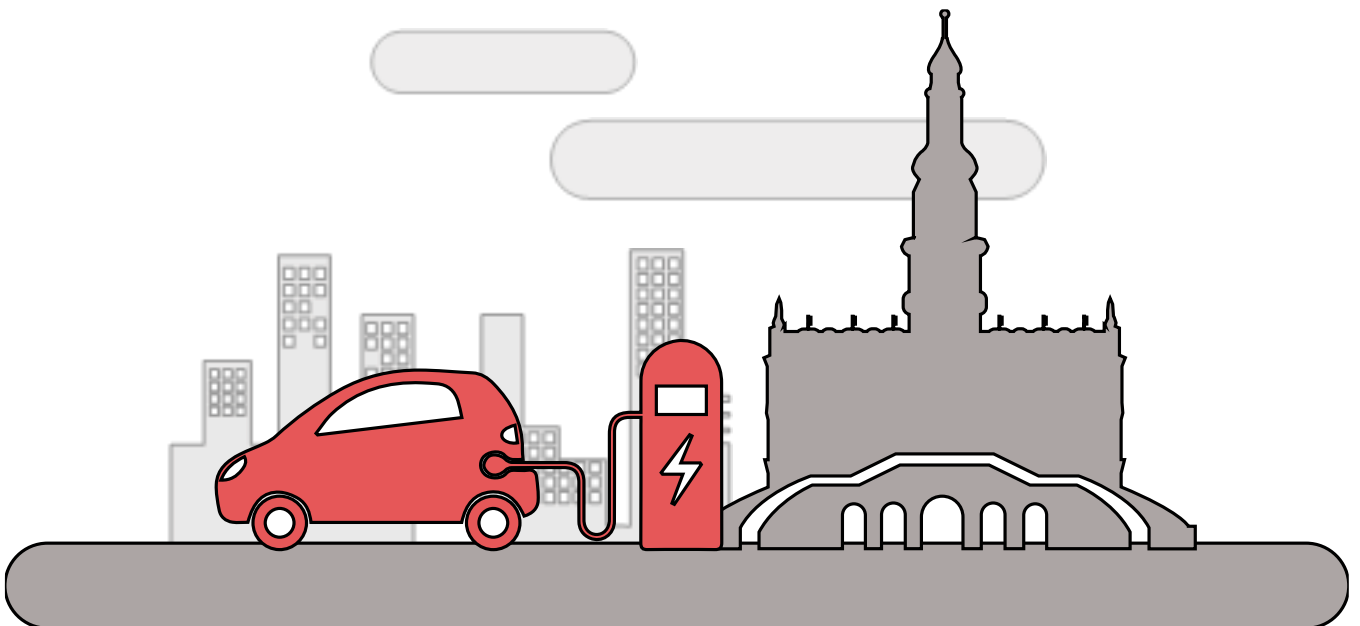


ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI (AKK)

**analiza efektywności społecznej, ekonomicznej
i środowiskowej przedsięwzięcia dla Miasta Zamość, 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
- aktualizacja na lata 2024-2026 -**





ZAMAWIAJĄCY



Urząd Miasta Zamość

ul. Rynek Wielki 13
22-400 Zamość

WYKONAWCA



Energia dla Miast Sp. z o.o.

ul. Powstańców Śląskich 1
43-190 Mikołów

OPRACOWANIE

Kamil Krzoski
Michał Mroskowiak





Spis treści

I. Słownik pojęć.....	4
II. Cel przeprowadzenia analizy	5
III. Metodyka przeprowadzenia analizy	10
IV. Charakterystyka aktualnego systemu komunikacji miejskiej.....	11
V. Możliwe scenariusze inwestycyjne.....	15
VI. Analiza techniczna.....	17
VII. Przegląd wyników przetargów na zakup autobusów zeroemisyjnych	24
VIII. Analiza finansowa.....	26
IX. Oszacowanie efektów środowiskowych wariantów inwestycyjnych	37
X. Analiza społeczno - ekonomiczna.....	39
XI. Wnioski i rekomendacje	44
XII. Spis tabel.....	47
XIII. Spis ilustracji.....	48





I. SŁOWNIK POJĘĆ

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
ENPV	Ekonomiczna wartość bieżąca
FNPV	Finansowa wartość bieżąca
FRR	Finansowa stopa zwrotu
Obszar transportowy	Obszar, na którym za organizację transportu zbiorowego odpowiada Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o. o. w Zamościu
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
Organizator	Właściwa jednostka samorządu terytorialnego, zapewniająca funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze. Organizator publicznego transportu zbiorowego jest „właściwym organem”, o którym mowa w przepisach rozporządzenia (WE) nr 1370/2007
Sieć komunikacyjna	Układ linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora publicznego transportu zbiorowego lub część tego obszaru
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
Ustawa/Ustawa o elektromobilności	Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz. U. 2023 r. poz. 875 t.j.)





II. CEL PRZEPROWADZENIA ANALIZY

Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. zobowiązuje jednostki samorządu terytorialnego (z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000), do świadczenia usług lub zlecenia świadczenia usługi komunikacji miejskiej w rozumieniu ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego wynosi co najmniej 30%.

Powyższy obowiązek zostanie wprowadzony w życie 1 stycznia 2028 r., jednakże Ustawa definiuje kolejne stopnie udziału autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie, które wynoszą:

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

Równocześnie jednostka samorządu terytorialnego, o której mowa powyżej sporządza, co 36 miesięcy, analizę kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji².

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

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

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

Termin na sporządzenie analizy po raz pierwszy minął 31 grudnia 2018 r. Miasto Zamość, terminowo wykonała analizę, która została zaktualizowana w czerwcu 2021 r.

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.

¹ Art. 36 ust. 1 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.

² Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.





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.

Do okoliczności tych należały:

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.

W wyniku analizy stwierdzono, że wprowadzenie taboru zeroemisyjnego (autobusów elektrycznych) do systemu komunikacyjnego Miasta jest rozwiązaniem korzystnym, jednakże pod pewnymi warunkami. Jako warunki wskazano:

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, wskazano minimalny poziom dofinansowania wynoszący 78,57%. przy którym inwestycja w zakup pojazdów zeroemisyjnych jest uzasadniona.
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);

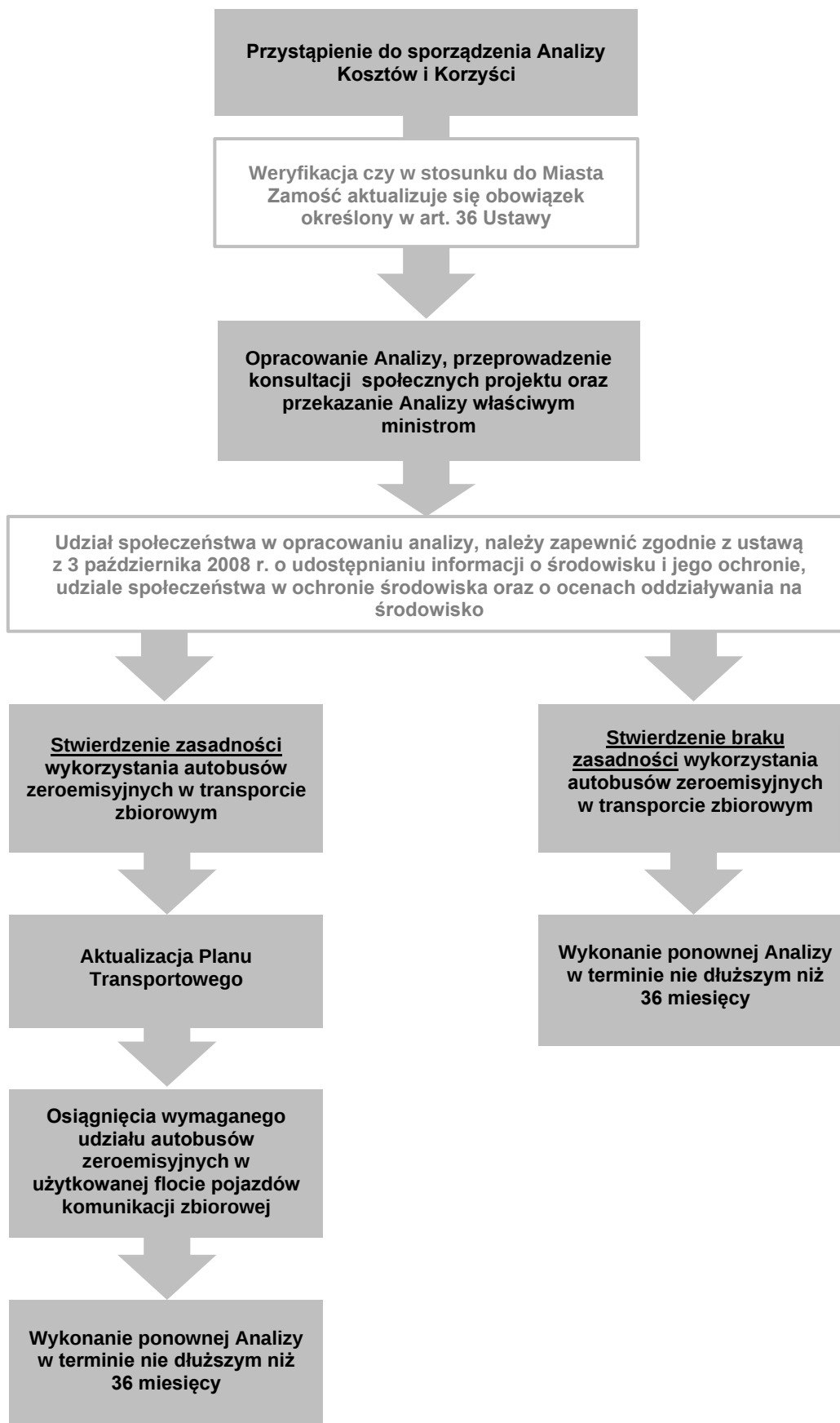
Zgodnie z art. 37 Ustawy, przystąpienie do ponownej analizy powinno nastąpić w terminie 36 miesięcy. Ponieważ przeprowadzenie poprzedniej analizy zakończono w czerwcu 2021 r., termin sporządzenia kolejnej aktualizacji przypada na koniec czerwca 2024 r.

Niezwłocznie po sporządzeniu, Analiza jest przekazywana:

- Ministrowi właściwemu do spraw energii,
- Ministrowi właściwemu do spraw klimatu.

Schemat 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 Korzyści





Ustawa z dnia 2 grudnia 2021 r. o zmianie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2021 poz. 2269), wprowadziła wobec samorządów nowe obowiązki, których spełnienie ma charakter bezwzględny i nie jest uzależnione od wyników Analizy kosztów i korzyści.

Pierwszy z obowiązków zgodnie z art. 68 ust. 3 Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych nakłada na wszystkie jednostki samorządu terytorialnego, z wyłączeniem gmin i powiatów, w których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000, zobowiązanie do wykonywania, zlecania i powierzania wykonywania zadań określonych w przepisach ustawy odpowiednio o samorządzie gminnym, powiatowym lub województwa podmiotom, których łączny udział pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym we flocie używanych przy wykonywaniu tych zadań wynosi co najmniej 10%. Dodatkowo, art. 76 ust. 2 Ustawy wskazuje, że umowy na wykonywanie zadań publicznych, niezależnie od daty ich zawarcia i terminu, na jaki zostały zawarte wygasają z dniem 31 grudnia 2025 r., jeżeli nie zapewniają wykorzystania pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym na poziomie określonym w ustawie o elektromobilności.

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

1. o wartości równej lub przekraczającej progi unijne, udzielanych na podstawie umowy sprzedaży, leasingu, najmu lub dzierżawy z opcją zakupu pojazdu samochodowego udzielaną przez zamawiającego, jeżeli do udzielenia tych zamówień mają zastosowanie przepisy prawa zamówień publicznych;
2. których przedmiotem są usługi w zakresie drogowego publicznego transportu zbiorowego o wartości przekraczającej wartość progową określoną w art. 5 ust. 4 rozporządzenia (WE) nr 1370/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z 23.10.2007 r. dotyczącego usług publicznych w zakresie kolejowego i drogowego transportu pasażerskiego oraz uchylającego rozporządzenia Rady (EWG) nr 1191/69 i (EWG) nr 1107/70 (Dz.Urz. UE L 315, str. 1, ze zm.);
3. o wartości równej lub przekraczającej progi unijne, jeżeli do udzielenia tych zamówień mają zastosowanie przepisy prawa zamówień publicznych i których przedmiotem są usługi oznaczone następującymi kodami Wspólnego Słownika Zamówień (CPV):
 - a. CPV 60112000-6, publiczny transport drogowy,
 - b. CPV 60130000-8, specjalistyczny transport drogowy osób,
 - c. CPV 60140000-1, nieregularny transport osób,
 - d. CPV 90511000-2, wywóz odpadów,
 - e. CPV 60160000-7, drogowy transport przesyłek pocztowych,
 - f. CPV 60161000-4, transport paczek,
 - g. CPV 64121100-1, dostarczanie poczty,
 - h. CPV 64121200-2, dostarczanie paczek.





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

- od dnia 2 sierpnia 2021 r. do dnia 31 grudnia 2025 r. - co najmniej 32%,
- od dnia 1 stycznia 2026 r. do dnia 31 grudnia 2030 r. - co najmniej 46%.

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

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

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





III. METODYKA PRZEPROWADZENIA ANALIZY

Określony w art. 37 ust. 2 ustawy o elektromobilności minimalny zakres Analizy, nie 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.;

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;
- 2) Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym;
- 3) Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji.





IV. CHARAKTERYSTYKA AKTUALNEGO SYSTEMU KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Zgodnie z ustawą z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym, organizatorem publicznego transportu zbiorowego jest właściwa jednostka samorządu terytorialnego albo minister właściwy do spraw transportu, zapewniający funkcjonowanie transportu publicznego na danym obszarze³. Właściwość organizatora transportu zbiorowego określa obszar terytorialny poddany analizie.

Zgodnie z art. 7 pkt ustawy o publicznym transporcie zbiorowym, gmina jest organizatorem publicznego transportu zbiorowego 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.

Analizowany obszar transportowy obejmuje nie tylko Miasto Zamość, ale również gminy: Sitno, Gminę Zamość 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. 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) Miasto Zamość – miasto: 30,34 km²;
- 2) Gmina Zamość: 197 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 104 362 osób⁴, z czego:

- 1) Miasto Zamość – miasto: 58 942 mieszkańców;
- 2) Gmina Zamość: 23 775 mieszkańców;
- 3) Gmina Sitno: 6 573 mieszkańców;
- 4) Gmina Nielisz: 5 090 mieszkańców;
- 5) Gmina Miączyn: 5 123 mieszkańców;
- 6) Gmina Stary Zamość: 4 859 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, zawarło z Miejskim Zakładem Komunikacji sp. z o.o. z siedzibą w Zamościu (dalej: MZK Sp.

³ Art. 4 ust 1 pkt 9 ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym

⁴ Stan na 31.12.2022 r. wg. danych GUS.





z o.o.) umowę dotyczącą powierzenia spółce MZK zadań przewozowych. Spółka jest własnością Miasta Zamość, która posiada w niej 100% udziałów.

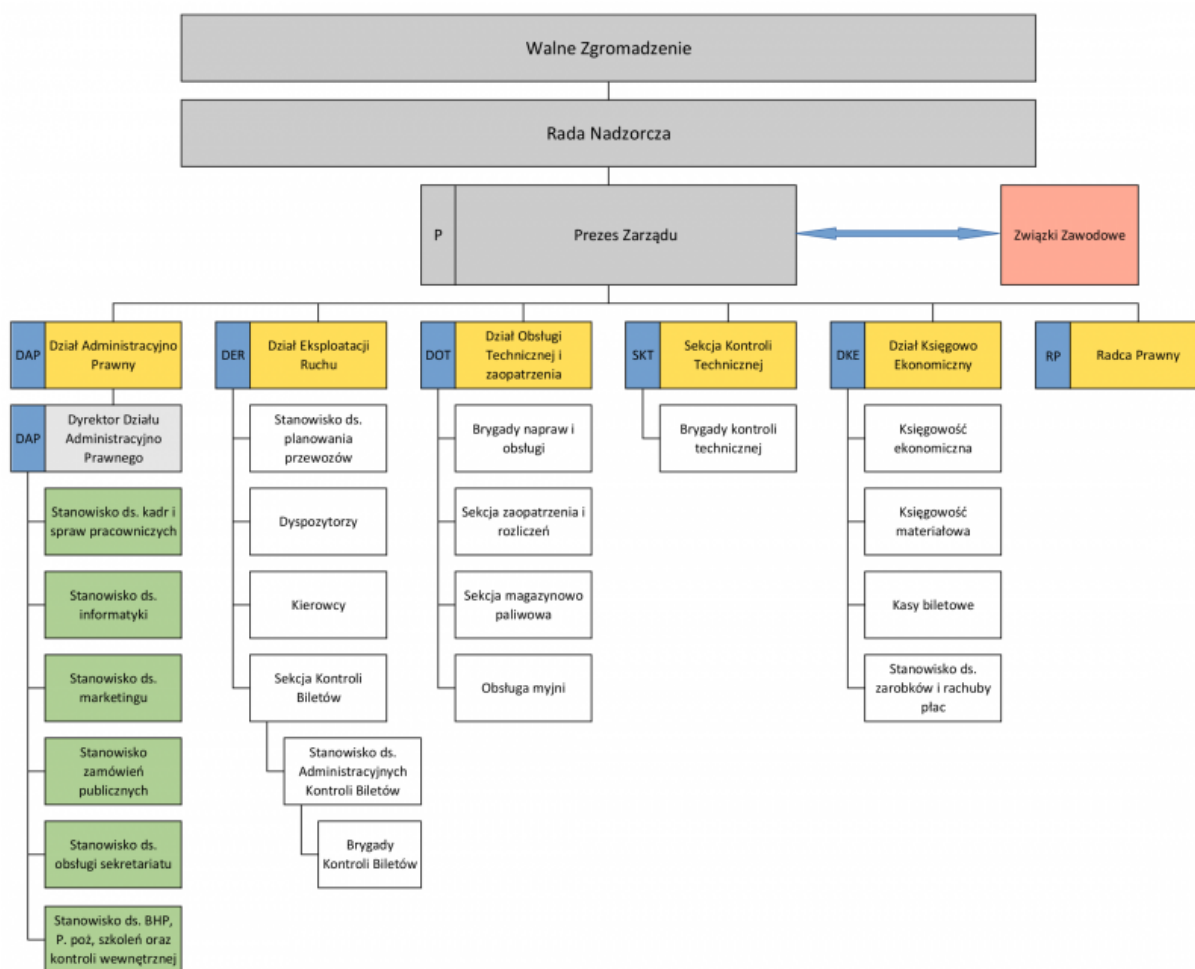
Obsługa wszystkich linii autobusowych podlegających Miastu Zamość, realizowana jest poprzez Miejski Zakład Komunikacji Sp. z o.o. w Zamościu (MZK w Zamościu), które tym samym pełni rolę **operatora publicznego transportu zbiorowego**.

MZK w Zamościu zobowiązuje się do świadczenia na rzecz Miasta Zamość usług przewozowych obejmujących:

- 1) realizację usług przewozowych;
- 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 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 licencję o Nr 0014357 na wykonywanie krajowego transportu drogowego w zakresie przewozu osób autobusami.





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

Tabor

Łączny tabor przedsiębiorstwa komunikacyjnego na koniec 2023 r. liczył 40 pojazdów, z tego 14 autobusów to pojazdy elektryczne, które dostarczyła firma MAN Truck & Bus Polska.

Zakup autobusów, to efekt uzyskania przez Miejski Zakład Komunikacji w Zamościu dofinansowania z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, w ramach programu priorytetowego „Zielony Transport Publiczny”. – Całkowity koszt projektu wyniósł ponad 46 mln zł, z czego koszty kwalifikowane to 37,6 mln zł, a dotacja z NFOŚiGW – ponad 29 mln zł.

W ramach inwestycji w 14 autobusów elektrycznych, Miasto Zamość zakupiło 10 autobusów Lion’s City 12 E o długości 12 m oraz 4 autobusy przegubowe Lion’s City 18 E, o długości 18 m. Pojazdy wyposażone są w najnowsze rozwiązania m.in. w system elektronicznych tablic kierunkowych, monitoring oraz ładowarki USB w bocznych ścianach pojazdów.

Modele dwunastometrowe Lion’s City 12 E napędza silnik elektryczny umieszczony wzdłużnie za osią napędową o mocy znamionowej 160 kW, a energia magazynowana jest w dużych bateriach o mocy 400 kWh. Z kolei elektryczne osiemnastometrowe autobusy przegubowe Lion’s City 18 E zasilają akumulatory o pojemności 480 kWh zlokalizowanych na dachu pojazdu.





Przystanki węzłowe i końcowe

W ramach projektu modernizacji taboru, na terenie zajezdni powstało siedem dwustanowiskowych stacji przeznaczonych do ładowania pojazdów, które dostarczyła polska firma Medcom.

Przy obecnej długości linii komunikacyjnych, nie zachodzi 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);

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

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

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.

W każdym z analizowanych wariantów aktualna flota przewozowa uwzględnia uzupełnienie o autobusy zakupione w ramach programu nr 3.9 ochrona atmosfery - Zielony transport publiczny, prowadzony przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, w ramach którego dokonano zakupu 14 autobusów elektrycznych.

Tabela 1. *Udział pojazdów elektrycznych 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	0	0%
1 stycznia 2025	20%	40	14	35%
1 stycznia 2028	30%	40	14	35%

W wyniku dokonanego zakupu 14 autobusów, nawet w przypadku braku dalszych inwestycji, Miasto Zamość spełnia minimalny wymagany ustawą o elektromobilności, udział pojazdów elektrycznych w całkowitej flocie pojazdów komunikacji miejskiej.





VI. ANALIZA TECHNICZNA

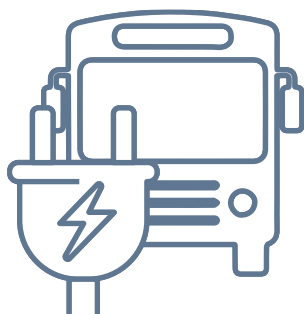
Dokonując oceny wytypowanych wariantów inwestycyjnych z perspektywy technicznej, uwzględniono następujące uwarunkowania:

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

Dostępne rozwiązania techniczne

Wariant bazowy 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 36 l/100km, natomiast autobusu klasy MEGA 48 l/100km⁵. Przy cenie 6,00 zł/litr brutto oleju napędowego, koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosi 216,00 zł, a autobusem klasy mega 288,00 zł. Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 l zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 750 km.

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



Pierwszym wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego energią elektryczną z baterii akumulatorowych. Autobusy elektryczne dostępne są w wariacie hybrydowym (z dodatkowym silnikiem spalinowym) oraz w wariacie 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 na terenie m.in. Krakowa, Warszawy, Jaworzna czy Ostrołęki⁶. Tym samym dostępne są już liczne dane, wynikające z faktycznej eksploatacji pojazdów w zróżnicowanych warunkach.

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/km⁷, uwzględniając jednakże wykorzystanie energii na zasilanie pozostałych podzespołów (w szczególności klimatyzacji i ogrzewania) faktyczne

⁵<http://www.truckauto.pl/wp-content/uploads/2014/06/8.pdf>

⁶<https://kurierkolejowy.eu/aktualnosci/31984/autobusy-elektryczne-wkraczaja-do-polskich-miast.html>

⁷http://www.miaστοitransport.il.pw.edu.pl/4_MIT2016.pdf



zużycie energii w autobusach elektrycznych klasy MAXI wynosi 1,1 - 1,35 kWh/km⁸, co przy koszcie 1 kWh energii elektrycznej wynoszącym ok. 1,35 zł/kWh brutto, daje koszt eksploatacyjny (w zakresie kosztów energii) wynoszący ok. 182,25 zł/100 km. 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>

Aktualny stan wiedzy technicznej pozwala wyróżnić cztery systemy ładowania:

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

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

⁸http://samochodelektryczne.org/mza_podsumowuje_pierwsze_dwa_miesiace_uzytkownia_floty_autobusow_elektrycznych.htm



W przypadku wdrożenia systemu ładowania pantografowego, wyłączenia autobusu z ruchu na czas doładowania tj. około 10 - 15 min, należy uwzględnić przy planowaniu rozkładu jazdy, odpowiednio wydłużając czas postoju autobusów na przystankach końcowych lub pętlach.

Koszt budowy stacji ładowania zlokalizowanej w zajezdni autobusowej (ładowanie za pośrednictwem złącza wtykowego) o mocy 22 kW to koszt ok. 40 000 zł, a dla stacji o mocy 50 – 100 kW to koszt ok. 150 000 zł, jednakże jest to koszt samej stacji ładowania. Istniejące zaplecze techniczne dostosowane jest do autobusów z napędem spalinowy. Zwiększając we flocie pojazdów komunikacji miejskiej udział pojazdów elektrycznych, zwiększa się zapotrzebowanie na energię elektryczną, co wymaga przebudowy infrastruktury energetycznej – zwiększenia mocy przyłączeniowej, a w przypadku stacji o wysokiej mocy (pow. 500 kW) budowy nowej stacji transformatorowej.

Koszt takiej inwestycji sięgać może nawet 4 mln zł. Trwają również prace nad rozwinięciem technologii PowerSwap, która na pętlach postojowych bądź w zajezdni umożliwiałaby szybką wymianę baterii rozładowanych na naładowane. Autobus z naładowanymi bateriami w ciągu kilku minut poświęconych na wymianę mógłby ruszać na trasę, natomiast baterie trafiłyby do stacji ładowania⁹. Trwają pilotażowe projekty takich rozwiązań, jednakże nie zyskały one na dzień dzisiejszy charakteru powszechnego¹⁰.

W ramach eksploatacji autobusów elektrycznych uwzględnić należy wymianę zużytych baterii, co wedle szacunków stanowić może koszt sięgający nawet 1/3 ceny nowego pojazdu. Koszt zakupu samego autobusu klasy maxi (bez stacji ładowania) to ok. 2,5 mln zł.

W ramach eksploatacji autobusów elektrycznych uwzględnić należy zatem wymianę wyeksploatowanych baterii, w koszcie ok. 800 000 zł¹¹.



Drugim wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego paliwem wodorowym. Tankowanie zbiorników z wodorem, umieszczonych na dachach tych pojazdów, trwa około 10-15 minut, co w porównaniu z czasem niezbędnym do naładowania autobusów zasilanych bateryjnie jest zdecydowanym atutem tego rodzaju napędu, a przy zasięgu wynoszącym 400 km autobus wodorowy staje się alternatywą pod względem praktyczności niedobiegającą od konwencjonalnego autobusu z napędem spalinowym

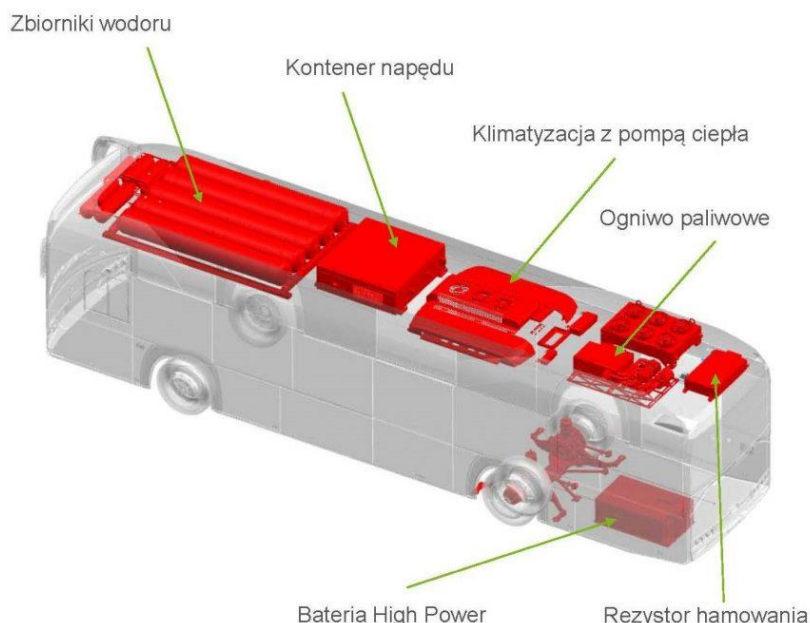
Na rynku istnieją sprawdzone rozwiązania techniczne stosowane w krajach ościennych. Kilkadziesiąt pojazdów Van Hool A330 FC klasy MAXI, kursuje po ulicach Kolonii i Hamburga. Zasięg tych pojazdów wynosi 350 km, a zużycie wodoru wynosi 8 kg/100 km. Za przeniesienie energii na koła odpowiada silnik elektryczny o mocy 210 kW.

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

¹⁰<https://jaw.pl/2018/11/pierwsza-w-polsce-stacja-ladowania-i-szybkiej-wymiany-baterii-dla-autobusow-miejskich/>

¹¹<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/mpk-tarnow-przetestowalo-elektrobus-i-wylicza-wady-takiego-pojazdu-59229.html>



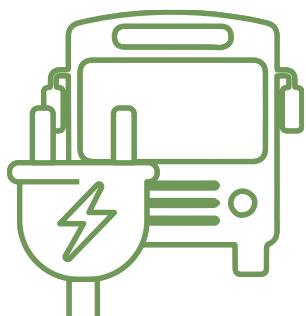


Rysunek 4. Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen, źródło: Solaris Bus&Coach

Zakup autobusów z napędem wodorowym, jest więc możliwy, jednakże, aktualnie na terenie kraju brak rozwiniętej 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.

Rynkowa cena wodoru wynosi 64,00 zł za kg. Autobus komunikacji miejskiej zużywa ok. 8 kg wodoru na 100 km¹², a więc koszt przejechania 100 km wynosiłby aktualnie aż 512 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 nawet kilku milionów złotych.

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: wodorowego oraz elektrycznego. Zarówno dla wariantu zakupu autobusów elektrycznych, jak i wodorowych, konieczne jest stworzenie odpowiedniej infrastruktury zasilającej: dodatkowych stanowisk ładowania pojazdów elektrycznych lub stacji tankowania wodoru.

W chwili obecnej na terenie Miasta Zamość oraz MZK Sp. z o.o. w Zamościu funkcjonuje 7 ładowarek dwustanowiskowych, które pozwalają realizować tzw. ładowanie wolne na terenie zajezdni MZK Sp. z o.o. w Zamościu. Nie przewiduje się budowy stacji ładowania

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



pantografowego lub dodatkowych stanowisk ładowania nocnego lub innych niż ww. wymienione. Jednakże nie wyklucza się ich potencjalnej instalacji w przyszłości w sytuacji w której zwiększona zostanie flota pojazdów elektrycznych.

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.

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 pętlach, 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 można matrycą zamieszczoną poniżej.

Matryca, składa 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;
- 4) Końcowy stan naładowania baterii na koniec pracy przewozowej.





Tabela przedstawia przykładową dobową symulację pracy przewozowej autobusu elektrycznej na linii o długości 10 km uwzględniającą dwa doładowania w pełnym cyklu pracy przewozowej.

Tabela 2. Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem baterijnym

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/końcowym	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, na potrzeby zasilania autobusów wodorowych konieczna byłaby budowa stacji tankowania pojazdów wodorowych, wyposażona w agregaty tankujące ciśnieniowe zbiorniki gazu (wodór 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 rozwinięta sieć dystrybucyjna stacji tankowania 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 wodorowym, a technologia budowy samych stacji funkcjonuje, to jednak podstawową przeszkodą dla zakupu autobusów z napędem wodorowym jest dostępność paliwa wodorowego, która jest bardzo ograniczona co skutkuje wysoką ceną tego paliwa.





VII. PRZEGLĄD WYNIKÓW PRZETARGÓW NA ZAKUP AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Lidzbark Warmiński – zakup autobusów elektrycznych

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

Cena za jeden autobus: 2,130 mln zł



Rysunek 5. Autobus komunikacji miejskiej w Lidzbarku Warmińskim, źródło: UM Lidzbark Warmiński

Sieradz – zakup autobusów elektrycznych

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

Cena za jeden autobus: 2,466 mln zł



Rysunek 6. Autobus komunikacji miejskiej w Sieradzu, źródło: UM Sieradz



Świdnica – zakup autobusów elektrycznych

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

Cena za jeden autobus: 2,749 mln zł



Rysunek 7. Autobus komunikacji miejskiej w Świdnicy, źródło: UM Świdnica

Konin – zakup autobusu wodorowego

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



Rysunek 8. Autobus komunikacji miejskiej w Koninie, źródło: MZK Konin



VIII. 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:

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 2024-2027, natomiast okres odniesienia (trwałości inwestycji) na okres do 2035.

Założenia przyjęte w analizie:

- Dane źródłowe wykorzystane w obliczeniach pochodzą zarówno z opracowań branżowych, jak i źródeł własnych: analizy rynku oraz zachodzących na nim zjawisk.
- Koszty eksploatacji i utrzymania przyjęto na bazie aktualnie posiadanej wiedzy technicznej autorów niniejszej analizy i opracowań branżowych.
- W analizie wydatków związanych z eksploatacją zakupionych pojazdów uwzględniono wydatki wynikające ze zużycia paliwa/energii oraz wydatki utrzymaniowe (przeglądy, naprawy). Dodatkowo w przypadku pojazdów elektrycznych uwzględniono okresową wymianę i utylizację baterii oraz koszty dostosowania infrastruktury do potrzeb pojazdów zeroemisyjnych (budowa stacji szybkiego ładowania – stacje pantografowe na pętlach autobusowych oraz stacji wolnego ładowania w zajezdniach).
- Wysokość kosztów serwisowych ma charakter uśredniony dla pełnego okresu odniesienia. Zakładana żywotność autobusów wynosi 15 lat i ok. 1 mln km skumulowanego przebiegu.

Założenia dotyczące zużycia paliwa przedstawiono w tabeli.

Tabela 3. Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów

ŚREDNIE ZUŻYCIE PALIWA/ENERGII			
Rodzaj i typ autobusu		Wartość	Jednostka
10 m	Spalinowy	32,0	l/100 km
	Wodorowy	7,0	l/100 km
	Elektryczny	103,0	kWh/100 km
12 m	Spalinowy	36,0	l/100 km
	Wodorowy	8,0	l/100 km
	Elektryczny	103,0	kWh/100 km
18 m	Spalinowy	48,0	l/100 km
	Wodorowy	9,0	l/100 km
	Elektryczny	130,0	kWh/100 km

Średnią pracę przewozową taboru autobusowego przyjęto na poziomie 65 tys. km rocznie.





Analizowane warianty inwestycyjne przedstawiają się następująco:

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

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

Tabela 4. Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant bazowy

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
12 m	Spalinowy	-	-	-	-	5	5	6
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
18 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
SUMA		-	-	-	-	5	5	6

Tabela 5. Symulacja planu zakupowego autobusów – wariant I - elektryczny

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
12 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	5	5	6
18 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
SUMA		-	-	-	-	5	5	6





Tabela 6. Symulacja planu zakupowego autobusów – wariant II - wodorowy

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
12 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	5	5	6
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
18 m	Spalinowy	-	-	-	-	-	-	-
	Wodorowy	-	-	-	-	-	-	-
	Elektryczny	-	-	-	-	-	-	-
SUMA		-	-	-	-	5	5	6

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

Tabela 7. Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor

ZAŁOŻENIA KOSZTÓW INWESTYCYJNYCH - TABOR		
Rodzaj i typ autobusu		Wartość
10 m	Spalinowy	1 300 000,00 zł
	Wodorowy	2 700 000,00 zł
	Elektryczny	2 250 000,00 zł
12 m	Spalinowy	1 500 000,00 zł
	Wodorowy	2 900 000,00 zł
	Elektryczny	2 750 000,00 zł
18 m	Spalinowy	2 500 000,00 zł
	Wodorowy	4 400 000,00 zł
	Elektryczny	4 000 000,00 zł

Tabela 8. Założenia kosztów inwestycyjnych w infrastrukturę

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

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



**Tabela 9.** Założenia kosztu wymiany baterii

Wydatki odtworzeniowe	Wartość
Koszt wymiany baterii	800 000,00 zł
Żywotność baterii w latach	7

W analizie wydatków związanych z eksploatacją zakupionych pojazdów uwzględniono wydatki wynikające ze zużycia paliwa/energii oraz wydatki utrzymaniowe (przeglądy, naprawy).

Dodatkowo w przypadku pojazdów elektrycznych uwzględniono okresową wymianę i utylizację baterii oraz koszty dostosowania infrastruktury do potrzeb pojazdów zeromisyjnych (budowa stacji wolnego ładowania).

Wysokość kosztów serwisowych ma charakter uśredniony dla pełnego okresu odniesienia.

Tabela 10. Założenia kosztu jednostkowego paliwa

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

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

Tabela 11. Założenia kosztów remontowych i serwisowych

Koszty remontowe i serwisowe			
Rodzaj i typ autobusu		Wartość	Jednostka
10 m	ON	0,46 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,37 zł	zł/wzkm
	BEV	0,35 zł	zł/wzkm
12 m	ON	0,49 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,41 zł	zł/wzkm
	BEV	0,39 zł	zł/wzkm
18 m	ON	0,51 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,42 zł	zł/wzkm
	BEV	0,41 zł	zł/wzkm
Wzrost kosztów eksploatacyjnych w czasie		6,00	%

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



**Tabela 12.** Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II wodorowy
Zdyskontowane koszty finansowe	45 047 451,54 zł	68 502 208,60 zł	93 309 625,46 zł

Efektywność finansową wariantów porównać można również na bazie wskaźników.

Dla każdego z wariantów zostały obliczone dwa wskaźniki efektywnościowe:

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

Tabela 13. Wskaźniki finansowe w wariantach

Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II wodorowy
FNPV/C	- 46 849 349,61 zł	- 71 207 034,63 zł	- 96 911 872,28 zł
FRR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

Niezależnie od przyjętej metodyki porównawczej, wyniki analizy są tożsame – największą opłacalność wykazuje wariant bazowy (oparty o autobusy zasilane olejem napędowym), co wynika nie tylko z niższego kosztu początkowego zakupu autobusu, ale również bardzo niekorzystnych tendencji w zakresie cen paliw i surowców energetycznych:

- Cena energii po skokowym wzroście z lipca – sierpnia 2022 r. (cena energii na rynku hurtowym wzrosła z 600 do 1800 zł, co stanowi wzrost trzykrotny), stabilizuje się na poziomie ceny maksymalnej wynoszącej 785 zł, określonej ustawą z dnia 27 października 2022 r. o środkach nadzwyczajnych mających na celu ograniczenie wysokości cen energii elektrycznej oraz wsparciu niektórych odbiorców w 2023 roku;

Tendencję cen wskazano na wykresach zamieszczonych poniżej:

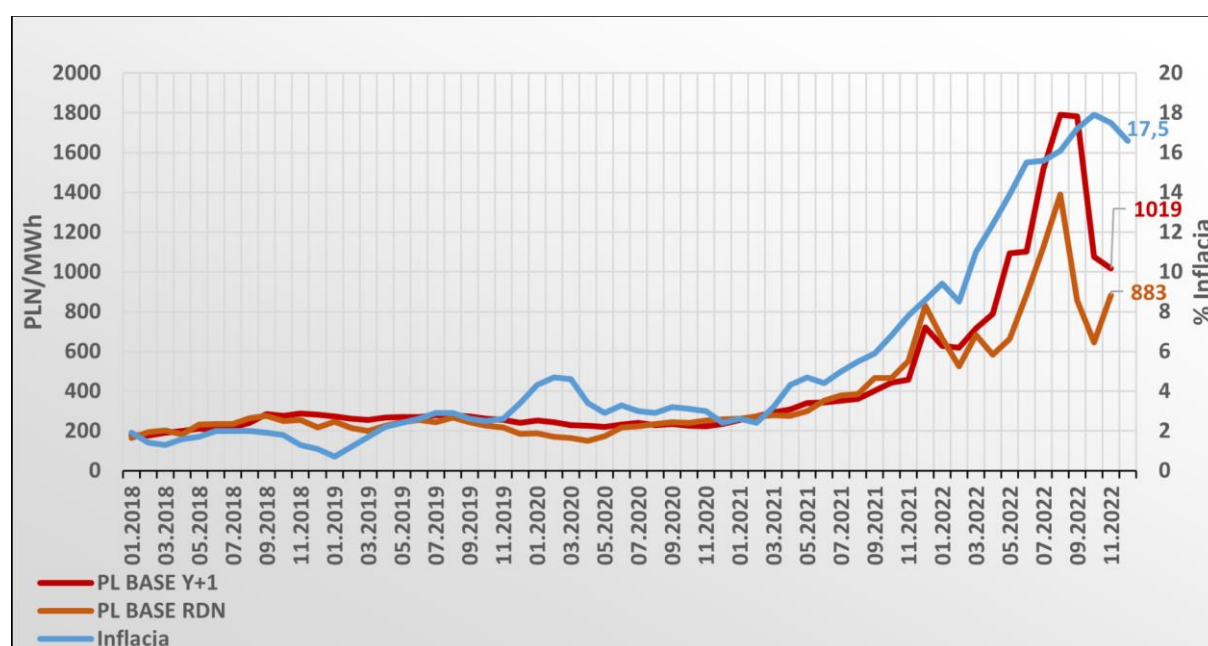




Średnie detaliczne ceny paliw w Polsce (za litr)



Rysunek 9. Ceny paliw w Polsce,
źródło: <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Ceny-paliw-w-Polsce-maj-2023-Ile-kosztuje-benzyna-olej-napedowy-i-LPG-8534833.html>



Rysunek 10. Ceny energii elektrycznej w Polsce w latach 2018-2022,
źródło: <https://wodorowyswiat.pl/analiza-cen-energii-elektrycznej-w-polsce-w-latach-2018-2022/>





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

Zdyskontowane koszty finansowe ujęto również w formie kalkulacji cen wozokilometra

Tabela 14. Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzk

Pozycja	Koszt wzk - koszty inwestycyjne i eksploatacyjne
Wariant bazowy	4,36 zł
Wariant I – elektryczny	6,63 zł
Wariant II – wodorowy	9,03 zł

Jak wskazują przedstawione wyżej porównania, w przypadku dalszego wprowadzenia do taboru floty pojazdów elektrycznych, spodziewać się można wzrostu kosztu wozokilometra, co oznaczać będzie konieczność zwiększenia wydatków budżetowych Miasta na cele transportu zbiorowego.

Obliczenia w zakresie zestawienia wariantów z i bez dofinansowania, wskazuje tabela.

Zgodnie z przedstawionymi obliczeniami, choć wariant elektryczny nie jest zasadny do realizacji z uwagi na wzrost kosztu wzk, możliwe jest wyrównanie opłacalności wariantów poprzez dofinansowania na poziomie 60% kosztu inwestycji obejmującego:

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

W przypadku którym dotacja objęta by wyłącznie zakup taboru autobusowego (bez dofinansowania inwestycji w infrastrukturę techniczną, optymalny poziom dofinansowania w formie bezzwrotnej dotacji wynosi 65%.

Tabela 15. Zestawienie wskaźników finansowych z symulacją uzyskania dotacji.

	Wariant bazowy (ON)	Wariant I – elektryczny (bez dotacji)	Wariant I – elektryczny (inwestycyjny) – z dotacją 60% do zakupu autobusów i infrastruktury	Wariant I – elektryczny (inwestycyjny) – z dotacją 85% do zakupu autobusów
Koszty operacyjne	26 373 501,52 zł	71 207 034,63 zł	28 207 753,65 zł	28 207 753,65 zł
Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe	20 475 848,08 zł	28 207 753,65 zł	42 999 280,98 zł	42 999 280,98 zł
Wartość dofinansowania	-	-	25 799 568,59 zł	24 400 385,63 zł
Stopa dyskontowa	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
(FNPV/C)	- 46 849 350	- 71 207 035	- 45 407 466	- 46 806 649





Tabela 16. Analiza finansowa – obliczenia matrycą DGC - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Nakłady inwestycyjne	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	1	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	2	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	3	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2025	4	0,85	7 500 000,00	760 500,00	199 810,00	325 000,00	8 460 310,00	7 231 908,45	
2026	5	0,82	7 500 000,00	1 563 120,00	420 290,00	650 000,00	9 483 410,00	7 794 671,74	
2027	6	0,79	9 000 000,00	2 568 384,00	716 560,00	1 040 000,00	12 284 944,00	9 708 969,69	
2028	7	0,76	0,00	2 638 500,88	759 553,60	1 040 000,00	3 398 054,48	2 582 242,13	
2029	8	0,73	0,00	2 710 531,96	805 126,82	1 040 000,00	3 515 658,77	2 568 857,43	
2030	9	0,70	0,00	2 784 529,48	853 434,42	1 040 000,00	3 637 963,90	2 555 985,18	
2031	10	0,68	0,00	2 860 547,13	904 640,49	1 040 000,00	3 765 187,63	2 543 625,85	
2032	11	0,65	0,00	2 938 640,07	958 918,92	1 040 000,00	3 897 558,99	2 531 780,00	
2033	12	0,62	0,00	3 018 864,95	1 016 454,06	1 040 000,00	4 035 319,00	2 520 448,34	
2034	13	0,60	0,00	3 101 279,96	1 077 441,30	1 040 000,00	4 178 721,26	2 509 631,70	
2035	14	0,58	0,00	3 185 944,90	1 142 087,78	1 040 000,00	4 328 032,68	2 499 331,03	
RAZEM			24 000 000,00	28 130 843,33	8 854 317,38	10 335 000,00	60 985 160,71	45 047 451,54	4,36





Tabela 17. Analiza finansowa – obliczenia matrycą DGC - wariant I - elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Nakłady inwestycyjne	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	1	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	2	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	3	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2025	4	0,85	15 750 000,00	488 321,92	244 558,00	325 000,00	16 482 879,92	14 089 634,83	
2026	5	0,82	15 750 000,00	1 004 154,93	509 786,00	650 000,00	17 263 940,93	14 189 701,02	
2027	6	0,79	18 900 000,00	1 650 665,64	848 729,60	1 040 000,00	21 399 395,24	16 912 252,90	
2028	7	0,76	0,00	1 695 728,81	883 124,48	1 040 000,00	2 578 853,29	1 959 716,55	
2029	8	0,73	0,00	1 742 022,21	919 583,05	1 040 000,00	2 661 605,26	1 944 808,89	
2030	9	0,70	0,00	1 789 579,41	958 229,14	1 040 000,00	2 747 808,55	1 930 573,84	
2031	10	0,68	0,00	1 888 624,21	999 193,99	1 040 000,00	2 887 818,20	1 950 906,50	
2032	11	0,65	0,00	1 888 624,21	5 042 616,74	1 040 000,00	6 931 240,94	4 502 401,95	
2033	12	0,62	0,00	1 940 183,65	5 088 644,84	1 040 000,00	7 028 828,49	4 390 185,54	
2034	13	0,60	0,00	1 993 150,66	5 937 434,64	1 040 000,00	7 930 585,30	4 762 904,02	
2035	14	0,58	0,00	2 047 563,67	1 189 151,82	1 040 000,00	3 236 715,50	1 869 122,55	
		RAZEM	50 400 000,00	18 128 619,32	22 621 052,30	10 335 000,00	91 149 671,63	68 502 208,60	6,63





Tabela 18. Analiza finansowa – obliczenia matrycą DGC - wariant II - wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Nakłady inwestycyjne	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	1	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	2	0,92	4 500 000,00	0,00	0,00	0,00	4 500 000,00	4 160 502,96	
2024	3	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2025	4	0,85	14 500 000,00	1 803 880,00	168 805,00	325 000,00	16 472 685,00	14 080 920,18	
2026	5	0,82	14 500 000,00	3 706 040,00	358 280,00	650 000,00	18 564 320,00	15 258 517,83	
2027	6	0,79	17 400 000,00	6 091 904,00	606 320,00	1 040 000,00	24 098 224,00	19 045 176,47	
2028	7	0,76	0,00	6 258 212,98	642 699,20	1 040 000,00	6 900 912,18	5 244 126,09	
2029	8	0,73	0,00	6 429 062,19	681 261,15	1 040 000,00	7 110 323,35	5 195 443,62	
2030	9	0,70	0,00	6 604 575,59	722 136,82	1 040 000,00	7 326 712,41	5 147 650,96	
2031	10	0,68	0,00	6 970 107,74	765 465,03	1 040 000,00	7 735 572,77	5 225 875,79	
2032	11	0,65	0,00	6 970 107,74	811 392,93	1 040 000,00	7 781 500,68	5 054 714,46	
2033	12	0,62	0,00	7 160 391,68	860 076,51	1 040 000,00	8 020 468,19	5 009 560,77	
2034	13	0,60	0,00	7 355 870,38	911 681,10	1 040 000,00	8 267 551,48	4 965 277,17	
2035	14	0,58	0,00	7 556 685,64	966 381,96	1 040 000,00	8 523 067,60	4 921 859,17	
RAZEM			50 900 000,00	66 906 837,95	7 494 499,71	10 335 000,00	125 301 337,66	93 309 625,46	9,03





Pierwsza część analizy finansowej, 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 niższym kosztem wozokilometra względem innych analizowanych wariantów, jednak z uwzględnieniem kosztów zakupu oraz wymiany baterii całkowity koszt wozokilometra jest wyższy niż w przypadku autobusów zasilanych olejem napędowym.

Porównanie wyników analizy finansowej przedstawia tabela zamieszczona poniżej.

Tabela 19. Porównanie kosztu jednostkowego w wariantach

Wariant	koszt paliwa (zł/wzkm)	koszt paliwa + eksploatacji + inwestycji (zł/wzkm)
Autobusy zasilane ON	2,16 zł	4,36 zł
Autobusy zasilane en. elektryczną	1,82 zł	6,63 zł
Autobusy zasilane wodorem	5,12 zł	9,03 zł

Brak dofinansowania skutkuje nieopłacalnością ekonomiczną dla autobusów elektrycznych oraz wodorowych.





IX. 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 EURO6.

Tabela 20. 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 21. 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

Na potrzeby analizy, przyjęto założenie w zakresie realizowanej rocznie przez jeden autobus ilości wozokilometrów wynoszące 65 000 wozokilometrów/rok. Opierając się na tej wartości, sporządzono porównanie emisyjności jednego autobusu i przedstawiono w tabeli zamieszczonej poniżej.



**Tabela 22.** Porównanie emisyjności autobusu z napędem konwencjonalnym oraz z napędem elektrycznym

Pozycja	autobus z napędem konwencjonalnym	autobus zasilany energią elektryczną	Jednostka
Przebieg	65 000,00	65 000,00	km
Zużycie paliwa/energii	36,00	103,00	l/100km lub kWh/100km
Emisja CO (tlenek węgla)	35,00	-	kg
Emisja HC/THC (węglowodory)	11,90	-	kg
Emisja NOx (tlenki azotu)	5,60	-	kg
Emisja PM (pyły)	0,32	-	kg
Emisja CO ₂ (dwutlenek węgla)	76 815,32	-	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 energetyki jądrowej), zeroemisyjność autobusów elektrycznych może być kwestionowana poprzez wykazanie substancji szkodliwych emitowanych w konwencjonalnych elektrowniach węglowych.





X. 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 IX.

Analiza środowiskowa sprowadzała 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 CUPT¹³. Przyjęcie jakie natomiast korzyści powinniśmy brać pod uwagę w przypadku projektów z zakresu wymiany taboru autobusowego, wskazują zapisy dokumentów metodycznych, a 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.

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.

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

Tabela 23. Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych)

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant III wodorowy
Koszty społeczno-ekonomiczne	4 130 345,21 zł	1 649 011,93 zł	1 648 597,82 zł

¹³ www.cupt.gov.pl





Zdyskontowane koszty środowiskowe ujęto również w formie wozokilometra

Tabela 24. Zdyskontowane koszty środowiskowe w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm (środowiskowy)
Wariant bazowy	0,40 zł
Wariant I – elektryczny	0,16 zł
Wariant II - wodorowy	0,16 zł

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

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

Tabela 25. Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach

Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant III wodorowy
ENPV/C	- 4 295 559,02 zł	- 1 714 972,41 zł	- 1 714 541,73 zł
ERR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

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

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





Tabela 26. Analiza społeczno-ekonomiczna - obliczenia matrycą DGC - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	koszt na wozokilometr w zł
			zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2025	5	0,85	88 801,30	98 475,00	325 000,00	160 084,57	187 276,30	
2026	6	0,82	177 602,61	196 950,00	650 000,00	307 854,94	374 552,61	
2027	7	0,79	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	473 622,98	599 284,17	
2028	8	0,76	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	455 406,72	599 284,17	
2029	9	0,73	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	437 891,07	599 284,17	
2030	10	0,70	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	421 049,11	599 284,17	
2031	11	0,68	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	404 854,91	599 284,17	
2032	12	0,65	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	389 283,57	599 284,17	
2033	13	0,62	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	374 311,12	599 284,17	
2034	14	0,60	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	359 914,54	599 284,17	
2035	15	0,58	284 164,17	315 120,00	1 040 000,00	346 071,68	599 284,17	
		RAZEM	2 823 881,43	3 131 505,00	10 335 000,00	4 130 345,21	5 955 386,43	0,40





Tabela 27. Analiza społeczno-ekonomiczna - obliczenia matrycą DGC - wariant I - elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	koszt na wozokilometr w zł
			zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2025	5	0,85	0,00	74 750,00	325 000,00	63 896,61	74 750,00	
2026	6	0,82	0,00	149 500,00	650 000,00	122 878,10	149 500,00	
2027	7	0,79	0,00	239 200,00	1 040 000,00	189 043,23	239 200,00	
2028	8	0,76	0,00	239 200,00	1 040 000,00	181 772,34	239 200,00	
2029	9	0,73	0,00	239 200,00	1 040 000,00	174 781,10	239 200,00	
2030	10	0,70	0,00	239 200,00	1 040 000,00	168 058,75	239 200,00	
2031	11	0,68	0,00	239 200,00	1 040 000,00	161 594,95	239 200,00	
2032	12	0,65	0,00	239 200,00	1 040 000,00	155 379,76	239 200,00	
2033	13	0,62	0,00	239 200,00	1 040 000,00	149 403,61	239 200,00	
2034	14	0,60	0,00	239 200,00	1 040 000,00	143 657,32	239 200,00	
2035	15	0,58	0,00	239 200,00	1 040 000,00	138 132,04	239 200,00	
		RAZEM	0,00	2 377 050,00	10 335 000,00	1 648 597,82	2 377 050,00	0,16





Tabela 28. Analiza społeczno-ekonomiczna - obliczenia matrycą DGC - wariant II - wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Koszty łączne	Zdyskontowane koszty łączne	koszt na wozokilometr w zł
			zł	zł	km	zł	zł	
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2024	4	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2025	5	0,85	0,00	74 750,00	325 000,00	63 896,61	74 750,00	
2026	6	0,82	0,00	149 500,00	650 000,00	122 878,10	149 500,00	
2027	7	0,79	0,00	239 200,00	1 040 000,00	189 043,23	239 200,00	
2028	8	0,76	0,00	239 200,00	1 040 000,00	181 772,34	239 200,00	
2029	9	0,73	0,00	239 200,00	1 040 000,00	174 781,10	239 200,00	
2030	10	0,70	0,00	239 200,00	1 040 000,00	168 058,75	239 200,00	
2031	11	0,68	0,00	239 200,00	1 040 000,00	161 594,95	239 200,00	
2032	12	0,65	0,00	239 200,00	1 040 000,00	155 379,76	239 200,00	
2033	13	0,62	0,00	239 200,00	1 040 000,00	149 403,61	239 200,00	
2034	14	0,60	0,00	239 200,00	1 040 000,00	143 657,32	239 200,00	
2035	15	0,58	0,00	239 200,00	1 040 000,00	138 132,04	239 200,00	
		RAZEM	0,00	2 377 050,00	10 335 000,00	1 648 597,82	2 377 050,00	0,16





XI. 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 trzech 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 o napędzie wodorowym;

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

Drugi element analizy stanowiła ocena finansowa inwestycji.

W kosztach realizacji inwestycji uwzględniono:

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

Przyjmując horyzont czasowy eksploatacji autobusów wynoszący 15 lat, zdyskontowane wydatki sprowadzono do wartości jednostkowej – kosztu wozokilometra.

Z uwagi na wysokie wydatki inwestycyjne, analiza wykazała, że nawet w przypadku niskich kosztów eksploatacyjnych, wariant zakupu autobusów elektrycznych jest dalece mniej opłacalny od zakupu autobusów zasilanych olejem napędowym.

W trzecim elemencie analizy podjęto problematykę efektów środowiskowych inwestycji, szacując wpływ inwestycji na emisję substancji szkodliwych do atmosfery.

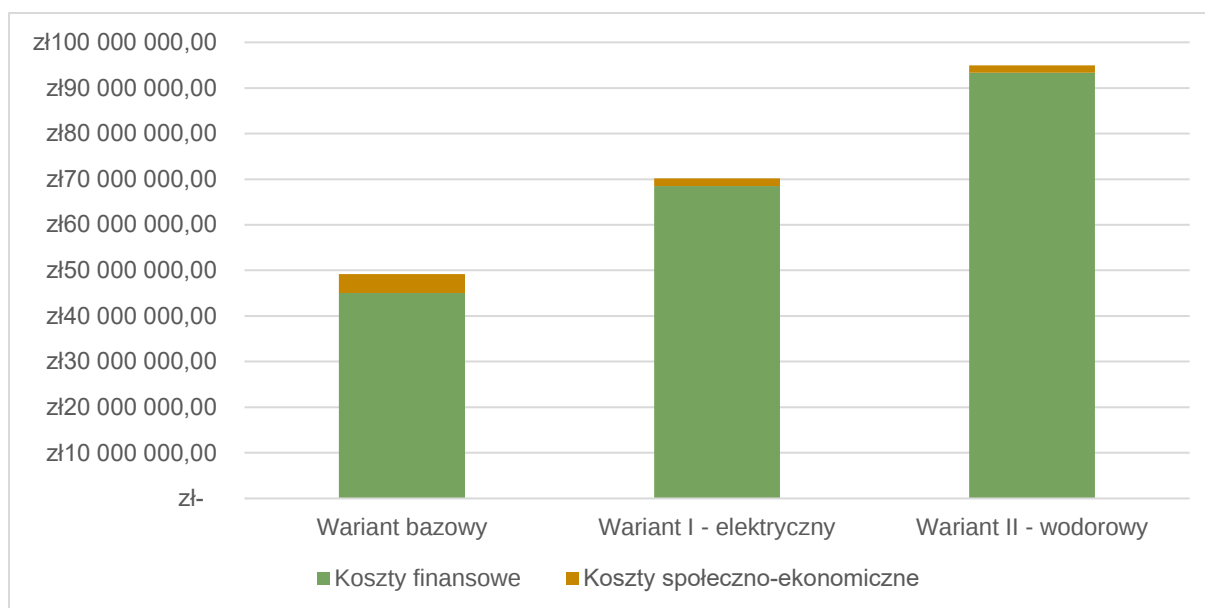
Z uwagi na trudności porównywania emisji odmiennych substancji (m.in. dwutlenku węgla czy związków azotu), wielkości emisji substancji zostały zmonetyzowane do wspólnej porównywalnej wartości wyrażonej w złotych polskich na bazie wskaźników z opracowań teoretycznych.

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

Tabela 29. Zestawienie wyników analizy kosztów i korzyści

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant III wodorowy
Zdyskontowane koszty finansowe	45 047 451,54 zł	68 502 208,60 zł	93 309 625,46 zł
Zdyskontowane koszty społeczno-ekonomiczne	4 130 345,21 zł	1 648 597,82 zł	1 648 597,82 zł
SUMA	49 177 796,76 zł	70 150 806,42 zł	94 958 223,28 zł





Rysunek 11. Wyniki AKK – porównanie

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

Zakup pojazdów elektrycznych wiąże się również z okresową koniecznością wymiany baterii pokładowych pojazdów. Koszt ten sięgać może nawet 1/3 wartości pojazdu (ok. 800 000 zł). Żywotność baterii szacować można aktualnie na ok. 7-8 lat, choć w zależności od rodzaju baterii oraz sposobu ich eksploatacji okres ten może być nawet krótszy.

Dlatego też warunkiem uzasadniającym rozważanie dalszego rozwoju elektromobilności w mieście, jest możliwość zakupu autobusów oraz infrastruktury towarzyszącej z dofinansowaniem zewnętrznym wynoszącym co najmniej 60%¹⁴, dzięki czemu jednostkowy koszt autobusu elektrycznego będzie korzystniejszy od autobusów zasilanymi olejem napędowym.

Wynik analizy wskazuje, że z uwagi na brak opłacalności inwestycji realizowanej bez wsparcia zewnętrznego nie musi zostać spełniony ustawowy obowiązek dotyczący udziałów autobusów zeroemisyjnych we flocie obsługującej komunikację miejską w Zamościu określony w art. 36 ustawy o elektromobilności. Inwestycje w tabor zeroemisyjny powinny być kontynuowane jednak w przypadku możliwości pozyskania dofinansowania zewnętrznego.

¹⁴ Wartość minimalnego wymaganego poziomu dofinansowania oszacowana została na podstawie założeń AKK, faktyczny poziom dofinansowania powinien wynikać z obliczeń tzw. luki finansowej, przeprowadzonej dla konkretnego projektu inwestycyjnego.





Koszt eksploatacyjny autobusu elektrycznego jest niższy niż autobusu z napędem spalinowy, zatem kluczowe dla osiągnięcia progu opłacalności wystarczające obniżenie kosztu inwestycyjnego poprzez wsparcie w formie dotacji lub preferencyjnych pożyczek. Co więcej, Miasto Zamość ma możliwość dalszego obniżania kosztu ładowania autobusów inwestując w źródła energii odnawialnej, co jest niemożliwe w przypadku paliw konwencjonalnych, których cena uzależniona jest całkowicie od sytuacji rynkowej.

W niestabilnym otoczeniu geopolitycznym inwestycje w lokalne źródła energii stają szczególnie ważne ponieważ mogą w przyszłości w całości lub przynajmniej w części uniezależnić Miasto od wahań cen na rynku krajowym.

Uzasadnieniem dla podejmowania inwestycji w tabor zeroemisyjny jest również kierunek polityki klimatycznej Unii Europejskiej w myśl której, począwszy od 2027 r. sektor transportowy może zostać włączony do europejskiego systemu handlu emisjami (ETS)¹⁵. Oznaczać to będzie, iż dla wyemitowanego w transporcie dwutlenku węgla konieczny będzie zakup uprawnień do emisji CO₂. Przy aktualnym koszcie uprawnień wynoszącym ok. 70 Euro/MgCO₂, dodatkowy koszt eksploatacji autobusu spalinowego wynosić może nawet 20 tys. zł rocznie. Samorządy, których floty pojazdów komunikacji zbiorowej, w których dominować będą autobusy spalinowe mogą zostać tym samym obciążone istotnym wzrostem kosztów działalności przewozowej.

Należy zatem dążyć do wykorzystywania wsparcia zewnętrznego dla modernizacji taboru zanim niekorzystne przepisy zostaną wprowadzone do europejskiego porządku prawnego.

Równocześnie rekomenduje się podejmowanie działań związanych z podniesieniem poziomu lokalnej produkcji energii elektrycznej w szczególności poprzez inwestycje źródeł odnawialnych.

¹⁵ źródło: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en





XII. SPIS TABEL

Tabela 1. Udział pojazdów elektrycznych w całkowitym taborze miejskim.....	16
Tabela 2. Matryca obsługi linii autobusem z zasilaniem bateryjnym	22
Tabela 3. Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów	26
Tabela 4. Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant bazowy	27
Tabela 5. Symulacja planu zakupowego autobusów – wariant I - elektryczny	27
Tabela 6. Symulacja planu zakupowego autobusów – wariant II - wodorowy	28
Tabela 7. Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor	28
Tabela 8. Założenia kosztów inwestycyjnych w infrastrukturę.....	28
Tabela 9. Założenia kosztu wymiany baterii.....	29
Tabela 10. Założenia kosztu jednostkowego paliwa	29
Tabela 11. Założenia kosztów remontowych i serwisowych.....	29
Tabela 12. Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych	30
Tabela 13. Wskaźniki finansowe w wariantach	30
Tabela 14. Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm	32
Tabela 15. Zestawienie wskaźników finansowych z symulacją uzyskania dotacji.....	32
Tabela 16. Analiza finansowa – obliczenia matrycą DGC - wariant bazowy	33
Tabela 17. Analiza finansowa – obliczenia matrycą DGC - wariant I - elektryczny	34
Tabela 18. Analiza finansowa – obliczenia matrycą DGC - wariant II - wodorowy	35
Tabela 19. Porównanie kosztu jednostkowego w wariantach	36
Tabela 20. Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EURO6.....	37
Tabela 21. według wartości opałowe (WO) i wskaźników emisji CO ₂ (WE) do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2017	37
Tabela 22. Porównanie emisyjności autobusu z napędem konwencjonalnym oraz z napędem elektrycznym	38
Tabela 23. Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych).....	39
Tabela 24. Zdyskontowane koszty środowiskowe w ujęciu na wzkm.....	40
Tabela 25. Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach	40
Tabela 26. Analiza społeczno-ekonomiczna - obliczenia matrycą DGC - wariant bazowy.....	41
Tabela 27. Analiza społeczno-ekonomiczna - obliczenia matrycą DGC - wariant I - elektryczny	42
Tabela 28. Analiza społeczno-ekonomiczna - obliczenia matrycą DGC - wariant II - wodorowy.....	43
Tabela 29. Zestawienie wyników analizy kosztów i korzyści	44





XIII. SPIS ILUSTRACJI

Rysunek 1. Graficzny schemat wykonania obowiązku ustawowego w zakresie sporządzenia Analizy Kosztów Korzyści.....	7
Rysunek 2. Schemat Organizacyjny MZK Sp. z o.o. w Zamościu	13
Rysunek 3. Schemat budowy autobusu elektrycznego	18
Rysunek 4. Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen.....	20
Rysunek 5. Autobus komunikacji miejskiej w Lidzbarku Warmińskim	24
Rysunek 6. Autobus komunikacji miejskiej w Sieradzu	24
Rysunek 7. Autobus komunikacji miejskiej w Świdnicy	25
Rysunek 8. Autobus komunikacji miejskiej w Koninie.....	25
Rysunek 9. Ceny paliw w Polsce.....	31
Rysunek 10. Ceny energii elektrycznej w Polsce w latach 2018-2022	31
Rysunek 11. Wyniki AKK – porównanie.....	45

