spółki na dzień 31 grudnia 2020 r. oraz jej wyniku finansowego i przepływów pieniężnych za rok obrotowy zakończony w tym dniu zgodnie z mającymi zastosowanie przepisami ustawy z dnia 29 września 1994 r. o rachunkowości („Ustawa o rachunkowości” – Dz. U. z 2021 r., poz. 217) oraz przyjętymi zasadami (polityką) rachunkowości;
- jest zgodne co do formy i treści z obowiązującymi Spółkę przepisami prawa oraz umową Spółki;
- zostało sporządzone na podstawie prawidłowo prowadzonych ksiąg rachunkowych zgodnie z przepisami rozdziału 2 Ustawy o rachunkowości.

Prognozę wyniku na rok 2021 r. przedstawiono w tabeli.

Tabela 1 Prognoza kosztów rekompensaty na rok 2021

WYSZCZEGÓLNIENIE	WARTOŚĆ
Koszt świadczenia usług publicznych	- 9 947 586,50 zł
Przychody z biletów	+ 3 600 000,00 zł
Przychody ze sprzedaży usług (przychody pozostałe)	+ 230 000,00 zł
Rozsądny zysk netto z tytułu świadczeni usług publicznych	+ 1 224 000,00 zł
Wartość rekompensaty (różnica między kosztem świadczenia usług publicznych, a kosztami i rozsądnym zyskiem)	- 7 628 686,50
Planowana liczba wozokilometrów	1 704 205 wzkm
Stawka rekompensaty za jeden kilometr	4,48 zł/km





Według danych MZK w Zamościu, Tabor autobusowy MZK sp. z o.o. składa się z 40 jednostek obsługujących 25 linii autobusowych.

Aktualnie Miejski Zakład Komunikacji sp. z o.o. w Zamościu posiada 25 linii autobusowych, które obsługują miasto Zamość oraz gminy, z którymi zawarto stosowne porozumienia międzygminne.

Tabela 2 Zestawienie linii autobusowych na terenie Miasta

Numer linii	Długość [km]
0	17,7
1	11,0
2	12,8
3	12,2
4	9,5
7	11,5
8	13,7
9	9,1
10	17,0
11	11,6
14	11,7
15	8,9
17	10,6
21	22,7
31	8,9
33	14,3
35	16,2
40	24,5
42	15,2
44	24,3
49	29,0
54	17,8
55	17,4
56	13,6

Celem analizy kosztów i korzyści nie jest wytyczenie nowych, modyfikacja istniejących tras komunikacyjnych, bądź analiza potoków pasażerskich. Elementy te podlegają pogłębionej charakterystyce w ramach planu transportowego. Analiza kosztów i korzyści, skupia się przede wszystkim na aspektach dotyczących taboru. Poniżej zatem przedstawiono wyciąg danych kluczowych z perspektywy zastosowania autobusów zeroemisyjnych w komunikacji.





Do danych tych należą:

- 1) Aktualna struktura taboru – stanowi podstawę do określenia zakresu koniecznych inwestycji taborowych;
- 2) Przystanki krańcowe i węzłowe – w przypadku transportu wykonywanego autobusami elektrycznymi z baterijnymi zasobnikami energii, może być konieczne doładowywanie autobusów w czasie wykonywania kursów (z uwagi na ich ograniczony zasięg), stąd w wariantcie analizującym zasadność zakupu autobusów elektrycznych konieczne jest wytypowanie miejsc w których montaż stacji ładowania byłby najbardziej uzasadniony.

Ad. 1 Charakterystyka taboru

Za obsługę linii komunikacyjnych odpowiedzialny jest wewnętrzny operator (MZK z Zamościu) realizujący obsługę linii z wykorzystaniem własnego taboru autobusowego. Szczegółowe zestawienie taboru będącego w posiadaniu MZK w Zamościu, według stanu na koniec 2020 roku, zamieszczono w tabeli. W tabeli znajdują się wyłącznie pojazdy faktycznie wykorzystywane w obsłudze linii.

Tabela 3 Wykaz autobusów użytkowanych przez MZK w Zamościu (stan na 31.12.2020 r.)

LP	MARKA	Nr rejestr.	Nr. ewid.	Rok prod.	L. siedz/st	Paliwo	DMC(t)	Norma emisji spalin	Spalanie (norma l/100km)	Przebieg (km)
1	SOLARIS Urbino 12	LZ 71404	1	2018	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	135 357
2	SOLARIS Urbino 12	LZ 73293	2	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	85 795
3	SOLARIS Urbino 12	LZ 73294	3	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	98 316
4	SOLARIS Urbino 12	LZ 73295	4	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	92 447
5	SOLARIS Urbino 12	LZ 73296	5	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	91 399
6	SOLARIS Urbino 12	LZ 73297	6	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	98 027
7	SOLARIS Urbino 12	LZ 73298	7	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	93 764
8	SOLARIS Urbino 12	LZ 73299	8	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	82 716
9	SOLARIS Urbino 12	LZ 73847	9	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	86 325
10	SOLARIS Urbino 12	LZ 73848	10	2019	26/53	ON	18,7	EURO 6	43	80 524
11	Solaris	LZ 21962	303	2006	28/60	CNG	18	EURO 5	53	744 780





LP	MARKA	Nr rejestr.	Nr. ewid.	Rok prod.	L. siedz/st	Paliwo	DMC(t)	Norma emisji spalin	Spalanie (norma l/100km)	Przebieg (km)
	CNG									
12	Solaris CNG	LZ 21963	304	2006	28/60	CNG	18	EURO 5	53	759 977
13	Solaris CNG	LZ 22427	305	2006	28/60	CNG	18	EURO 5	53	723 691
14	Solaris CNG	LZ 22428	306	2006	28/60	CNG	18	EURO 5	53	760 907
15	MAN A21	LZ 43946	316	2011	31/56	CNG	18	EEV	58	577 730
16	MAN A21	LZ 43941	317	2011	31/56	CNG	18	EEV	58	591 472
17	MAN A21	LZ 43942	318	2011	31/56	CNG	18	EEV	58	586 529
18	MAN A21	LZ 43943	319	2011	31/56	CNG	18	EEV	58	564 063
19	MAN A21	LZ 43944	320	2011	31/56	CNG	18	EEV	58	558 654
20	MAN A21	LZ 43945	321	2011	31/56	CNG	18	EEV	58	557 796
21	MAN A21	LZ 46669	322	2012	31/56	CNG	18	EEV	58	510 629
22	MAN A21	LZ 46668	323	2012	31/56	CNG	18	EEV	58	494 804
23	MAN A21	LZ 46667	324	2012	31/56	CNG	18	EEV	58	498 583
24	MAN A21	LZ 46671	325	2012	31/56	CNG	18	EEV	58	491 653
25	MAN A21	LZ 46670	326	2012	31/56	CNG	18	EEV	58	492 081
26	MAN A21	LZ 46672	327	2012	31/56	CNG	18	EEV	58	511 044
27	MAN A 76	LZ 51396	328	2005	25/25	ON	12,8	EURO 3	35	548 621
28	MAN A 76	LZ 51589	329	2005	25/25	ON	12,8	EURO 3	35	524 800
29	MAN A 76	LZ 51748	330	2005	25/25	ON	12,8	EURO 3	35	535 365
30	MAN NI 313	LZ 53420	331	2008	32/63	ON	18	EURO 4	43	691 207
31	MAN NI 313	LZ 56768	332	2008	32/63	ON	18	EURO 4	43	577 125





LP	MARKA	Nr rejestr.	Nr. ewid.	Rok prod.	L. siedz/st	Paliwo	DMC(t)	Norma emisji spalin	Spalanie (norma l/100km)	Przebieg (km)
32	MAN	LZ 56876	333	2008	32/63	ON	18	EURO 4	43	549 499
	NI 313									
33	SOLARIS	LZ 70821	334	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	1 072 207
	U12W24									
34	SOLARIS	LZ 70822	335	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	1 111 244
	U12W24									
35	SOLARIS	LZ 70823	336	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	1 112 523
	U12W24									
36	SOLARIS	LZ 71321	337	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	986 294
	U12W24									
37	SOLARIS	LZ 71320	338	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	1 016 860
	U12W24									
38	Solaris	LZ 75765	339	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	881 617
39	Solaris	LZ 75766	340	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	1 007 243
40	Solaris	LZ75767	341	2007	29/62	ON	18	EURO 4	43	1 027 351

Zgodnie z zamieszczonymi powyżej danymi, łączny tabor przedsiębiorstwa na koniec 2020 r. liczył 40 pojazdów.

W 1990 roku, w UE wprowadzono normę emisji spalin – EURO, którą zaczęto stosować w silnikach nowo produkowanych pojazdów, w tym w autobusach. Co kilka lat normy emisji spalin EURO są zaostrzane. W przypadku autobusów poziom emisji spalin mierzony jest w zależności od mocy silnika. Ilość pojazdów stanowiących tabor MZK w Zamościu w zależności od spełnianej normy prezentuje się następująco:

- 10 pojazdów spełniające Normę EURO 6;
- 4 pojazdy spełniające Normę EURO 5;
- 11 pojazdów spełniających Normę EURO 4;
- 3 pojazdy spełniające Normę EURO 3;
- 12 pojazdów spełniających normę EEV

Ad. 2 Przystanki węzłowe i końcowe





Rekomendacja, będąca zarazem podstawowym elementem przeznaczonego do analizy wariantu inwestycyjnego przewiduje zastosowanie ładowarek niskiej mocy (40-80 kW) w zajezdni autobusowej. W przypadku obecnej długości linii komunikacyjnych w obrębie miasta nie zachodzi zatem konieczność stosowania ładowania pantografowego na pętlach i przystankach końcowych. Ładowanie pojazdów w całości może być realizowane na terenie zajezdni autobusowej.





V. MOŻLIWE SCENARIUSZE INWESTYCYJNE

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

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

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

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

Zasadniczo zamierzeniem ustawodawcy jest dążenie do zwiększenia udziału pojazdów zeroemisyjnych w miejskich taborach autobusowych, jednakże mając na uwadze wysokie koszty takiej transformacji i podjęte już przez liczne samorządy inwestycje z zakresu zakupu autobusów napędzanych gazem ziemnym, planuje się dopuszczenie do udziału w miksie taborowym pojazdów napędzanych gazem CNG oraz LNG⁷.

Spełniając wymogi Ustawy, w ramach analizy odniesiono się zatem do możliwości modernizacji aktualnej floty pojazdami uznawanymi za spełniające wymogi art. 35-36 Ustawy o elektromobilności. Analizowane warianty inwestycyjne przedstawiają się zatem następująco:

- 1) **Wariant bazowy** – służy oszacowaniu kosztów świadczenia usług komunikacyjnych, z wykorzystaniem zmodernizowanego taboru o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy EURO6. Wariant bazowy stanowi punkt odniesienia dla analiz pozostałych wariantów w zakresie porównania efektywności kosztowej, społecznej i środowiskowej.

⁷ <https://biznes.gazetaprawna.pl/artykuly/1276473,elektromobilnosc-rusza-ale-wspomagana-gazem.html>





- 2) **Wariant I – tabor zasilany energią elektryczną** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem elektrycznym, dla których zasilanie zapewniają pokładowe magazyny bateryjne.
- 3) **Wariant II – tabor zasilany sprężonym gazem ziemnym (CNG) - wariant** realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym.
- 4) **Wariant III – tabor zasilany paliwem wodorowym** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym.

W każdym z analizowanych wariantów aktualna flota przewozowa zostałaby uzupełniona o autobusy w zakresie spełniającym minima ustawowe oraz zgodnie z planem inwestycyjnym wyrażonym we wniosku o dofinansowanie *zakupu autobusów elektrycznych oraz budowy niezbędnej infrastruktury dla obsługi zielonego transport publicznego w Mieście Zamościu oraz gminach ościennych* złożonego w ramach programu nr 3.9 ochrona atmosfery - Zielony transport publiczny, prowadzonego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, który przewiduje zakup 14 autobusów:

Tabela 4 Planowany udział zmodernizowanych pojazdów w całkowitym taborze miejskim

Termin	Wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie	Liczba pojazdów we flocie	Liczba pojazdów zeroemisyjnych	Faktyczny udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie
1 stycznia 2023	10%	40	14	35%
1 stycznia 2025	20%	40	14	35%
1 stycznia 2028	30%	40	14	35%

Przedstawione powyżej warianty poddano analizie w następujących ujęciach:

- **kryterium techniczne** – odpowiadające na pytanie, czy wariant jest technicznie możliwy do realizacji i wdrożenia w systemie komunikacyjnym Miasta Zamość. Na etapie tym warianty nie są oceniane pod względem finansowym, a badana jest ich wykonalność w horyzoncie czasowym Analizy.
- **kryterium finansowe** – oceniające zasadność finansową analizowanych wariantów z perspektywy całkowitych kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych w przyjętym okresie żywotności pojazdów.
- **kryterium środowiskowe** – porównujące skutki ekologiczne poszczególnych wariantów w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń, pyłów oraz emisji dwutlenku węgla.





- **kryterium społeczne** – poddające ocenie skutki inwestycji z perspektywy społecznej - mieszkańców oraz użytkowników komunikacji. W szczególności w zakresie obciążenia hałasem związanym z przemieszczaniem się pojazdów komunikacji miejskiej oraz emisji zanieczyszczeń.

Kryterium techniczne ma charakter rozstrzygający tj. w przypadku braku możliwości technicznej realizacji analizowanego wariantu, dalszej analizy nie przeprowadza się z uwagi na jej bezcelowość – dla inwestycji, która nie jest technicznie możliwa nie jest możliwe oszacowanie kosztów, bądź efektów jej realizacji.

Pozostałe kryteria mają charakter ocenny, co oznacza, że ostateczna rekomendacja jest wypadkową wszystkich analizowanych kryteriów, a nie wyłącznie jednego wybranego czynnika – czy to ekonomicznego, czy środowiskowego.



VI. ANALIZA TECHNICZNA

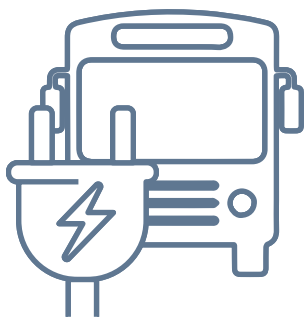
Dokonując oceny wytypowanych wariantów inwestycyjnych z perspektywy technicznej, uwzględniono następujące uwarunkowania:

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

Ad. 1 Dostępne rozwiązania techniczne

Wariant bazowy opracowania to wymiana obecnych autobusów na nowe pojazdy o napędzie konwencjonalnym (silnik wysokoprężny zasilany olejem napędowym) spełniające normę spalin EURO6. Wariant ten stanowi punkt odniesienia dla pozostałych wariantów. Norma EURO6 ma charakter obligatoryjny dla wszystkich pojazdów użytkowych wyprodukowanych po 2013 roku (Norma weszła w życie końcem 2013 r. z mocy Rozporządzenia Komisji (UE) nr 459/2012). Średnie spalanie autobusu klasy MAXI w normie EURO6 w cyklu miejskim wedle danych deklarowanych przez producentów kształtuje się na poziomie 33-34 l/100km, natomiast autobusu klasy MEGA 40-45 l/100km⁸. Przy cenie 4,25 zł/litr brutto oleju napędowego, koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosi 140,25 zł, a autobusem klasy mega 170,00 zł. Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 l zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 750 km. Zaznaczyć należy, jednakże, że są to wartości niższe, niż średnie spalanie we flocie MZK w Zamościu, które wynosi ponad 40 l/ 100 km. Do dalszych obliczeń przyjęto zatem wyniki realnej eksploatacji.

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



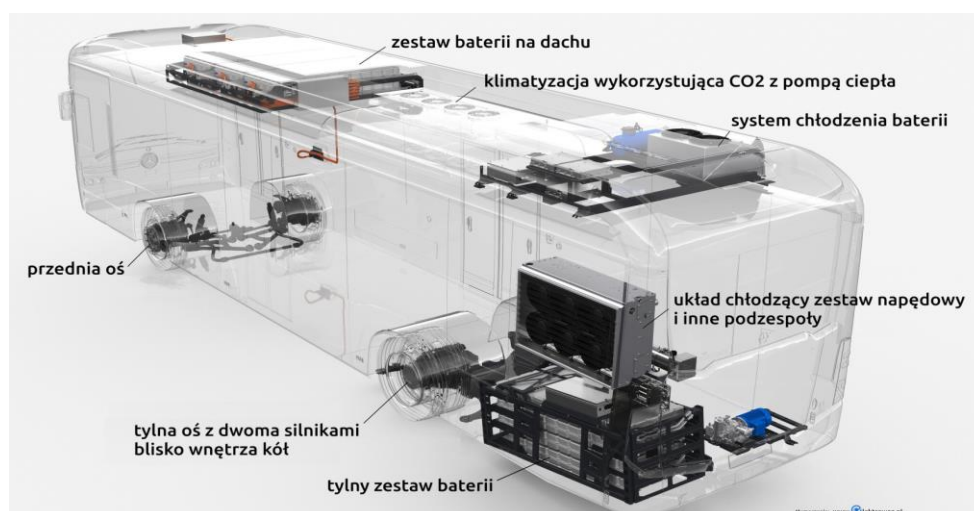
Pierwszym wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego energią elektryczną z baterii akumulatorowych. Autobusy elektryczne dostępne są w wariantach hybrydowym (z dodatkowym silnikiem spalinowym) oraz w wariantach całkowicie elektrycznym.

Autobusy z napędem elektrycznym charakteryzują się niskim poziomem hałasu, drgań i brakiem emisji spalin, tym samym zyskując dużą popularność zarówno w krajach europejskich jak i w Polsce. Autobusy elektryczne obsługują linie komunikacyjne m.in. na terenie m.in. Krakowa, Warszawy, Jaworzna czy Ostrołęki⁹. Tym samym dostępne są już liczne dane, wynikające z faktycznej eksploatacji pojazdów w zróżnicowanych warunkach.

⁸<http://www.truckauto.pl/wp-content/uploads/2014/06/8.pdf>

⁹<https://kurierkolejowy.eu/aktualnosci/31984/autobusy-elektryczne-wkraczaja-do-polskich-miast.html>

Za napęd autobusu elektrycznego odpowiadają silniki indukcyjne montowane na poszczególnych osiach. Zasilane są energią elektryczną z akumulatorów zlokalizowanych na dachu oraz w tylnej przestrzeni pojazdu. Dostępne na rynku rozwiązania techniczne pozwalają na zmagazynowanie (przy pełnym naładowaniu) od 200 do 250 kWh. Jak wskazują dane zebrane przez Miejskie Zakłady Autobusowe Sp. z o.o. w Warszawie, zużycie energii w eksploatacji na trakcję wynosi 1,03 kWh/km¹⁰, uwzględniając jednakże wykorzystanie energii na zasilanie pozostałych podzespołów (w szczególności klimatyzacji i ogrzewania) faktyczne zużycie energii w autobusach elektrycznych klasy MAXI wynosi 1,1 - 1,35 kWh/km¹¹, co przy koszcie 1 kWh energii elektrycznej wynoszącym ok. 0,397 zł/kWh brutto, daje koszt (wyłącznie w zakresie kosztów energii) ok. 44 zł/100 km. Do kosztów energii konieczne będzie jednak doliczenie opłat za moc przyłączeniową stacji ładowania, które zgodnie z aktualnymi taryfami dystrybucyjnymi wynoszą 8400 zł/MW/m-c. Realny zasięg autobusów elektrycznych przy pełnym naładowaniu baterii szacować należy na 150-200 km.



Rysunek 3 Schemat budowy autobusu elektrycznego, źródło: <https://elektrowoz.pl/wp-content/uploads/2018/07/Schemat-budowy-elektrycznego-autobusu-eCitaro.jpg>

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

Aktualny stan wiedzy technicznej pozwala wyróżnić trzy systemy ładowania:

- 1) ładowanie nocne w czasie postoju pojazdu na terenie zajezdni – ładowanie za pośrednictwem złącza wtykowego (kabel z ustandaryzowanym wtykiem podłączonym do stacji ładowania);

¹⁰http://www.miaστοitransport.il.pw.edu.pl/4_MIT2016.pdf

¹¹http://samochodelektryczne.org/mza_podsumowuje_pierwsze_dwa_miesiace_uzytownia_floty_autobusow_elektrycznych.htm

- 2) ładowanie na pętach końcowych w trakcie postoju – ładowanie za pośrednictwem stacji pantografowych do złącz montowanych na dachu autobusu;
- 3) krótkotrwałe doładowywanie autobusów podczas postoju na wybranych przystankach – ładowanie za pośrednictwem pętli indukcyjnych poprzez złącza montowane pod podwoziem autobusu (analogicznie do systemu pantografowego) – system narażony jest jednak na oddziaływanie warunków atmosferycznych – opady śniegu bądź deszczu i nie znalazł jak dotąd zastosowania w warunkach polskich.

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

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



Rysunek 4 Pantografowa stacja ładowania autobusów elektrycznych w Jaworznie, źródło: https://www.transport-publiczny.pl/img/jaworznostacja1.jpg_678-443.jpg

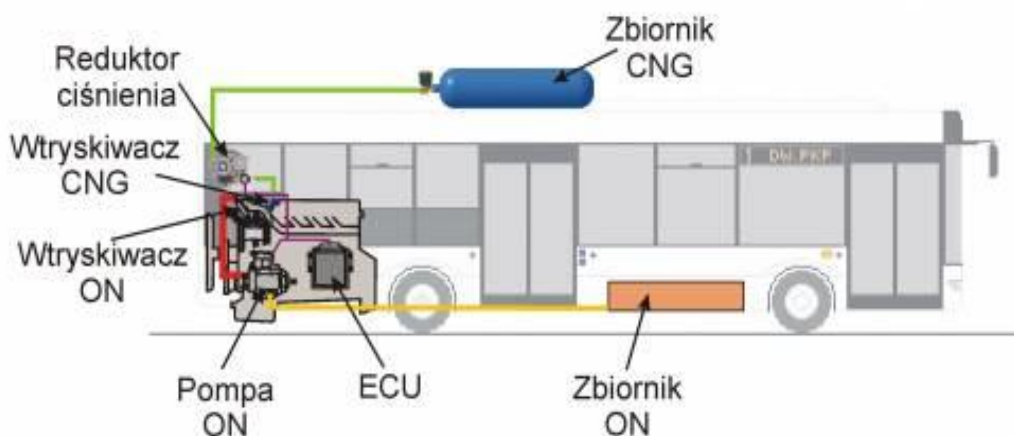
Koszt budowy stacji ładowania zlokalizowanej w zajezdni autobusowej (ładowanie za pośrednictwem złącza wtykowego) o mocy 22 kW to koszt ok. 20 000 zł, dla stacji o mocy 50 – 100 kW to koszt ok. 100 000 zł, natomiast stacji pantografowej – 500 000 zł, przy założeniu, iż nie jest wymagana budowa stacji transformatorowej. W przypadku takiej konieczności, łączną inwestycję w stację ładowania

pantografowego należy szacować na 1 mln zł. Trwają również prace nad rozwinięciem technologii PowerSwap, która na pętlach postojowych bądź w zajezdni umożliwiałaby szybką wymianę baterii rozładowanych na naładowane. Autobus z naładowanymi bateriami w ciągu kilku minut poświęconych na wymianę mógłby ruszać na trasę, natomiast baterie trafiłyby do stacji ładowania¹². Na dzień sporządzania analizy jednak żaden z producentów autobusów nie posiada w swojej ofercie pojazdów wyposażonych w taką funkcjonalność. Brak również informacji, o ewentualnym komercyjnym wprowadzeniu w życie mechanizmu szybkiej wymiany baterii.

W ramach eksploatacji autobusów elektrycznych uwzględnić należy wymianę zużytych baterii, co stanowi dodatkowych koszt 800 000 zł¹³.



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



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

Sprężanie gazu ziemnego w stacji tankowania odbywa się za pomocą wielostopniowych sprężarek do ciśnienia 20-35 MPa. Gaz może być dostarczany do nich za pomocą tradycyjnych sieci dystrybucji surowca, co minimalizuje koszty logistyki (paliwo nie musi być dostarczane do stacji cysternami)

¹²<http://elektrowoz.pl/transport/szwedzki-powerswap-chce-wymieniac-baterie-na-stacjach-benzynowych/>

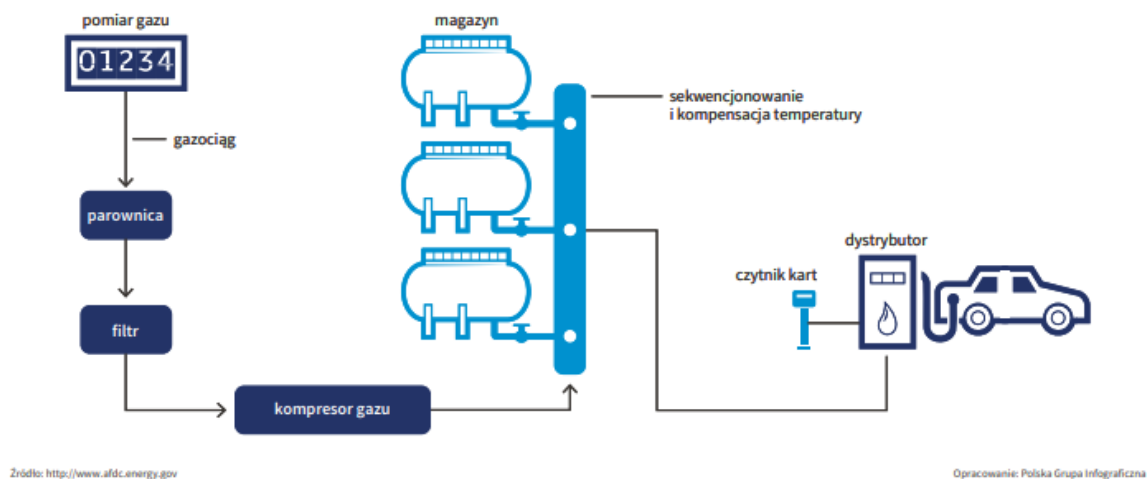
¹³<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/mpk-tarnow-przetestowalo-elektrobus-i-wylicza-wady-takiego-pojazdu-59229.html>

i magazynowania (dzięki stałemu podłączeniu do sieci gazowej nie jest konieczna budowa dużych magazynów paliwa bezpośrednio na stacji tankowania).

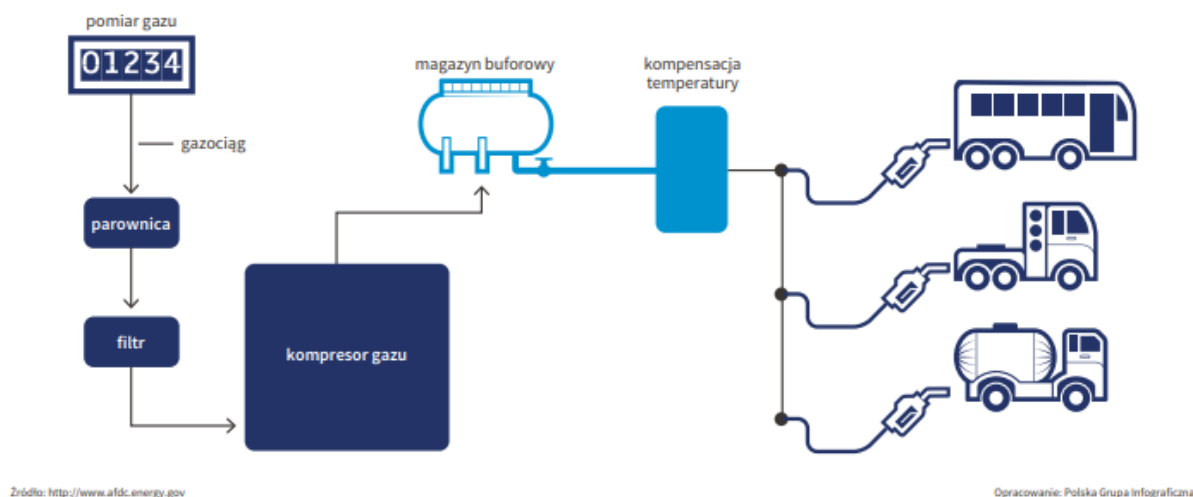
CNG jest niskoemisyjnym paliwem, które stanowi alternatywę dla konwencjonalnych paliw samochodowych.

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

Standardowe zbiorniki gazu w autobusach posiadają pojemność 250-320 Nm³. Tym samym w przypadku stacji szybkiego tankowania CNG, czas całkowitego zbiornika gazu wynosiłby do 60 minut. Realnie jednak sytuacja, w której zbiornik gazu przed przystąpieniem do procesu tankowania byłby całkowicie opróżniony jest w zasadzie niespotykana.



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



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

Wartość energetyczna 1 m³ CNG jest niższa niż 1 litra oleju napędowego, co jak pokazuje faktyczna eksploatacja pojazdów wykorzystywanych przez MZK Zamość wskazuje na średnie zużycie gazu wynoszące 56,75 l CNG/100km. Aktualna cena gazu ziemnego na stacjach PGNiG wynosi 3,64 zł¹⁴. Cena ta (względem pierwotnej wersji analizy z 2018 r.) obniżyła się z 3,90 zł, dzięki zwolnieniu z akcyzy, które wprowadziła przyjęta 1 czerwca 2018 r. nowelizacja o podatku akcyzowym¹⁵. Przy obniżonej cenie gazu koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosiłby 196,08 zł (przy spalaniu 58 Nm³ CNG/100km). Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 Nm³ zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 750 km.

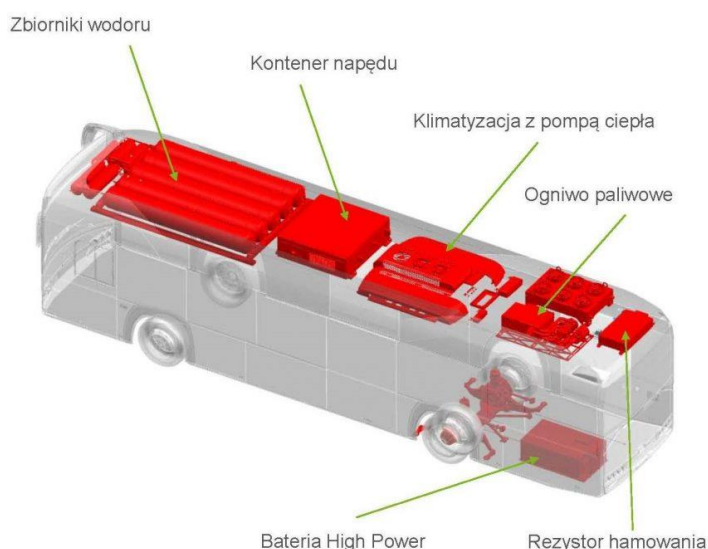


Trzecim wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego paliwem wodorowym. Choć na dzień sporządzania analizy na polskich drogach (z wyjątkiem projektów badawczych bądź testowych) nie kursują regularne linie autobusów z napędem wodorowym, to istnieją na rynku sprawdzone rozwiązania techniczne stosowane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

¹⁴ <http://pgnig.pl/cng/cennik-cng>

¹⁵ <https://cng.auto.pl/15554/zerowa-stawka-akcyzy-na-gaz-ziemny-cng-i-lng-od-1-czerwca-2018-r/>

łącznie na europejskich drogach kursuje już ponad 50 autobusów wodorowych tej marki ¹⁶. Plan wdrożenia do produkcji autobusów wodorowych ogłosili również polscy producenci – Ursus (model Ursus City Smile CS12H) oraz Solaris (model Solaris Urbino 12 Hydrogen). Oba w klasie MAXI, z zasięgiem teoretycznym wynoszącym 350 km. Pod względem funkcjonalnym autobusy wodorowe nie różnią się od swoich elektrycznych odpowiedników. Różnica sprowadza się jedynie do zasobnika energii – zamiast baterii, posiadają one zbiornik wodoru.



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

Zakup autobusów z napędem wodorowym, jest więc możliwy, jednakże, aktualnie na terenie kraju brak jakiegokolwiek infrastruktury tankowania pojazdów wodorowych. W przypadku wprowadzenia autobusów wodorowych do komunikacji miejskiej, konieczne byłoby przeprowadzenie inwestycji nie tylko w sam tabor, ale również w stację tankowania wodoru oraz kontraktację samego paliwa od zewnętrznych dostawców.

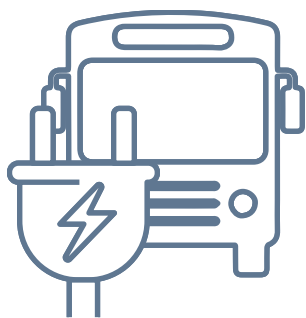
Zakup autobusów z napędem wodorowym jest więc możliwy, jednakże aktualnie na terenie Polski brak jakiegokolwiek infrastruktury tankowania pojazdów wodorowych (choć są pierwsze plany utworzenia stacji tankowania wodoru¹⁷). Rynkowa cena wodoru wynosi 9,50 Euro, tj. ok 40-45 zł za kg. Autobus komunikacji miejskiej zużywa ok. 8 kg wodoru na 100 km¹⁸, a więc koszt przejechania 100 km wynosiłby aktualnie aż 320 zł. Oprócz kosztu zakupu autobusu wynoszącego ok. 4 mln zł, trzeba mieć na względzie również koszt budowy stacji tankowania wodorem, której koszt szacować należy na kwotę 4-6 mln zł.

¹⁶ http://infobus.pl/autobusy-wodorowe-w-praktyce-niemcy-film-_more_106351.html

¹⁷ https://www.lotos.pl/322/n,4845/wodor_na_stacjach_lotosu_od_2021

¹⁸ http://infobus.pl/autobusy-wodorowe-w-praktyce-niemcy-film-_more_106351.html

Ad. 2 Uwarunkowania lokalne



MZK w Zamościu, posiada zajezdnię autobusową zlokalizowaną w Zamościu przy ul. Lipowej 5 wyposażoną w zaplecze warsztatowe, nowoczesną halę postojową oraz stację tankowania CNG. Aktualnie MZK w Zamościu pełni rolę operatora na wszystkich liniach dla których organizatorem przewozów jest Miasto Zamość.

Ma to szczególnie istotne znaczenie z perspektywy analizowanych wariantów alternatywnych: gazowego, wodorowego oraz elektrycznego. **Dla pierwszego wariantu alternatywnego**, oprócz zakupu autobusów konieczne jest stworzenie odpowiedniej infrastruktury ładowania.

W chwili obecnej na terenie Miasta Zamość oraz MZK Sp. z o.o. w Zamościu nie ma stacji ładowania autobusów elektrycznych. Planowane jest uruchomienie 7 ładowarek dwustanowiskowych - ładowanie wolne na terenie zajezdni MZK Sp. z o.o. w Zamościu. Nie przewiduje się budowy ładowarek pantografowych lub innych niż ww. wymienione. Jednakże nie wyklucza się ich potencjalnej instalacji w przyszłości.

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

Czas doładowania baterii przez stację pantografową wynosić powinien przynajmniej 15 minut (energia dostarczona w tym czasie powinna wystarczyć na dodatkowe 45 km jazdy autobusu). W przypadku zastosowania technologii pantografowej, konieczne jest przeanalizowanie rozkładów jazdy pod kątem zmienionych (wydłużonych czasów przejazdu) uwzględniających wydłużenie czasu postojów na pętach, przeznaczonych na ładowanie baterii przez stacje pantografowe;

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

- 1) Określenia stanu początkowego naładowania baterii oraz odległości dojazdowej od miejsca postoju do przystanku początkowego;
- 2) Zużycie energii w ramach przejazdu „TAM” i przejazdu „POWRÓT” w ramach narastających kursów w ciągu dnia;
- 3) Energię doładowywaną między kursami



Tabela przedstawia przykładową dobową symulację pracy przewozowej autobusu elektrycznej na linii o długości 10 km.

Tabela 5 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym

Zużycie energii	1,20	kWh/km
Wydajność ładowania baterii	3,00	kWh/min

Zdarzenie	Parametr	dojazd	Kolejne kursy										powrót
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Przejazd na przystanek końcowy	Odległość	5,00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii początkowy	200,00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Zmiana	6,00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Stan energii końcowy	194,00	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Doładowanie na przystanku początkowym/kończącym	Czas ładowania	x	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	x
	Stan energii początkowy	x	194,00	170,00	146,00	122,00	98,00	134,00	110,00	86,00	122,00	98,00	x
	Zmiana	x	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	0,00	0,00	60,00	0,00	0,00	x
	Stan energii końcowy	x	194,00	170,00	146,00	122,00	158,00	134,00	110,00	146,00	122,00	98,00	x
Przejazd "tam"	Odległość	x	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	x
	Stan energii początkowy	x	194,00	170,00	146,00	122,00	158,00	134,00	110,00	146,00	122,00	98,00	x
	Zmiana	x	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	x
	Stan energii końcowy	x	182,00	158,00	134,00	110,00	146,00	122,00	98,00	134,00	110,00	86,00	x
Przejazd "powrót"	Odległość	x	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	x
	Stan energii początkowy	x	182,00	158,00	134,00	110,00	146,00	122,00	98,00	134,00	110,00	86,00	x
	Zmiana	x	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	x
	Stan energii końcowy	x	170,00	146,00	122,00	98,00	134,00	110,00	86,00	122,00	98,00	74,00	x
Powrót do zajezdni	Odległość	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5,00
	Stan energii początkowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	74,00
	Zmiana	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6,00
	Stan energii końcowy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	68,00

Łącznie pokonany dystans	210,00	km
Zużyta energia	252,00	kWh
Doładowana energia	120,00	kWh





W przypadku drugiego wariantu alternatywnego, zasięg autobusów napędzanych paliwem CNG, porównywalny jest z zasięgiem autobusów z napędem konwencjonalnym, tym samym uzupełniające tankowanie pojazdów w czasie pracy przewozowej, nie jest konieczne. Jedynym ograniczeniem w stosunku do pojazdów spalających olej napędowy jest czas wtłaczania gazu do zbiorników. Standardowe zbiorniki gazu w autobusach posiadają pojemność od 250 Nm³ (dla autobusów klasy MAXI) do 320 Nm³ (dla autobusów klasy MEGA) i w przypadku stacji wolnego ładowania, czas tankowania pustego zbiornika może trwać nawet kilka godzin (stacje wolnego ładowania posiadają wydajność tłoczenia gazu wynoszącą od 3,4 Nm³/h do 60 Nm³/h). Na dzień sporządzania analizy na terenie Miasta Zamość istnieje czynna stacja tankowania CNG będąca własnością MZK w Zamościu. Ze stacji tankowania CNG, korzystać mogą nie tylko miejskie autobusy, ale również użytkownicy prywatni – właściciele samochodów osobowych oraz dostawczych zasilanych CNG.



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

Budowa stacji ładowania pojazdów wodorowych, w warunkach polskich jest przedsięwzięciem nie tylko znaczącym, ale również pionierskim – na terenie kraju nie funkcjonuje na dzień sporządzania analizy żadna stacja dystrybucyjna umożliwiająca tankowanie pojazdów wodorowych. Potencjalną lokalizacją dla stacji tankowania wodoru, podobnie jak w przypadku stacji CNG, mogłaby być stacja paliw MZK Zamość. Choć polscy producenci autobusów zapowiadają wdrożenie do produkcji pierwszych modeli z napędem wodorowym¹⁹, a technologia budowy samych stacji funkcjonuje, choć nie w Polsce, to na terenie Unii Europejskiej, to jednak podstawową przeszkodą dla zakupu autobusów z napędem wodorowym, jest brak możliwości zakupu na terenie kraju paliwa wodorowego na cele transportowe. Na dzień sporządzania analizy nie znaleziono żadnych podmiotów zajmujących się sprzedażą, dystrybucją czy transportem wodoru na terenie kraju. Tym samym budowa własnej stacji tankowania wodoru nie rozwiązuje podstawowego problemu technicznego jakim jest zakup samego paliwa.

¹⁹ <https://forsal.pl/artykuly/1142863,autobus-wodorowy-od-solarisa-w-2019-roku-premiera-pojazdu-nowej-generacji.html>



Wynik analizy technicznej

Przeprowadzona analiza techniczna wskazuje, że w przypadku inwestycji w tabor zeroemisyjny, oprócz nakładów związanych z zakupem samych autobusów, konieczna będzie rozbudowa infrastruktury związanej z budową stacji ładowania pojazdów elektrycznych. W modelu finansowania wdrożenia pojazdów do taboru poprzez najem długoterminowy, koszty takie zostałyby włączone w łączną ratę najmu. W przypadku wykorzystania autobusów z napędem gazowym, stacji tankowania CNG znajduje się na terenie zajezdni MZK. Instalacja składa się między innymi z 2 stanowisk z dystrybutorami.

Na terenie zajezdni zidentyfikowano lokalizacje, które mogłyby zostać przeznaczone na stacje ładowania pojazdów elektrycznych. W przypadku jednak wariantu zakupu autobusów zasilanych paliwem wodorowym brak jest technicznych możliwości zakupu paliwa, a tym samym świadczenia usług przewozowych taborom napędzanym paliwem wodorowym.

Dalszą analizę przeprowadzono zatem wyłącznie jako porównanie wariantu bazowego (eksploatacja autobusów o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy EURO6, bez nakładów infrastrukturalnych) oraz wariantu alternatywnego I (eksploatacja autobusów o napędzie elektrycznym, wraz z nakładami infrastrukturalnymi na budowę stacji ładowania) oraz wariantu alternatywnego II (eksploatacja autobusów zasilanych CNG). Analizę wariantu III – zasilania autobusów paliwem wodorowym, zakończono na etapie analizy technicznej, stwierdzając, iż wdrożenie go w obecnym stanie rozwoju rynku oraz dostępnych rozwiązań technologicznych w przypadku Miasta Zamość nie jest możliwe.





VII. ANALIZA FINANSOWA

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

Zgodnie z zapisami art. 35 Ustawy, terminy osiągnięcia ustawowych progów udziału pojazdów zeroemisyjnych w całkowitej badanej flocie autobusowej ustalono zgodnie z wymogami ustawowymi wynoszącymi:

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

W analizie zatem okres inwestycyjny – ponoszenia wydatków określono w stopniu pozwalającym wypełnić ww. wymogi stopniując wydatki w latach 2020-2027, natomiast okres odniesienia (trwałości inwestycji) na okres piętnastoletni, licząc od roku rozpoczęcia inwestycji tj. lata 2020-2035.

Stosowane założenia stanowią odzwierciedlenie prognoz makroekonomicznych oraz analiz branżowych.

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

Koszty eksploatacji i utrzymania przyjęto na bazie aktualnie posiadanej wiedzy technicznej autorów niniejszej analizy i opracowań branżowych.

Analizę sporządzono w cenach stałych, według roku bazowego – bez uwzględnienia wpływu inflacji. Koszty serwisowe szacowano w oparciu o dane MPK Tarnów, które określiło uśredniony w czasie koszt serwisowy w przypadku autobusu na olej napędowy: 0,26 PLN/km oraz CNG: 0,28 PLN/km²⁰.

²⁰http://pspa.com.pl/assets/uploads/2018/06/Paliwa_alternatywne_w_komunikacji_miejskiej_PSPA_PKPA.pdf



Analizie poddano następujące warianty:

- 1) Wariant bazowy – zakup i eksploatacja autobusów z napędem konwencjonalnym;
- 2) Wariant alternatywny I – zakup autobusów z napędem elektrycznym wraz z niezbędną infrastrukturą –gniazdami wolnego ładowania zlokalizowanymi na terenie zajezdni autobusowej;
- 3) Wariant alternatywny II - zakup i eksploatacja autobusów zasilanych CNG z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury – stacji tankowania CNG.

Przyjmując wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie autobusowej liczącej 40 pojazdów na przestrzeni poszczególnych lat, przyjęto plan wydatków inwestycyjny zgodnie z tabelą:

Tabela 6 Plan inwestycyjny

Pozycja/Rok	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Autobus ON	0	0	5	9	0	0	0	0
Autobus elektryczny	0	0	5	9	0	0	0	0
Autobus CNG	0	0	5	9	0	0	0	0
Pozycja/Rok	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Autobus ON	0	0	0	0	0	0	0	0
Autobus elektryczny	0	0	0	0	0	0	0	0
Autobus CNG	0	0	0	0	0	0	0	0

Realizacja powyżej założonego planu pozwoli spełnić ustawowe progi modernizacji taboru autobusowego zgodnie ze wskazaniem wskazanymi poniżej.

Tabela 7 Udział pojazdów zeroemisyjnych - założenia

Termin	Wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie	Liczba pojazdów we flocie	Liczba pojazdów zeroemisyjnych	Faktyczny udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie
1 stycznia 2023	10%	40	14	35%
1 stycznia 2025	20%	40	14	35%
1 stycznia 2028	30%	40	14	35%



Nakłady inwestycyjne

Tabela 8 Nakłady inwestycyjne - wariant bazowy

Wydatek	Cena jednostkowa	Liczba	Wydatki łącznie
Autobus o napędzie konwencjonalnym	1 000 000 zł	14	14 000 000 zł

Tabela 9 Nakłady inwestycyjne - wariant alternatywny I

Wydatek	Cena jednostkowa	Liczba	Wydatki łącznie
Autobus o napędzie elektrycznym	3 000 000	10	30 000 000
Autobus o napędzie elektrycznym	3 500 000	4	14 000 000
Gniazda wolnego ładowania	285 714	7	1 999 998
		SUMA	45 999 998 zł

Tabela 10 Nakłady inwestycyjne - wariant alternatywny II

Wydatek	Cena jednostkowa	Liczba	Wydatki łącznie
Autobus zasilany CNG	1 500 000,00 zł	14	21 000 000 zł

Koszty operacyjne

W analizie wydatków związanych z eksploatacją zakupionych pojazdów uwzględniono wydatki wynikające ze zużycia paliwa/energii oraz wydatki utrzymaniowe (przeglądy, naprawy). Dodatkowo w przypadku pojazdów elektrycznych uwzględniono okresową wymianę baterii.

Tabela 11 Założenia podstawowych kosztów operacyjnych

Pozycja	Wariant bazowy - autobus z napędem konwencjonalnym	Wariant alternatywny - autobus elektryczny	Wariant alternatywny - autobus CNG
Przebieg [km/rok]	70 000,00	70 000,00	70 000,00
Zużycie paliwa/energii [l/100km lub kWh/100km lub Nm ³ /100km]	39,00	120,00	61,00
Jednostkowa cena paliwa/energii [zł/l lub zł/kWh]	4,50 zł	0,397 zł	3,20

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

Wartość średniego przebiegu wynosząca 70 000 km/rok odpowiada średniej aktualnej pracy przewozowej wykonywanej w ciągu roku przez statystyczny autobus w taborze MZK Zamość.





Zgodnie z założeniami zawartymi w tabeli zamieszczonej poniżej, koszt przejechania 1 km wyłącznie w zakresie kosztów paliwa wynosi:

- 1) 1,76 zł/km dla autobusu zasilanego olejem napędowym,
- 2) 0,48 zł/km dla autobusu z napędem elektrycznym,
- 3) 1,95 zł/km dla autobusu zasilanego CNG.

W ostatecznym koszcie wozokilometra należy uwzględnić jednak również inwestycje początkowe.

Porównanie pełnej prognozy finansowej poszczególnych wariantów, znajduje się w tabelach zamieszczonych poniżej.



Tabela 12 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant bazowy

Wariant bazowy								
Pozycja/Rok	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Wydatki inwestycyjne razem	- zł	- zł	5 000 000,00 zł	9 000 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Zakup autobusów	- zł	- zł	5 000 000,00 zł	9 000 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Ilość zakupionych autobusów	0	0	5	9	0	0	0	0
Wydatki eksploatacyjne razem	0,00 zł	0,00 zł	707 000,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł
Paliwo	0,00 zł	0,00 zł	616 000,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł
Liczba wozokilometrów	0	0,00	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt paliwa na wozokilometr	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł
Naprawy i konserwacje	0,00 zł	0,00 zł	91 000,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł
Liczba wozokilometrów	0	0,00	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt napraw na wozokilometr	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł

Tabela 13 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant bazowy cd.

Wariant bazowy								
Pozycja/Rok	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Wydatki inwestycyjne razem	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Zakup autobusów	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Ilość zakupionych autobusów	0	0	0	0	0	0	0	0
Wydatki eksploatacyjne razem	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł	1 979 600,00 zł
Paliwo	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł	1 724 800,00 zł
Liczba wozokilometrów	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt paliwa na wozokilometr	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł	1,76 zł
Naprawy i konserwacje	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł	254 800,00 zł
Liczba wozokilometrów	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt napraw na wozokilometr	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł	0,26 zł





Tabela 14 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy elektryczne

Wariant alternatywny - autobusy elektryczne								
Pozycja/Rok	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Koszt najmu	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Wydatki inwestycyjne razem	0,00 zł	0,00 zł	3 471 660,00 zł	6 428 999,57 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Zakup autobusów	0,00 zł	0,00 zł	16 200 000,00 zł	29 999 998,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Refundacja kosztów zakupu (dotacja)	0,00 zł	0,00 zł	12 728 340,00 zł	23 570 998,43 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Liczba wynajętych autobusów	0	15	0	0	0	0	0	0
Liczba zakupionych autobusów	0	0	0	0	0	15	0	0
Wydatki eksploatacyjne razem	0,00 zł	60 480,00 zł	272 720,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł
Paliwo	0,00 zł	0,00 zł	166 740,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł
Liczba wozokilometrów	0	0,00	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt paliwa na wozokilometr	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł
Koszty opłaty przyłączeniowej	- zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł
Stawka opłaty przyłączeniowej [zł/MW/rok]	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł
Moc stacji pantografowych [MW]	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Naprawy i konserwacje	- zł	- zł	45 500,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł
Liczba wozokilometrów	-	-	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt napraw na wozokilometr	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł
Koszt wymiany baterii	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł





Tabela 15 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy elektryczne cd.

Wariant alternatywny - autobusy elektryczne								
Pozycja/Rok	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Koszt najmu	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Wydatki inwestycyjne razem	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Zakup autobusów	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Refundacja kosztów zakupu (dotacja)	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Liczba wynajętych autobusów	0	0	0	0	0	0	0	0
Liczba zakupionych autobusów	15	0	0	0	0	0	0	0
Wydatki eksploatacyjne razem	11 854 752,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł	11 854 752,00 zł	654 752,00 zł	654 752,00 zł
Paliwo	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł	466 872,00 zł
Liczba wozokilometrów	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt paliwa na wozokilometr	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł	0,48 zł
Koszty opłaty przyłączeniowej	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł	60 480,00 zł
Stawka opłaty przyłączeniowej [zł/MW/rok]	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł	100 800,00 zł
Moc stacji pantografowych [MW]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Naprawy i konserwacje	11 327 400,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł	11 327 400,00 zł	127 400,00 zł	127 400,00 zł
Liczba wozokilometrów	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt napraw na wozokilometr	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł	0,13 zł
Koszt wymiany baterii	11 200 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł	11 200 000,00 zł	- zł	- zł



Tabela 16 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG

Wariant alternatywny - autobus zasilany CNG								
Pozycja/Rok	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Wydatki inwestycyjne razem	- zł	- zł	7 500 000,00 zł	13 500 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Zakup autobusów	- zł	- zł	7 500 000,00 zł	13 500 000,00 zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Budowa stacji CNG	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Ilość zakupionych autobusów	0	0	5	9	0	0	0	0
Wydatki eksploatacyjne razem	0,00 zł	0,00 zł	780 342,50 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł
Paliwo	0,00 zł	0,00 zł	682 342,50 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł
Liczba wozokilometrów	0,00	0,00	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt paliwa na wozokilometr	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł
Naprawy i konserwacje	0,00 zł	0,00 zł	98 000,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł
Liczba wozokilometrów	0,00	0,00	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt napraw na wozokilometr	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł

Tabela 17 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG cd.

Wariant alternatywny - autobus zasilany CNG								
Pozycja/Rok	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Wydatki inwestycyjne razem	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Zakup autobusów	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Budowa stacji CNG	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilość zakupionych autobusów	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł	2 184 959,00 zł
Wydatki eksploatacyjne razem	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł	1 910 559,00 zł
Paliwo	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Liczba wozokilometrów	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł	1,95 zł
Koszt paliwa na wozokilometr	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł	274 400,00 zł
Naprawy i konserwacje	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Liczba wozokilometrów	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł	0,28 zł
Koszt napraw na wozokilometr	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035





Tabela 18 Matryca DGC - wariant bazowy

Wariant bazowy									
Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	km	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,92	5 000 000,00	616 000,00	91 000,00	350 000,00	5 276 442,31	323 594,67	
2023	3	0,89	9 000 000,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	9 760 824,42	871 216,43	
2024	4	0,85	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 692 170,38	837 708,11	
2025	5	0,82	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 627 086,90	805 488,56	
2026	6	0,79	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 564 506,64	774 508,24	
2027	7	0,76	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 504 333,30	744 719,46	
2028	8	0,73	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 446 474,33	716 076,40	
2029	9	0,70	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 390 840,70	688 535,00	
2030	10	0,68	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 337 346,83	662 052,89	
2031	11	0,65	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 285 910,41	636 589,31	
2032	12	0,62	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 236 452,32	612 105,11	
2033	13	0,60	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 188 896,46	588 562,60	
2034	14	0,58	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 143 169,67	565 925,58	
2035	15	0,56	0,00	1 724 800,00	254 800,00	980 000,00	1 099 201,61	544 159,21	
		RAZEM	14 000 000,00	23 038 400,00	3 403 400,00	13 090 000,00	31 553 656,28	9 371 241,58	3,37





Tabela 19 Matryca DGC - wariant alternatywny – autobusy elektryczne

Wariant elektryczny									
Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia energii	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	km	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	0,96	0,00	0,00	60 480,00	0,00	58 153,85	0,00	
2022	2	0,92	3 471 660,00	166 740,00	105 980,00	350 000,00	3 461 889,79	323 594,67	
2023	3	0,89	6 428 999,57	466 872,00	187 880,00	980 000,00	6 297 429,35	871 216,43	
2024	4	0,85	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	559 684,75	837 708,11	
2025	5	0,82	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	538 158,42	805 488,56	
2026	6	0,79	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	517 460,02	774 508,24	
2027	7	0,76	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	497 557,71	744 719,46	
2028	8	0,73	0,00	466 872,00	11 387 880,00	980 000,00	8 662 151,17	716 076,40	
2029	9	0,70	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	460 020,07	688 535,00	
2030	10	0,68	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	442 326,99	662 052,89	
2031	11	0,65	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	425 314,41	636 589,31	
2032	12	0,62	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	408 956,17	612 105,11	
2033	13	0,60	0,00	466 872,00	11 387 880,00	980 000,00	7 119 656,85	588 562,60	
2034	14	0,58	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	378 102,97	565 925,58	
2035	15	0,56	0,00	466 872,00	187 880,00	980 000,00	363 560,54	544 159,21	
		RAZEM	9 900 659,57	6 236 076,00	25 008 900,00	13 090 000,00	30 190 423,06	9 371 241,58	3,22





Tabela 20 Matryca DGC - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG

Wariant CNG									
Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	km	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,92	7 500 000,00	682 342,50	98 000,00	350 000,00	7 655 642,10	323 594,67	
2023	3	0,89	13 500 000,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	13 943 871,44	871 216,43	
2024	4	0,85	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 867 712,11	837 708,11	
2025	5	0,82	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 795 877,03	805 488,56	
2026	6	0,79	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 726 804,84	774 508,24	
2027	7	0,76	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 660 389,27	744 719,46	
2028	8	0,73	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 596 528,14	716 076,40	
2029	9	0,70	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 535 123,21	688 535,00	
2030	10	0,68	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 476 080,01	662 052,89	
2031	11	0,65	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 419 307,70	636 589,31	
2032	12	0,62	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 364 718,94	612 105,11	
2033	13	0,60	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 312 229,75	588 562,60	
2034	14	0,58	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 261 759,38	565 925,58	
2035	15	0,56	0,00	1 910 559,00	274 400,00	980 000,00	1 213 230,17	544 159,21	
		RAZEM	21 000 000,00	25 519 609,50	3 665 200,00	13 090 000,00	39 829 274,10	9 371 241,58	4,25



Pierwsza część analizy – prognoza wydatków, obrazuje poziom kosztów związanych z inwestycjami oraz eksploatacją w kolejnych latach, druga natomiast – analiza matrycami DGC (Dynamiczny koszt jednostkowy) - pozwala porównać koszt wozokilometra w poszczególnych wariantach z uwzględnieniem nie tylko bieżących kosztów eksploatacji, ale również inwestycji. Metoda ta pozwala wybrać wariant charakteryzujący się najwyższą efektywnością kosztową.

Wskaźnik efektywności kosztowej winien przyjmować jak najniższą wartość – im niższy jest stosunek wartości nakładów do wielkości efektów, tym inwestycja jest bardziej efektywna. (por. Małecki P., *Zeszyty Naukowe nr 860 Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 2011*)

Jak wskazują matryce DGC zamieszczone powyżej, wariant elektryczny charakteryzuje się znacząco niższymi kosztami eksploatacyjnymi niż warianty pozostałe, a dzięki refundacji kosztów zakupu autobusów ze środków zewnętrznych również koszt inwestycyjny nie jest większy niż w wariantach alternatywnych

Porównanie wyników analizy finansowej przedstawia tabela zamieszczona poniżej.

Tabela 21 Porównanie kosztu jednostkowego w wariantach

Wariant	koszt paliwa	koszt paliwa + eksploatacji + inwestycji
Autobusy zasilane ON	1,76 zł	3,37 zł
Autobusy zasilane en. elektryczną	0,48 zł	3,22 zł
Autobusy zasilane CNG	1,95 zł	4,25 zł

Wymaga jednak podkreślenia, że w przypadku wariantu zakupu pojazdów elektrycznych, wskazany wartość kosztu jednostkowego (DGC) możliwa jest wyłącznie dzięki dofinansowaniu zakupu pojazdów w formie dotacyjnej, którą przyjęto w wysokości 78,57%.

Brak dofinansowania skutkuje nieopłacalnością ekonomiczną względem pozostałych wariantów.

W przypadku potencjalnego dofinansowania zachodzi zatem tzw. efekt zachęty - **w przypadku braku pomocy zewnętrznej, projekt zakupu autobusów elektrycznych nie będzie mógł być zrealizowany.**



VIII. OSZACOWANIE EFEKTÓW ŚRODOWISKOWYCH WARIANTÓW INWESTYCYJNYCH

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

- 1) dwutlenek węgla
- 2) tlenek węgla
- 3) sadza
- 4) tlenki siarki
- 5) tlenki azotu
- 6) węglowodory
- 7) dymy, popioły i inne substancje klasyfikowane jako cząstki stałe.

Ze względów na wymagania ekologiczne dąży się do ograniczenia emisji szczególnie szkodliwych dla środowiska oraz człowieka, a maksymalny dopuszczalny poziom emisji w pojazdach homologowanych na rynku europejskim określa obowiązująca od początku 2014 r. norma EURO 6.

Tabela 22 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EURO6

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

Podstawą określenia emisyjności poszczególnych substancji jest zatem wykonywana praca przewozowa – ilość przejechanych kilometrów.

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

Tabela 23 według wartości opałowe (WO) i wskaźników emisji CO₂ (WE) do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2017

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa (WO) [MJ/kg]	Gęstość paliwa [kg/l]; [kg/m ³]	Wskaźnik emisji (WE CO ₂) [kg/GJ]
olej napędowy	43,0	0,840	74,1
benzyna	44,3	0,755	69,3
LPG	47,3	0,500	63,1
CNG	36,3	0,740	56,1



Wartość emisji autobusu napędzanego CNG, przyjęto zgodnie z raportem „Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej”²¹.

Tabela 24 Wskaźniki emisyjności - autobus CNG

Zanieczyszczenie	Wartość emisji	Jednostka
CO (tlenek węgla)	0,05	g/km
HC/THC (węglowodory)	0,034	g/km
NOx (tlenki azotu)	0,016	g/km
PM (pyły)	0,000225	g/km

Na potrzeby analizy, przyjęto założenie w zakresie realizowanej rocznie przez jeden autobus ilości wozokilometrów wynoszące 70 000 wozokilometrów/rok. Opierając się na tej wartości, sporządzono porównanie emisyjności jednego autobusu i przedstawiono w tabeli zamieszczonej poniżej.

Tabela 25 Porównanie emisyjności autobusu z napędem konwencjonalnym oraz z napędem elektrycznym

Pozycja	autobus z napędem konwencjonalnym	autobus zasilany energią elektryczną	autobus zasilany CNG	Jednostka
Przebieg	70 000,00	70 000,00	70 000,00	km
Zużycie paliwa/energii	41,00	120,00	61,00	l/100km lub kWh/100km lub m ³ /100km
Emisja CO (tlenek węgla)	35,00	-	3,50	kg
Emisja HC/THC (węglowodory)	11,90	-	2,38	kg
Emisja NOx (tlenki azotu)	5,60	-	1,12	kg
Emisja PM (pyły)	0,32	-	0,02	kg
Emisja CO ₂ (dwutlenek węgla)	76 815,32	-	64 347,12	kg

Dla autobusów elektrycznych przyjęto, iż w miejscu ich eksploatacji nie występują szkodliwe emisje, choć należy pamiętać i mieć świadomość tego, że energia elektryczna w Polsce produkowana jest w istotnej mierze z węgla kamiennego i do czasu zmiany polskiego miksu energetycznego i zwiększenia w nim udziału źródeł odnawialnych (lub atomu), zeroemisyjność autobusów elektrycznych może być kwestionowana poprzez wykazanie substancji szkodliwych emitowanych w konwencjonalnych elektrowniach węglowych.

Porównanie efektu ekologicznego inwestycji w odniesieniu do pełnego zakresu analizowanych wariantów inwestycyjnych na przestrzeni okresu czasowego analizy (przyjmując łączną ilość wozokilometrów pokonanych w tym czasie), zamieszczono w tabeli poniżej.

²¹http://pspa.com.pl/assets/uploads/2018/06/Paliwa_alternatywne_w_komunikacji_miejskiej_PSPA_KPA.pdf





Tabela 26 Porównanie emisyjności w wariantach inwestycyjnych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - autobus elektryczny	Wariant II - autobus zasilany CNG	Jednostka
Łączny przebieg	13 090 000,00	13 090 000,00	13 090 000,00	km
Zużycie paliwa/energii	41,00	120,00	61,00	l/100km lub kWh/100km lub m3/100km
Emisja CO (tlenek węgla)	6,55	-	0,65	Mg
Emisja HC/THC (węglowodory)	2,23	-	0,45	Mg
Emisja NOx (tlenki azotu)	1,05	-	0,21	Mg
Emisja PM (pyły)	0,06	-	0,00	Mg
Emisja CO2 (dwutlenek węgla)	14 364,46	-	12 032,91	Mg





IX. ANALIZA SPOŁECZNO - EKONOMICZNA

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

Najprościej więc ujmując analiza społeczno-ekonomiczna stanowi wycenę dodatkowych kosztów/korzyści społecznych, których nie uwzględnia się w analizie finansowej.

Przypisanie skwantyfikowanej wartości do korzyści społecznych bądź środowiskowych umożliwiając tablice kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści Centrum Unijnych Projektów Transportowych CUPT²². Przyjęcie jakie natomiast korzyści powinniśmy brać pod uwagę w przypadku projektów z zakresu wymiany taboru autobusowego, wskazują zapisy dokumentów metodycznych, w szczególności:

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

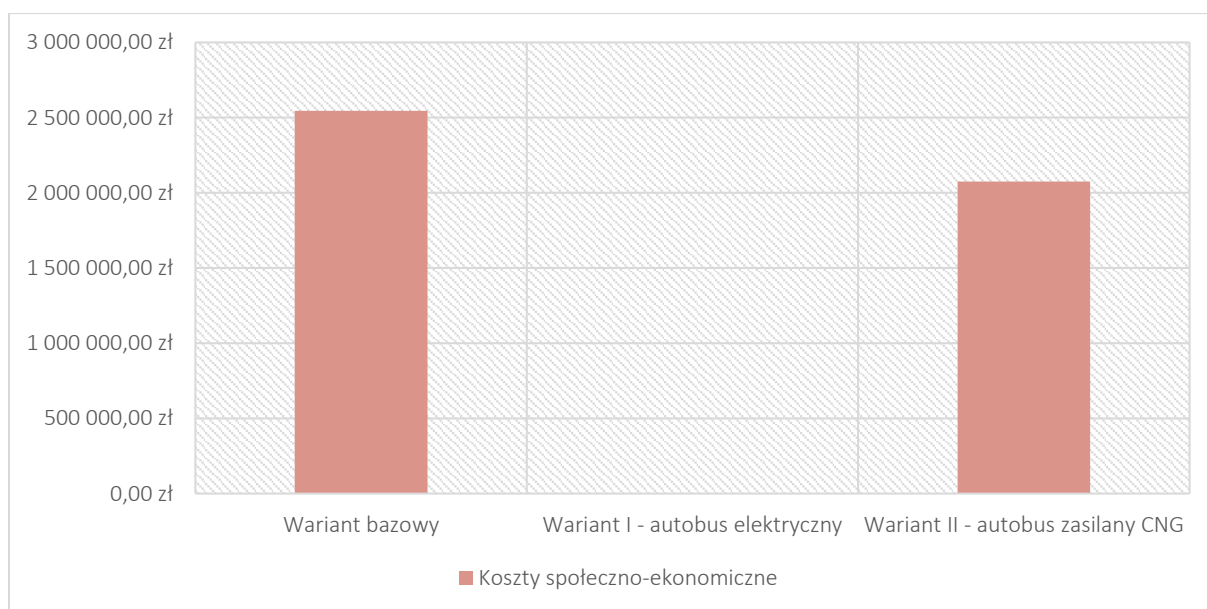
²² www.cupt.gov.pl



Przyjęte do analizy korzyści/koszty społeczne uwzględniają:

- 1) Uniknięte koszty zanieczyszczeń powietrza, wynikające z emisji substancji szkodliwych: pyłów PM oraz związków azotu NOx;
- 2) Uniknięte koszty hałasu, wynikające z przemieszczania się autobusów po drogach publicznych;
- 3) Koszty zmian klimatycznych, wynikające z emisji dwutlenku węgla CO₂;

Podsumowanie wyników analizy społeczno-ekonomicznej wskazuje wykres zamieszczony poniżej. Wynik analizy nawiązuje bezpośrednio do obliczonych w rozdziale VII skutków środowiskowych inwestycji. Autobusy elektryczne choć wykorzystują energię dostarczaną z polskich sieci elektroenergetycznych, której wyprodukowanie w elektrowniach konwencjonalnych skutkuje istotnymi emisjami, to w miejscu eksploatacji mają charakter zeroemisyjny. Dodatkowo silnik pojazdów elektrycznych jest cichy i w zasadzie jedyny generowany hałas związany jest z oporami toczenia.



Rysunek 9 Porównanie kosztów społecznych



Tabela 27 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant bazowy – autobusy z napędem konwencjonalnym, cz.1

Wariant bazowy								
Pozycja/Rok	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Koszt zmian klimatycznych	- zł	- zł	68 951,08 zł	198 425,89 zł	203 788,76 zł	209 151,62 zł	214 514,48 zł	219 877,34 zł
Wartość emisji gazów cieplarnianych wg Europejskiego Banku Inwestycyjnego [PLN/MgCO ₂]	169,55 zł	174,54 zł	179,52 zł	184,51 zł	189,50 zł	194,48 zł	199,47 zł	204,46 zł
Emisja CO ₂ [MgCO ₂]	-	-	384,08	1 075,41	1 075,41	1 075,41	1 075,41	1 075,41
Koszty hałasu	- zł	- zł	7 724,79 zł	22 269,39 zł	22 859,86 zł	23 450,95 zł	24 060,80 zł	24 670,80 zł
Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu [zł/wozokilometr]	0,021 zł	0,021 zł	0,022 zł	0,023 zł	0,023 zł	0,024 zł	0,025 zł	0,025 zł
Liczba wozokilometrów [km]	-	-	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt zanieczyszczenia powietrza	- zł	- zł	4 285,89 zł	12 355,58 zł	12 683,19 zł	13 011,14 zł	13 349,50 zł	13 687,94 zł
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgNO _x]	74 773,54 zł	77 088,90 zł	79 422,32 zł	81 772,32 zł	83 940,50 zł	86 110,95 zł	88 350,29 zł	90 590,20 zł
Emisja NO _x [MgNO _x]	0,000	0,000	0,028	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgPM]	1 232 616,80 zł	1 270 784,70 zł	1 309 250,43 zł	1 347 989,44 zł	1 383 731,06 zł	1 419 510,26 zł	1 456 425,05 zł	1 493 349,23 zł
Emisja PM [MgPM]	0,000	0,000	0,002	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Koszty społeczne razem	- zł	- zł	80 961,76 zł	233 050,87 zł	239 331,80 zł	245 613,70 zł	251 924,77 zł	258 236,08 zł





Tabela 28 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant bazowy – autobusy z napędem konwencjonalnym, cz.2

Wariant bazowy								
Pozycja/Rok	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Koszt zmian klimatycznych	225 240,20 zł	230 603,07 zł	235 965,93 zł	241 328,79 zł	246 691,65 zł	252 054,51 zł	257 417,38 zł	262 780,24 zł
Wartość emisji gazów cieplarnianych wg Europejskiego Banku Inwestycyjnego [PLN/MgCO ₂]	209,45 zł	214,43 zł	219,42 zł	224,41 zł	229,39 zł	234,38 zł	239,37 zł	244,35 zł
Emisja CO ₂ [MgCO ₂]	1 075,41	1 075,41	1 075,41	1 075,41	1 075,41	1 075,41	1 075,41	1 075,41
Koszty hałasu	25 280,18 zł	25 908,39 zł	26 535,18 zł	27 180,88 zł	27 824,78 zł	28 454,39 zł	29 090,56 zł	29 726,73 zł
Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu [zł/wozokilometr]	0,026 zł	0,026 zł	0,027 zł	0,028 zł	0,028 zł	0,029 zł	0,030 zł	0,030 zł
Liczba wozokilometrów [km]	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt zanieczyszczenia powietrza	14 026,04 zł	14 374,58 zł	14 722,35 zł	15 080,60 zł	15 437,85 zł	15 787,17 zł	16 140,13 zł	16 493,09 zł
Koszty jednostkowe emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgNO _x]	92 827,83 zł	95 134,57 zł	97 436,14 zł	99 807,13 zł	102 171,50 zł	104 483,40 zł	106 819,39 zł	109 155,37 zł
Emisja NO _x [MgNO _x]	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
Koszty jednostkowe emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgPM]	1 530 235,83 zł	1 568 261,65 zł	1 606 202,23 zł	1 645 287,16 zł	1 684 262,97 zł	1 722 373,91 zł	1 760 881,89 zł	1 799 389,86 zł
Emisja PM [MgPM]	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Koszty społeczne razem	264 546,43 zł	270 886,04 zł	277 223,45 zł	283 590,27 zł	289 954,28 zł	296 296,07 zł	302 648,06 zł	309 000,06 zł





Tabela 29 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy elektryczne cz.1

Wariant elektryczny								
Pozycja/Rok	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Koszt zmian klimatycznych	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Wartość emisji gazów cieplarnianych wg Europejskiego Banku Inwestycyjnego [PLN/MgCO ₂]	169,55 zł	174,54 zł	179,52 zł	184,51 zł	189,50 zł	194,48 zł	199,47 zł	204,46 zł
Emisja CO ₂ [MgCO ₂]	-	-	-	-	-	-	-	-
Koszty hałasu	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu [zł/wozokilometr]	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Liczba wozokilometrów [km]	-	-	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt zanieczyszczenia powietrza	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgNO _x]	74 773,54 zł	77 088,90 zł	79 422,32 zł	81 772,32 zł	83 940,50 zł	86 110,95 zł	88 350,29 zł	90 590,20 zł
Emisja NO _x [MgNO _x]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgPM]	1 232 616,80 zł	1 270 784,70 zł	1 309 250,43 zł	1 347 989,44 zł	1 383 731,06 zł	1 419 510,26 zł	1 456 425,05 zł	1 493 349,23 zł
Emisja PM [MgPM]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Koszty społeczne razem	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł





Tabela 30 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy elektryczne cz.2

Wariant elektryczny								
Pozycja/Rok	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Koszt zmian klimatycznych	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Wartość emisji gazów cieplarnianych wg Europejskiego Banku Inwestycyjnego [PLN/MgCO ₂]	209,45 zł	214,43 zł	219,42 zł	224,41 zł	229,39 zł	234,38 zł	239,37 zł	244,35 zł
Emisja CO ₂ [MgCO ₂]	-	-	-	-	-	-	-	-
Koszty hałasu	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu [zł/wozokilometr]	0,013 zł	0,013 zł	0,014 zł	0,014 zł	0,014 zł	0,015 zł	0,015 zł	0,015 zł
Liczba wozokilometrów [km]	-	-	-	-	-	-	-	-
Koszt zanieczyszczenia powietrza	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgNO _x]	92 827,83 zł	95 134,57 zł	97 436,14 zł	99 807,13 zł	102 171,50 zł	104 483,40 zł	106 819,39 zł	109 155,37 zł
Emisja NO _x [MgNO _x]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgPM]	1 530 235,83 zł	1 568 261,65 zł	1 606 202,23 zł	1 645 287,16 zł	1 684 262,97 zł	1 722 373,91 zł	1 760 881,89 zł	1 799 389,86 zł
Emisja PM [MgPM]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Koszty społeczne razem	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł	- zł





Tabela 31 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG cz.1

Wariant gazowy (CNG)								
Pozycja/Rok	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Koszt zmian klimatycznych	- zł	- zł	57 759,35 zł	166 218,58 zł	170 710,98 zł	175 203,37 zł	179 695,77 zł	184 188,16 zł
Wartość emisji gazów cieplarnianych wg Europejskiego Banku Inwestycyjnego [PLN/MgCO ₂]	169,55 zł	174,54 zł	179,52 zł	184,51 zł	189,50 zł	194,48 zł	199,47 zł	204,46 zł
Emisja CO ₂ [MgCO ₂]	-	-	321,74	900,86	900,86	900,86	900,86	900,86
Koszty hałasu	- zł	- zł	7 724,79 zł	22 269,39 zł	22 859,86 zł	23 450,95 zł	24 060,80 zł	24 670,80 zł
Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu [zł/wozokilometr]	0,021 zł	0,021 zł	0,022 zł	0,023 zł	0,023 zł	0,024 zł	0,025 zł	0,025 zł
Liczba wozokilometrów [km]	-	-	350 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt zanieczyszczenia powietrza	- zł	- zł	547,87 zł	1 579,42 zł	1 621,30 zł	1 663,22 zł	1 706,47 zł	1 749,74 zł
Koszty jednostkowe emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgNO _x]	74 773,54 zł	77 088,90 zł	79 422,32 zł	81 772,32 zł	83 940,50 zł	86 110,95 zł	88 350,29 zł	90 590,20 zł
Emisja NO _x [MgNO _x]	0,000	0,000	0,006	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
Koszty jednostkowe emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgPM]	1 232 616,80 zł	1 270 784,70 zł	1 309 250,43 zł	1 347 989,44 zł	1 383 731,06 zł	1 419 510,26 zł	1 456 425,05 zł	1 493 349,23 zł
Emisja PM [MgPM]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Koszty społeczne razem	- zł	- zł	66 032,01 zł	190 067,40 zł	195 192,14 zł	200 317,54 zł	205 463,04 zł	210 608,70 zł





Tabela 32 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG cz.2

Wariant gazowy (CNG)								
Pozycja/Rok	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Koszt zmian klimatycznych	188 680,56 zł	193 172,95 zł	197 665,34 zł	202 157,74 zł	206 650,13 zł	211 142,53 zł	215 634,92 zł	220 127,31 zł
Wartość emisji gazów cieplarnianych wg Europejskiego Banku Inwestycyjnego [PLN/MgCO ₂]	209,45 zł	214,43 zł	219,42 zł	224,41 zł	229,39 zł	234,38 zł	239,37 zł	244,35 zł
Emisja CO ₂ [MgCO ₂]	900,86	900,86	900,86	900,86	900,86	900,86	900,86	900,86
Koszty hałasu	25 280,18 zł	25 908,39 zł	26 535,18 zł	27 180,88 zł	27 824,78 zł	28 454,39 zł	29 090,56 zł	29 726,73 zł
Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu [zł/wozokilometr]	0,026 zł	0,026 zł	0,027 zł	0,028 zł	0,028 zł	0,029 zł	0,030 zł	0,030 zł
Liczba wozokilometrów [km]	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00	980 000,00
Koszt zanieczyszczenia powietrza	1 792,96 zł	1 837,51 zł	1 881,97 zł	1 927,76 zł	1 973,43 zł	2 018,08 zł	2 063,20 zł	2 108,32 zł
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgNO _x]	92 827,83 zł	95 134,57 zł	97 436,14 zł	99 807,13 zł	102 171,50 zł	104 483,40 zł	106 819,39 zł	109 155,37 zł
Emisja NO _x [MgNO _x]	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
Koszty jednostkowy emisji zanieczyszczeń w transporcie lądowym na tonę substancji wyemitowanej [zł/1MgPM]	1 530 235,83 zł	1 568 261,65 zł	1 606 202,23 zł	1 645 287,16 zł	1 684 262,97 zł	1 722 373,91 zł	1 760 881,89 zł	1 799 389,86 zł
Emisja PM [MgPM]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Koszty społeczne razem	215 753,70 zł	220 918,85 zł	226 082,49 zł	231 266,38 zł	236 448,34 zł	241 615,00 zł	246 788,68 zł	251 962,36 zł



X. WNIOSKI I REKOMENDACJE

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

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

Pierwszym elementem analizy była ocena techniczna wdrożenia każdego z ww. rozwiązań. Analiza wykazała jednak, że w świetle dostępnych rozwiązań technicznych, wprowadzenie do eksploatacji autobusów o napędzie wodorowym nie jest możliwe. Na dzień sporządzania analizy na terenie kraju nie funkcjonują żadne komercyjne stacje tankowania wodoru, a możliwość zakupu sprężonego wodoru na cele transportowe nie występuje (brak odpowiedniej infrastruktury i przedsiębiorstw dystrybucyjnych). Tym samym analizę III wariantu alternatywnego na tym etapie zakończono, wykluczając możliwość jej realizacji.

Drugi element analizy stanowiła ocena finansowa inwestycji.

W kosztach realizacji inwestycji uwzględniono:

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

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

Tabela 33 Porównanie kosztów wozokilometra w wariantach

Wariant	koszt paliwa + eksploatacji + inwestycji
Autobusy zasilane ON	3,37 zł
Autobusy zasilane en. elektryczną	3,22 zł
Autobusy zasilane CNG	4,25 zł

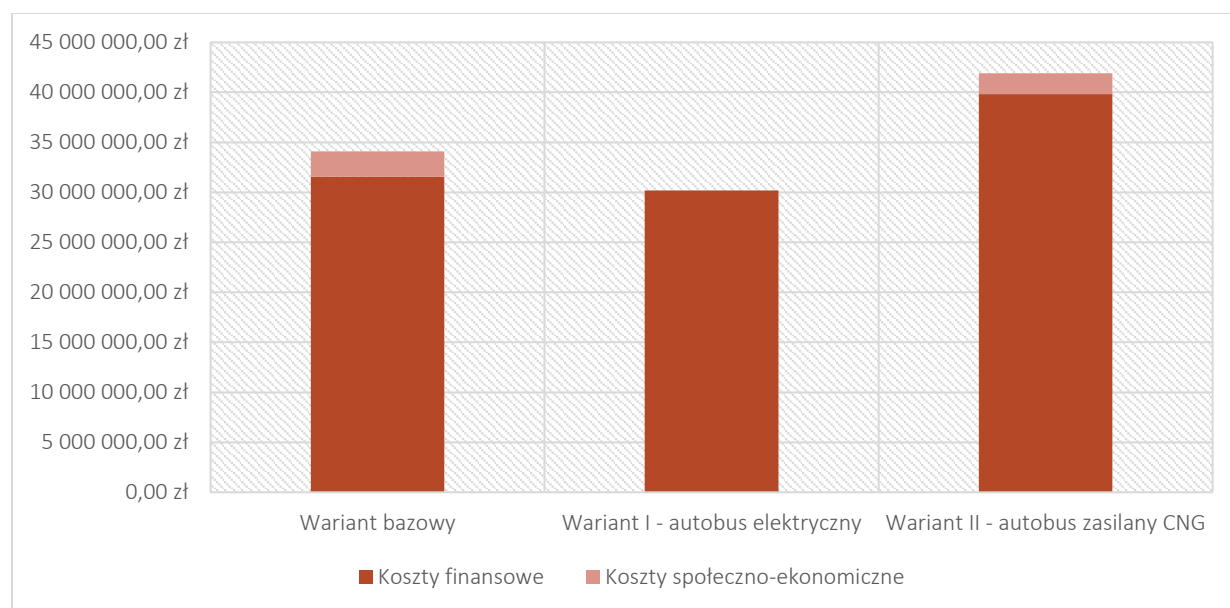


W trzecim elemencie analizy podjęto problematykę efektów środowiskowych inwestycji, szacując wpływ inwestycji na emisję substancji szkodliwych do atmosfery. Z uwagi na trudności porównywania emisji odmiennych substancji (m.in. dwutlenku węgla czy związków azotu), wielkości emisji substancji zostały przeliczone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

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

Tabela 34 Zestawienie kosztów finansowych oraz społeczno-ekonomicznych inwestycji

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - autobus elektryczny	Wariant II - autobus zasilany CNG
Koszty finansowe	31 553 656,28 zł	30 190 423,06 zł	39 829 274,10 zł
Koszty społeczno-ekonomiczne	2 544 351,76 zł	- zł	2 074 978,67 zł
SUMA	34 098 008,04 zł	30 190 423,06 zł	41 904 252,77 zł



Rysunek 10 Porównanie łącznych kosztów finansowych oraz społeczno-ekonomicznych wariantów inwestycyjnych

Najkorzystniejsze parametry pod względem kosztowym i społecznym (koszty emisji i zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska) wykazuje wariant zakupu autobusów zeroemisyjnych zasilanych energią elektryczną. W przypadku wariantu zakupu autobusów zasilanych CNG, efekt zastosowania czystszej paliwa i mniejszej jednostkowej emisji na jednostkę zużytego paliwa, kompensowany jest przez znacząco wyższym spalaniem na 100 km, tym samym faktyczna korzyść środowiskowa wynikająca z przejścia z autobusów ON na autobusy CNG nie jest znacząca. Ponadto wysokie spalanie negatywnie rzutuje na koszt wozokilometra.

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

Do warunków tych należy:

1. Możliwość zakupu autobusów z dofinansowaniem zewnętrznym dzięki czemu jednostkowy koszt autobusu elektrycznego będzie porównywalny z autobusami zasilanymi ON lub CNG. W przypadku wariantu zakupu pojazdów elektrycznych, wskazany wartość kosztu jednostkowego (DGC) możliwy jest wyłącznie dzięki dofinansowaniu zakupu pojazdów w formie dotacyjnej, którą przyjęto w wysokości 78,57%.
2. Niskie zużycie energii na km pracy przewozowej wynoszące 1,20 kWh/km oraz stabilne ceny energii elektrycznej (postępujący wzrost cen energii elektrycznej może znacząco wpłynąć na wysokość kosztów eksploatacyjnych);

W związku z powyższym (pod warunkiem uzyskania dofinansowania zewnętrznego na zakup autobusów elektrycznych wraz z konieczną infrastrukturą), organizator, zlecając świadczenie usług komunikacji miejskiej w rozumieniu ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym, powinien spełnić określony w art. 36 Ustawy o elektromobilności udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów.

Zgodnie z art. 37 Ustawy, przystąpienie do ponownej analizy powinno nastąpić w terminie 36 miesięcy. Ponieważ przeprowadzenie niniejszej analizy zakończono w czerwcu 2021 r., kolejną należy sporządzić nie później niż do końca czerwca 2024 r.



XI. SPIS TABEL

Tabela 1 Prognoza kosztów rekompensaty na rok 2021	13
Tabela 2 Zestawienie linii autobusowych na terenie Miasta	14
Tabela 3 Wykaz autobusów użytkowanych przez MKK w Zamościu (stan na 31.12.2020 r.)	15
Tabela 4 Planowany udział zmodernizowanych pojazdów w całkowitym taborze miejskim	20
Tabela 5 Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym	30
Tabela 6 Plan inwestycyjny	34
Tabela 7 Udział pojazdów zeroemisyjnych - założenia	34
Tabela 8 Nakłady inwestycyjne - wariant bazowy	35
Tabela 9 Nakłady inwestycyjne - wariant alternatywny I	35
Tabela 10 Nakłady inwestycyjne - wariant alternatywny II	35
Tabela 11 Założenia podstawowych kosztów operacyjnych	35
Tabela 12 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant bazowy	37
Tabela 13 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant bazowy cd.	37
Tabela 14 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy elektryczne	38
Tabela 15 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy elektryczne cd.	39
Tabela 16 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG	40
Tabela 17 Prognoza wydatków na lata 2020-2035 - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG cd.	40
Tabela 18 Matryca DGC - wariant bazowy	41
Tabela 19 Matryca DGC - wariant alternatywny – autobusy elektryczne	42
Tabela 20 Matryca DGC - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG	43
Tabela 21 Porównanie kosztu jednostkowego w wariantach	44
Tabela 22 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EURO6	45
Tabela 23 według wartości opałowe (WO) i wskaźników emisji CO ₂ (WE) do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2017	45
Tabela 24 Wskaźniki emisyjności - autobus CNG	46
Tabela 25 Porównanie emisyjności autobusu z napędem konwencjonalnym oraz z napędem elektrycznym	46
Tabela 26 Porównanie emisyjności w wariantach inwestycyjnych	47
Tabela 27 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant bazowy – autobusy z napędem konwencjonalnym, cz.1	50
Tabela 28 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant bazowy – autobusy z napędem konwencjonalnym, cz.2	51
Tabela 29 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy elektryczne cz.1	52
Tabela 30 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy elektryczne cz.2	53
Tabela 31 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG cz.1	54
Tabela 32 Tabela analizy społeczno - ekonomicznej - wariant alternatywny – autobusy zasilane CNG cz.2	55
Tabela 33 Porównanie kosztów wozokilometra w wariantach	56
Tabela 34 Zestawienie kosztów finansowych oraz społeczno-ekonomicznych inwestycji	57





XII. SPIS ILUSTRACJI

Rysunek 1 Graficzny schemat wykonania obowiązku ustawowego w zakresie sporządzenia Analizy Kosztów i Korzyści	7
Rysunek 2 Schemat Organizacyjny MZK Sp. z o.o. w Zamościu	12
Rysunek 3 Schemat budowy autobusu elektrycznego, źródło: https://elektrowoz.pl/wp-content/uploads/2018/07/Schemat-budowy-elektrycznego-autobusu-eCitaro.jpg	23
Rysunek 4 Pantografowa stacja ładowania autobusów elektrycznych w Jaworznie, źródło: https://www.transport-publiczny.pl/img/jaworznostacja1.jpg_678-443.jpg	24
Rysunek 5 Autobus z napędem hybrydowym ON i CNG, źródło: https://cng-Ing.pl/wiadomosci/Wspolpraca-z-gazem-w-tle,wiadomosc,374.htm	25
Rysunek 6 Schemat "wolnej" stacji tankowania CNG, źródło: www.afdc.energy.gov	26
Rysunek 7 Schemat "szybkiej" stacji tankowania CNG, źródło: www.afdc.energy.gov	27
Rysunek 8 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen, źródło: Solaris Bus&Coach	28
Rysunek 9 Porównanie kosztów społecznych	49
Rysunek 10 Porównanie łącznych kosztów finansowych oraz społeczno-ekonomicznych wariantów inwestycyjnych	57

